



Materiaalkeuze van verpakking voor online gekoeld voedsel verkoop

Myrthe ten Bosch
Augustus 2015

In opdracht van
Johma Salades B.V.

Bacheloropdracht
Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

Johma Salades
De Pol 35
7581 CZ Losser
Nederland

Materiaalkeuze verpakking voor online gekoeld voedsel verkoop

Auteur

Myrthe ten Bosch
s1205811
Universiteit Twente, Nederland

Examencommissie

B. de Koeijer
J. de Lange
M. van der Voort

Begeleider bij Johma

R. Rijsenbrij

18 augustus 2015

Pagina's: 53

Bijlagen: 8

Dit verslag is geschreven als bachelor opdracht voor de opleiding Industrieel ontwerpen.



Voorwoord

Als afsluiting van mijn bachelor Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente heb ik een bachelor opdracht uitgevoerd waarvan het resultaat in dit verslag te lezen is. In deze opdracht heb ik de kennis die ik tijdens de opleiding vergaard heb op het gebied van materiaalkunde, vormgeving en marktonderzoek doen in praktijk kunnen brengen. Daarbij heeft deze opdracht er ook voor gezorgd dat ik een kijkje heb gekregen hoe het er nu aan toe gaat in het bedrijfsleven.

Graag wil ik Remco Rijssenbrij bedanken voor het aanleveren van deze uitdagende opdracht en voor de input die gegeven is vanuit Johma.

Daarnaast wil ik mijn begeleiders Bjorn de Koeijer en Jos de Lange bedanken voor hun begeleiding en feedback tijdens het gehele proces.

Tot slotte wil ik Lianne Timmerman bedanken voor het uitwisselen van informatie over de vormgeving en inhoud van de verpakking. En natuurlijk voor de samenwerking tijdens onze bachelor opdrachten.

Begripsbepaling

- Koelvrachtwagens of KVV -

Dit zijn de vrachtwagens die meestal gebruikt worden om gekoelde producten van de fabrikant naar de winkel te transporteren.

- Verpakking -

De verpakking die gemaakt zal worden zal een flexibele of solide verpakking zijn waarin verschillende soorten pakketten gekoeld zullen worden en getransporteerd kunnen worden.

- Hub-

Een plaats waar producten van verschillende leveranciers samenkomen en van daaruit weer naar verschillende richtingen doorgestuurd wordt.

- Dichtheid -

Dit is een grootheid die uitdrukt hoeveel massa er van een bepaald materiaal aanwezig is in een bepaald volume.

- Thermische conductiviteit -

Deze eenheid geeft aan hoe goed een bepaald materiaal de warmte geleid.

- Elasticiteits modulus -

Dit is een eenheid die aangeeft hoeveel kracht er nodig is om een bepaald materiaal uit te rekken of in te drukken.

- Breuksterkte -

Dit is de hoeveelheid spanning die breking van het materiaal zal veroorzaken.

- Vermoeiingssterkte -

Dit is de kracht die op een materiaal gezet kan worden voordat het materiaal bezwijkt door een langdurige dynamische belasting.

- Soortelijke warmte -

Dit is een grootheid die de hoeveelheid warmte beschrijft die nodig is om de temperatuur van een bepaalde massa met een bepaald temperatuursinterval te verhogen.

Samenvatting

Saladeproducent Johma wil graag een nieuwe online service opzetten waarbij het voor de consument mogelijk wordt gemaakt om gekoeld voedsel online te kopen. Johma ziet hier een kans in omdat het online verkoop van voedsel steeds meer aan het opkomen is. Het idee van Johma is dat consumenten online hun voedselpakketten kunnen samenstellen waarna deze door particulieren bezorgt worden.

Om dit te bewerkstelligen moet er een verpakking komen die de inhoud van de verpakking koel zal houden gedurende het transport naar de consument. Er zal dus een isolatiemateriaal gekozen moeten worden die er voor gaat zorgen dat het voedsel in het pakket niet te warm wordt.

Eerst is er een analyse gedaan om te kijken hoe het transport zal gaan lopen vanaf het moment dat de producten ingepakt worden in de verpakkingpunt-hub via de bezorgpunt-hub tot aan de consument thuis.

Na deze verschillende analyses is er gekeken naar de concurrerende bedrijven en koelverpakkingen. Hieruit viel op te merken dat er al veel verschillende voedselservices zijn, maar dat Johma met de nieuwe gekoelde service toch iets nieuws op de markt kan brengen.

Vervolgens is er een materiaalonderzoek uitgevoerd om een geschikt materiaal te vinden. Eerst is er een literatuuronderzoek uitgevoerd waarbij er is gekeken naar de materialen die gebruikt worden in bestaande koelverpakkingen. Deze zijn vergeleken op basis van verschillende eigenschappen die nodig

zijn om de eisen van de verpakking te kunnen behalen. Daarbij is er onderzoek gedaan naar de vorm van de verpakking. Er is gekeken welke vormen er in aanmerking zouden komen voor deze nieuwe verpakking.

Met deze resultaten en eerder resultaten uit het materiaal onderzoek zijn er testen gedaan of de gekozen materialen echt geschikt zijn voor de nieuwe verpakking. Hierin is er gekeken naar verschillende materialen maar ook naar verschillende vormen van de verpakking, namelijk een rechthoekige en zeshoekige verpakking.

Uit de testen bleek dat een rechthoekige verpakking het best isoleert en dit zal daarom ook de vorm worden van de nieuwe verpakking. De verpakking zal een afmeting krijgen van 45 cm breed, 35 cm lang en 11 cm hoog.

De kartonnen verpakking zal bestaan uit twee compartimenten die gescheiden worden door een kartonnen tussenschot. Een compartiment voor ongekoelde producten en een compartiment wat dient als koelvak.

Het materiaal dat gekozen is om de inhoud van de verpakking te gaan isoleren is ijs. Dit zal in zakjes van polyethyleen zitten zodat lekken tegen gegaan wordt. Aan de binnenkant van het koelvak zal ook nog een laagje karton komen ter bescherming van de producten. Dit koelvak zal ervoor gaan zorgen dat gedurende het hele transport de temperatuur in het koelvak onder de 7 °C zal blijven.

De kosten van de totale verpakking zullen onder de 3 à 4 euro blijven. Maar dit is nog een grove schatting. Dit zou in een vervolgproces nog beter berekend moeten worden. Ook zal er nog beter naar de logistiek gekeken moeten worden, hoe lang de verpakking zich nou daadwerkelijk in een ongekoelde ruimte zal bevinden.

Salad producer Johma wants to create a new online service. With this service, consumers must be able to buy refrigerated food online. Johma thinks customers are waiting for such a service because online food services are more and more common. The idea is that a consumer can create his own food package after which a self-employed person will deliver the package to the customer.

To realize this service there must be designed a package which can keep its content cool during the transport to the customer. There must be picked an isolation material which will take care that the content won't get a temperature which is too high.

Firstly there is executed an analyses of the transportation. There is examined how the transport goes from the moment the package is packed in the "packaging-hub" by the "deliver-hub" to the customer at home.

After these transporting analyses there is done some research of competitive producers and packages which cool their content. The result of this was that there are very many foodservices already. But Johma could create something new with this refrigerated food service.

After this, there is executed a material research to find a suitable material. First there is executed a literature research whereby there is examined the materials of existing packages which cool their content. These materials are compared to each other based on different properties which are needed to satisfy the requirements of the package. There is also done some research to the shape of the package. There is examined which different

shapes will be considered for the new package. With these results and results from the material research there are done some tests to see if the picked materials are suitable for the package. In the tests there is looked to the different materials but also to the different shapes, namely a rectangular package and a hexagonal package.

From the tests it seems that the rectangular shaped package isolate the best. That is why the new package will be rectangular shaped. The package will be 45 cm wide, 35 cm long and 11 cm high.

The cardboard package exist of two compartments which are separated by a cardboard dividing wall. One compartment will contain the non cooled products, the other compartment will be cooled.

The material that has been chosen to isolate the content of the package is ice. The ice will be placed in bags of polyethylene. This is to prevent leaking water. At the inside of the cooled compartment there will be a cardboard layer as a protection for the products. This cooled compartment will take care that the content of the package will be maximal 7 °C during the entire transport.

The costs of the package will be somewhere around 3 or 4 Euros. This is a broad estimation so this must be evaluated more in further research. Also there must be a further research of the logistics. There must be research what is the exact duration that the package is in a non cooled area.

Summary

Inhoudsopgave

1. Inleiding		4. Materialen Testen	
1.1 Opdrachtgever	9.	4.1 Te testen materialen	33.
1.2 Aanleiding voor de opdracht	9.	4.2 Koelvarianten voor de inhoud van de verpakking	34.
1.3 Doelstelling	9.	4.3 Test	34.
1.4 Leeswijzer	9.		
		5. Materiaalkeuze	
2. Analyse		5.1 Voor en nadelen	42.
2.1 Visie van Johma	10.	5.2 Uiteindelijk keuze	44.
2.2 Transportanalyse	10.		
2.3 Concurrentie analyse	13.	6. Ontwerprichtlijnen n.a.v. materiaalkeuze	45.
2.3.1 Concurrerende bedrijven	13.		
2.3.2 Concurrerende producten	13.	7. Evaluatie	48.
2.4 Temperatuur in de verpakking	15.		
2.5 Vorm van verpakking	18.	8. Conclusie en aanbevelingen	49.
2.6 Conclusie analyse	20.	8.1 Conclusie	49.
2.6 Programma van Eisen	21.	8.2 Aanbevelingen	49.
3. Materiaalonderzoek		9. Referenties	50.
3.1 Literatuur onderzoek	22.		
3.1.1 Materialen uit de al bestaande koelverpakkingen	22.	10. Bijlagen	54.
3.1.2 Eerste materialen onderzoek	23.		
3.1.3 Overige isolatie materialen	28.		
3.1.4 Conclusie literatuur onderzoek	29.		
3.2 Maximale warmteoverdracht	30.		
3.3 Kosten	32.		

1. Inleiding

1.4 Leeswijzer

In dit verslag zullen verschillende dingen te lezen zijn. Ten eerste is er een marktanalyse gedaan waarbij gekeken is naar de verschillende al bestaande services en welke verpakkingen er al zijn. Daaruit is er een programma van eisen opgesteld.

Vervolgens is er te lezen hoe er onderzoek is gedaan naar verschillende materialen, waarbij de eisen uit het eerder genoemde PvE mee zijn genomen. Nadat er onderzoek is gedaan naar deze materialen valt er te lezen hoe de uiteindelijke keuze van het bepaalde materiaal is gemaakt. En tot slot is te lezen over hoe dit materiaal in het ontwerp toegepast kan worden.

1.1 Opdrachtgever

De opdrachtgever van deze opdracht is het bedrijf Johma Salades B.V. Dit bedrijf is gespecialiseerd in het maken van verschillende soorten gekoelde salades die op dit moment in diverse koelschappen in supermarkten liggen. Tegenwoordig trekt alleen de online markt steeds meer aan en wordt er steeds meer thuis besteld, waaronder ook voedsel. Zo bestaat de online bezorgservice Albert van Albert Heijn (2) en de wekelijkse online voedsel service Hello Fresh (12). Alleen worden er nog niet vaak gekoelde producten online besteld. Ook Johma heeft hiervoor nog geen bestelservice. Maar het is dan ook het doel van Johma om hun gekoelde salades online aan hun klanten te kunnen aanbieden. Deze salades zouden in een koelvers pakket kunnen worden gestopt die gekoppeld zijn aan een gelegenheid. Zo kunnen voor deze verschillende gebeurtenissen ook verschillende pakketten worden besteld.

1.2 Aanleiding voor de opdracht

Zoals eerder gezegd verandert de online voedsel markt volop, waarbij Johma niet achter wil blijven. Om met de andere online voedsel services mee te kunnen komen zal Johma ook met een nieuwe service moeten komen om haar klanten tevreden te stellen. Daarbij worden tegenwoordig de salades van Johma nog indirect aan de klant verkocht. Dit wil zeggen dat Johma ze aan een bepaalde supermarkt verkoopt waarna deze ze weer aan de consument zal verkopen. Door de nieuwe online

service zal Johma zijn gekoelde salades direct aan de klant kunnen verkopen en hiermee geld besparen. Op dit moment worden gekoelde producten vaak alleen in grote hoeveelheden in koelvrachtwagens bezorgd bij winkels of restaurants. Losse gekoelde pakketten worden daarentegen nauwelijks bezorgt vanwege de moeilijkheid en de inefficiëntie. De oplossing voor dit probleem zou kunnen zitten in het maken van een koelverpakking voor de pakketten. Deze verpakking zal van een bepaald materiaal gemaakt moeten zijn om de producten lang genoeg koel te houden zodat deze nog gekoeld bij de consument afgeleverd kunnen worden.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze opdracht is om een koelmateriaal te kiezen waarmee de inhoud van een verpakking koel gehouden kan worden tijdens het transport. Dit zal gedaan worden door een analyse te doen naar verschillende materiaalsoorten. Ook zal gekeken worden hoe deze verpakking tegen acceptabele kosten gemaakt kan worden, waarbij de kosten van de verpakking binnen een bandbreedte van 10% a 20% van de totale pakket kosten moeten blijven. De uitkomsten zullen gebruikt worden om een materiaalkeuze te kunnen maken waarna er een advies gegeven kan worden over de verpakking. Daarbij kunnen de uitkomsten er ook bij helpen om richtlijnen te geven over het ontwerp van de verpakking zelf.

2. Analyse

2.1 Visie van Johma

Johma heeft zijn eigen ideeën en visie over hoe de nieuwe service eruit moet komen te zien. Door deze visie en eerste ideeën is het een stuk duidelijker waar de nieuwe service aan moet gaan voldoen. Johma vindt het belangrijk dat bij de nieuwe services de consument vrij moet zijn om de inhoud van de pakketten zelf samen te stellen. Er zal in eerste instantie worden begonnen met vier soorten pakketten. Namelijk een barbecuepakket, een borrelpakket, een lunchpakket en een picknickpakket. Als de service langer in gebruik is zouden er nieuwe pakketten gecreëerd kunnen worden. In de pakketten die de consument bestelt zullen vooral luxe producten en delicatessen zitten.

Johma ziet het zo voor zich dat de consument op de website eerst kan kiezen welk pakket hij wilt bestellen. Vervolgens zullen er verschillende producten die bij het desbetreffende pakket gekozen kunnen worden zichtbaar worden. Deze zijn dan op “planken” gecategoriseerd zodat de consument zijn keuze kan maken tussen de verschillende producten. Tot slot kan de consument gemakkelijk de bestelling plaatsen.

Wat vanuit Johma ook duidelijk is bepaald is dat de verpakking voor de service van Johma voor eenmalig gebruik is. De gebruiker zal dus niet de verpakking terug hoeven sturen. Dat de verpakking voor de service niet opnieuw wordt gebruikt betekent niet dat consument er daarna niets meer mee kan.

Johma staat open voor het idee dat de consument de verpakking kan gaan hergebruiken voor een ander doeleinde.

Wat verder ook vanuit Johma gesteld is, is dat de verpakking de inhoud ongeveer 2 uur gekoeld moet houden. Dit is de tijd waarvan Johma denkt die maximaal nodig is om het pakket van de eerste hub naar de consument te transporteren. Later in het proces zal deze tijd nog wat aangepast worden naar aanleiding van nieuw verkregen kennis.

Tot slot heeft Johma qua kosten de visie dat de kosten van de verpakking binnen bandbreedte van 10% tot 20% van de totale pakketkosten moeten blijven.

2.2 Transportanalyse

De service die Johma wil gaan leveren zal dus een online bezorg service worden waar consumenten bepaalde pakketten zullen kunnen bestellen. Maar hoe komt het pakketje bij de consument? Dit wordt onderzocht in een transportanalyse.

De transport cyclus

Zelf heeft Johma al een duidelijk beeld voor ogen hoe het proces van het bezorgen van het pakket eruit moet komen te zien.

Naar hen idee zullen de pakketten een bepaalde weg afleggen en drie cycli doorgaan voordat deze bij de consument bezorgt worden. Helemaal aan het begin van de cyclus zullen de producten vanuit verschillende producenten naar

een “verpakkingspunt-hub” worden vervoerd. Deze hub’s zullen op verschillende belangrijke plaatsen door het hele land verspreid staan. Hier worden er pakketten van gemaakt en zullen ze vervolgens in het tweede deel van de cyclus naar bepaalde ophaalpunten worden getransporteerd, de “bezorgpunt-hubs”. Deze hub’s zullen lokaal verspreid staan en kunnen in winkels, pizzeria’s, openbare plaatsen te vinden zijn. In het laatste deel van de cyclus zal het pakket naar de klant worden vervoerd.

Het bezorgen

Als de bezorger met het pakket aankomt bij de hub, zal deze het pakket uit de auto laden en naar de hub tillen. Vervolgens zal de hub opengemaakt worden en zal het pakket in de hub geplaatst worden. Op de momenten dat de pakketten zich in de hub’s bevinden zullen deze gekoeld worden in een koelkast of iets dergelijks.

Nadat dit gebeurt is zal de bezorger een seintje geven aan het systeem dat het pakket is afgeleverd bij de hub. Als vervolgens de consument aangeeft dat het pakket bezorgt kan worden, dan zal de tweede bezorger het gekoelde pakket uit de hub ophalen en in zijn auto laden. Vervolgens zal hij het naar de klant transporteren en afleveren.

De bezorgers die de pakketten rondbrengen zijn geen vaste krachten bij de Johma bezorg service. Het zijn vaak mensen die een pakket mee kunnen nemen omdat ze een richting op moeten waar het pakketje ook heen moet.

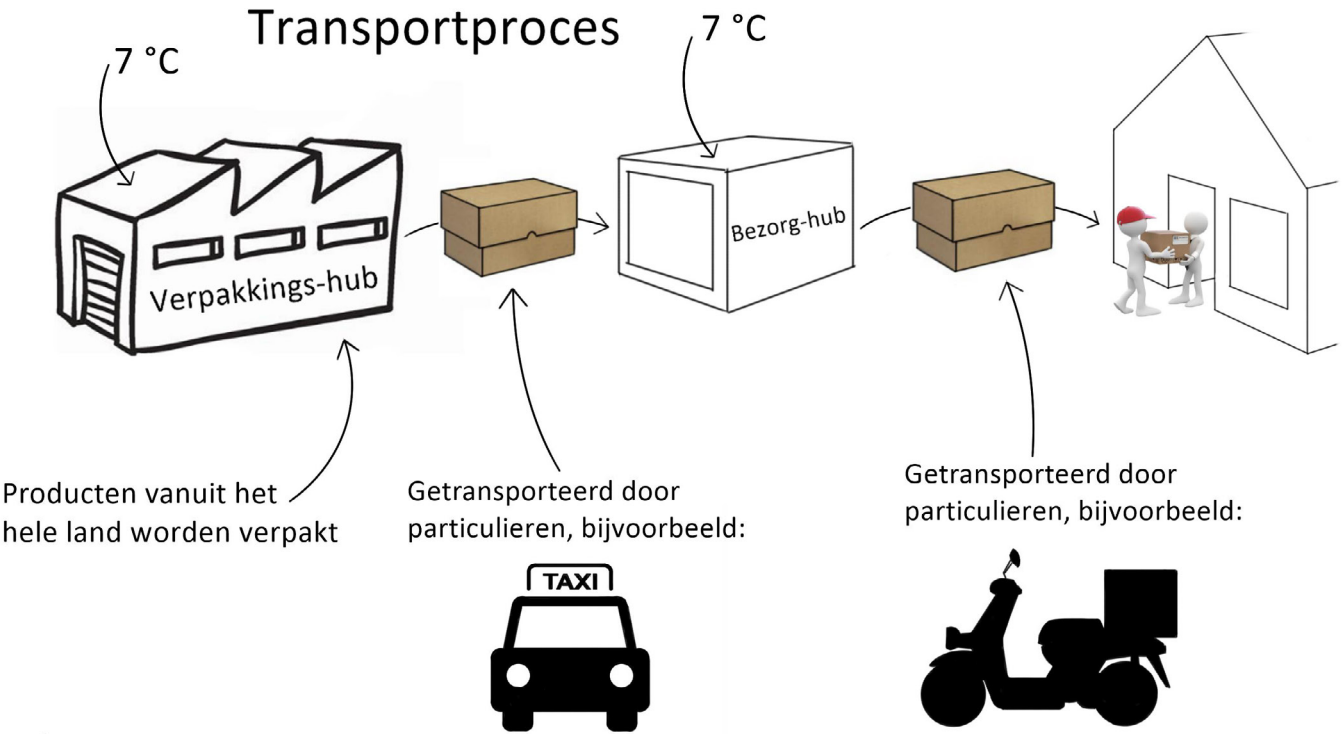
Dit zal toegelicht worden in een scenario. Dit scenario is geschreven vanuit het “perspectief” van het pakketje zodat te zien is op welke manier het pakketje van de eerste hub bij de consument komt.

“In het systeem staat dat mevrouw de Boer, woonachtig net buiten Aalten, een bbq pakket heeft besteld. Haar bestelling is vervolgens doorgestuurd naar het dichtstbijzijnde verpakkingspunt. In het geval van mevrouw de Boer is dit het verpakkingspunt in Arnhem. In het verpakkingspunt zijn nadat de bestelling doorkwam alle gekozen producten van mevrouw de Boer verzameld en in het pakket gestopt. Vervolgens is het pakket in een openbare hub geplaatst en daarbij is er oproep rondgegaan naar verschillende mensen. Deze mensen hebben aangegeven dat als ze toevallig een richting op gaan tegen vergoeding een pakket zouden willen bezorgen in de bezorgpunt-hub. Ook Klaas krijgt de melding, hij is taxichauffeur en moet toevallig iemand naar Aalten brengen. Hij kan dus het pakketje meenemen en in de bezorgpunt-hub afleveren. De bezorgpunt-hub in Aalten is gevestigd in de plaatselijke pizzeria. Op het moment dat mevrouw de Boer heeft aangegeven dat zij thuis is en het pakket langs gebracht kan worden krijgt deze pizzeria een melding. Op dit moment kan pizza bezorger Jos bij het rondbrengen van de pizza’s ook het pakket voor mevrouw de Boer meenemen en bezorgen.”

Omdat deze bezorgers geen vaste krachten van Johma zijn maar particulieren, zoals bijvoorbeeld taxichauffeurs en pizzabezorgers zou dit een probleem met zich mee kunnen brengen. Zo

zouden taken die de particulier moet uitvoeren vanuit zijn eigen belang belangrijker kunnen worden dan het bezorgen van het pakketje. Hierdoor zou het kunnen gebeuren dat het pakketje zich te lang in een niet gekoelde omgeving bevindt, of dat het pakketje te lang in de hub blijft liggen. In de materiaalkeuze zal er dus aan gedacht moeten worden dat het pakketje zich langer dan nodig in een ongekoelde ruimte kan bevinden.

Verder zou er in het systeem van “bezorgers” een beloningssysteem ingevoerd kunnen worden. Dat wanneer een pakketje binnen de gewenste tijd bij de consument is afgeleverd de particulieren bezorger een beloning krijgt.



De koeling

Tijdens het transport van de ene hub naar de andere hub en van de hub naar de consument zullen de pakketten niet door de omgeving gekoeld worden. Dit komt doordat Johma niet meer wil dat er met koelvrachtwagens gereden wordt (inefficiënt en hoge kosten) en zal er dus met een auto of motor gereden worden. Maar tijdens het transport tussen de hub’s zal de verpakking wel koel gehouden moeten worden. Dus zal er een verpakking moeten komen die de inhoud op een constante koele temperatuur houdt.

Hieronder is het transportproces nog een keer met een afbeelding uitgelegd.

Figuur 1. Transportproces

Bedrijf	Soort Voedsel	Los/Pakket	Abonnement	Kosten	Soort koeling	Soort Verpakking	Bezorging
Jumbo	Producten	Los	Nee	Productkosten + max 3,-	KVW, koelkast	Statiegeldkrat	Ophalen
AH	Producten	Los	Nee	Minimaal 70,-	KvW	Krat, koeltas	Thuis, Ophalen
Voedselbank	Producten	Pakket	Nee	0,-	Koelbax	Tas	THuis
So Tasty	Maaltijden	Pakket	Nee	Minimaal 20,-	KVW	---	Thuis
Food connect	Producten & Maaltijden	Los of Pakket	Nee	10,-	KVW	---	Thuis
Zinnerdinner	Biologische Maaltijden	Pakket	Nee	40,-	Koelauto	Papieren tas	Thuis
Hofwebwinkel	Biologische producten	Los	Nee	Productkosten + 5,-	KVW	Krat	Thuis, Ophalen
EKOnoom	Biologische producten	Los	Nee	25,-	Koelementen in isolatietas	Terug lever krat	Thuis
Beebox	Biologische producten	Pakket	Ja	20,- tot 40,-	Koelementen in isolatietas	Krat	Thuis
Voedselcollectief	Biologische producten	Los	Ja	20,- lidmaatschap + productkosten	---	Krat	Ophalen
Beter Bio	Biologische maaltijden	Pakket	Ja	40,-	KVW	Statiegeldkrat	Thuis
HelloFresh	Maaltijden	Pakket	Ja	34,-	KVW	Kartonnen doos	Thuis
Streekbox	Maaltijden	Pakket	Ja	37,-	KVW	Kartonnen doos	Thuis
De krat	Maaltijden	Pakket	Ja	30,- tot 40,-	KVW	Houten krat	Thuis

Tabel 1. Verschillende concurrerende bedrijven

2.3 Concurrentieanalyse

Voordat er een gekeken kan worden naar de eisen en wensen van de nieuwe verpakking zal er eerst gekeken moeten worden wat er al op de markt is in dit gebied. Er moet gekeken worden wat voor verschillende soorten voedsel bezorgservices er al zijn. Ook moet gekeken welke concurrerende koelverpakkingen er al bestaan. Dit wordt gedaan in een concurrentie analyse.

2.3.1 Concurrerende bedrijven:

De online voedsel markt trekt de laatste jaren steeds meer aan. Dit is ook te zien aan het aantal verschillende bedrijven dat online voedsel bezorging aanbied. Er is steeds meer concurrentie en elk bedrijf probeert weer met iets nieuws te komen. Hieronder is te zien welke bedrijven op dit moment een online voedsel bezorg service aanbieden: AH.nl, Beebox, Foodconnect, Foodelicious, De krat, Beter bio, Zinner dinner, Hello fresh, Jumbo, Voedselbank, Streekbox, Voedselkollectief, Amersfoort en Groene Wij, De Hofwebwinkel, So tasty, EKOnoom
Achter al deze bedrijven zit hetzelfde idee, namelijk het de consument makelijker te maken om aan een gezonde maaltijd te komen. Wel doen zij dit allemaal op een net iets andere manier: dit is te zien in tabel 1.

De toelichting van de verschillende bedrijven is te vinden in bijlage B.

Toegevoegde waarde voor Johma.

Zoals te zien is hebben al deze bedrijven verschillende manieren van bezorgen. Maar er zijn een aantal aspecten die voor Johma van toegevoegde waarde zijn ten opzichte van de concurrerende bedrijven.

Bij de concurrerende bedrijven is er in veel gevallen te zien dat er gebruik gemaakt wordt van koelvrachtwagens om de gekoelde producten te bezorgen. Omdat er bij de service van Johma niet met koelvrachtwagens gereden gaat worden zal dit veel kosten besparen. Hierdoor zullen de kosten van de voedselpakketten ook laag kunnen blijven. Doordat de kosten zo laag blijven zal Johma hierdoor ook een goede kans krijgen in de markt.

Daarnaast wordt er bij de meeste alternatieven ook gebruik gemaakt van een krat die weer geretourneerd moet worden aan de bezorger. Doordat in de service van Johma de verpakkingen voor eenmalig gebruik is, zit de klant niet vast aan de service vanwege statiegeld en hoeft Johma niet opnieuw naar de klant om het krat op te halen.

2.3.2 Concurrerende producten:

Voor het de nieuwe service zal er dus een koelverpakking ontworpen moeten worden. Hierbij is nog niet vastgesteld of het gaat om een soort koeltas of meer een soort koelbox.

Er zijn natuurlijk al heel veel verschillende soorten koelverpakking op de markt. Hier is een marktanalyse naar gedaan.

Koelverpakking

Koelverpakkingen worden gebruikt in verschillende takken van de industrie. Zo worden deze ingezet in de biomedische industrie, de farmaceutische industrie, de chemische industrie, de voedselindustrie, de bloemenindustrie, enz. In al deze industrieën zullen producten vervoerd moeten worden die koel moeten blijven voor een bepaalde tijd. Om dit te kunnen realiseren worden er meestal verpakkingen gebruikt met een isolerende werking. Zo kan het product in de verpakking geen warmte opnemen en behoudt deze zijn temperatuur. Een aantal van deze verpakking zullen hier beschreven worden.

Ten eerste de verpakking met isothermische zak zoals te zien in figuur 2. Dit is een verpakking van een niet isolerend materiaal (bijvoorbeeld karton) waarin een isothermisch gealuminiseerd zakje zit dat polyurethaanschuim bevat. Deze verpakking kan de inhoud tussen de +2 °C en de +8 °C houden gedurende 24 uur (15)(16).



Figuur 2. Isothermische zak

Dan is er ten tweede een soort verpakking met schuimisolatie zoals te zien in figuur 3. Dit soort verpakkingen gebruikt EPS (tempex, piepschuim) om de producten gekoeld te kunnen transporteren.



Figuur 3. Verpakking met schuimisolatie

Doordat dit materiaal een hoge isolatiewaarde heeft, behouden de producten tijdens het transport hun temperatuur ongeacht de verschillende buitentemperaturen (17).



Figuur 4. Isothermische verpakking

Wat wel een verschil is, is dat deze verpakking geen isothermische zak bevat, maar dat de hele doos isothermisch is. De doos is gemaakt van polystyreen en bekleed met vellen van gemetalliseerd polyethyleen (18).



Figuur 5. Isothermische doos

Een andere soort isothermische verpakking is de isothermische doos Cool zoals te zien in figuur 5. Ook deze doos kan net als voorgaande dozen de producten koel houden, Producten tussen de -20°C en +8 °C kunnen op constante temperatuur vervoerd worden. De verpakking is gewoon een wit kartonnen doos met aan de binnenkant een isolerende laag van geëxtrudeerde polystyreen panelen van 30 mm dik (19).

De voorgaande verpakkingen zijn allemaal solide verpakkingen, maar er zijn ook koelverpakkingen die flexibel zijn. Een voorbeeld is de geïsoleerde draagtas of inkoop tas. Deze tas wordt meestal gebruikt om producten koel te houden na het inkopen en de rit naar huis.



Figuur 6. Polyethylene draagtas

De tas is geproduceerd van polyethyleen. De draagtas is natuurlijk ook voorzien van een isolatiemateriaal zoals te zien in figuur 6. Deze is gebaseerd op stilstaande lucht in de convectiecellen die zijn gecreëerd door laminatielagen. Een nadeel bij deze tas is dat deze meestal moeilijk te sluiten is, waardoor hier meerstal wel de temperatuur in de tas oploopt (20).



Figuur 7. Supermarkt draagtas

Een ander soort flexibele koelverpakking is de draagtas die je meestal in de supermarkt tegenkomt zoals te zien in figuur 7. Deze tas bestaat uit drie lagen polyetheen waarbij de binnenste laag geribd is. Dit is gedaan omdat er dan als het ware een luchtkussen gevormd wordt en er daardoor een betere isolatie ontstaat. Het handvat is afsluitbaar waardoor er daar ook geen warmte de verpakking in kan stromen (21).

Wat bij al deze verschillende verpakkingen wel opvalt is dat er bij allemaal een aanvoer van kou moet zijn in de verpakking. Dit wordt bij zo goed als iedere verpakking om soortgelijke manier opgelost, door het plaatsen van een koelelement.

Behalve koelverpakkingen die gebruikt worden voor transport zijn er natuurlijk ook andere producten op de markt die dingen koel moeten houden. Daarbij moet meer gedacht worden aan de koeltassen en koelproducten. Hier is ook nog een marktanalyse naar gedaan.

Koeltas

Het blijkt dat deze er zijn in alle soorten maten en in iedere prijsklasse zoals te zien in figuur 8 (22). De koeltassen zijn gemaakt van een flexibel isolerend materiaal.



Figuur 8. Koeltassen

Meestal wordt er als isolerende materiaal aluminium gebruikt. De binnenkant is meestal belegd met een aluminium laag met aan de buitenkant een stoffen of kunststoffen laag. Tussen de aluminium laag en de buitenkant zit meestal ook nog een isolerend materiaal (23). Ook hier is weer te zien dat er bijna altijd een koelelement in de koeltas geplaatst moet worden als de inhoud echt koel gehouden moet worden.

Koelbox

Net als bij de koeltassen geldt hier ook dat koelboxen er zijn in alle soorten, maten en prijzen.

Meestal is een koelbox gemaakt uit drie lagen. Een dunne buitenlaag, een dikkere isolerende middenlaag en een dunne binnenlaag.



Figuur 9. Koelbox

De binnenlaag is meestal gemaakt van een hard kunststof. Dit is zo omdat kunststof waterafstotend waardoor de koelbox dus niet zal gaan lekken. Het materiaal van de buitenlaag kan verschillen, maar het is meestal een hard materiaal. Zo'n koelbox is te zien in figuur 9.

Er zijn twee soorten koelboxen op de markt. Koelboxen waarvan de inhoud koel gemaakt kan worden door een elektrische stroombron en koelboxen die koel gemaakt moeten worden door middel van koelelementen. De koelboxen met de elektrische stroombron zijn veel beter op temperatuur te houden dan de andere soort koelboxen, maar zijn ook een stuk duurder.

De verschillende materialen die dus in de verschillende producten gebruikt worden zijn de volgende:

- Karton
- Isothermisch gealuminiseerd zakje
- Polyurethaanschuim
- EPS (tempex, piepschuim)
- (geëxtrudeerd) polystyreen
- (vellen van gemetalliseerd) polyethyleen
- Polyetheen
- Verschillende kunststoffen
- Aluminium

In het literatuur onderzoek zullen eerst deze materialen onderzocht worden. Waarna er vervolgens ook naar andere materialen gekeken worden.

Koelelementen

Omdat duidelijk naar voren komt dat er eigenlijk in ieder verpakking, koeltas en koelbox gebruik gemaakt word van koelelementen is er ook hier nog een korte analyse naar gedaan.

Koelelementen zijn er in twee verschillende varianten, er zijn flexibele koelelementen en solide koelelementen.

De flexibele koelelementen zoals te zien in figuur 10 worden ook wel gel packs genoemd. Zoals de naam doet vermoeden zijn dit zakken die gevuld zijn met gel. Deze zakken zijn gemaakt van kunststof zoals bijvoorbeeld polyethyleen. De inhoud is een gel op basis van polymeren (24)



Figuur 10. Flexibel koelelement

(25). De inhoud zal bevriezen als deze in de vriezer geplaatst wordt. Vervolgens zal hij als hij in de verpakking zit langzaam zijn kou afgeven aan zijn omgeving. Tot dat hij uiteindelijk helemaal ontdooit is en weer flexibel is. De gel inhoud voldoet aan strenge eisen zodat mocht het gel pack gaan lekken het geen gevaar geeft voor de consument.

Dan zijn er ook nog de solide koelelementen zoals te zien in figuur 11. Deze worden ook wel ice



Figuur 11. Solide koelelement

packs genoemd. Deze koelelementen zijn meestal gemaakt van een hard kunststoffen (polyetheen) buitenkant waarin een gel zit op waterbasis. Deze gel heeft meestal een bevroeringstemperatuur van 0 °C.

Ook dit soort koelelementen zullen in de vriezer geplaatst moeten worden om te bevriezen waarna ook deze de warmte van de producten om zich heen kunnen opnemen (26).

De prijs van een koelelement is heel erg verschillend. Doordat er koelelementen in alle soorten en maten zijn, verschillen de prijzen ook heel erg. De prijs van de meeste koelelementen ligt tussen de 1 en 5 euro, maar er zijn ook een aantal flinke uitschieters naar boven (27).

Het gewicht van 1 koelelement hangt natuurlijk ook weer af van de grootte van het element, maar vaak ligt het gewicht tussen de 200 en 300 gram.

De hiervoor genoemde gel packs en ice packs zijn beide koelelementen die meerdere malen gebruikt kunnen worden, maar er zijn ook koelelementen voor eenmalig gebruik. Deze wegwerp koelelementen zijn meestal flexibele koelelementen waarbij de buitenkant gemaakt is van kunststof en de inhoud meestal is opgevuld met water. Dit is dus niet schadelijk voor het milieu en kan makkelijk weggegooid worden.

2.4 Temperatuur in de verpakking

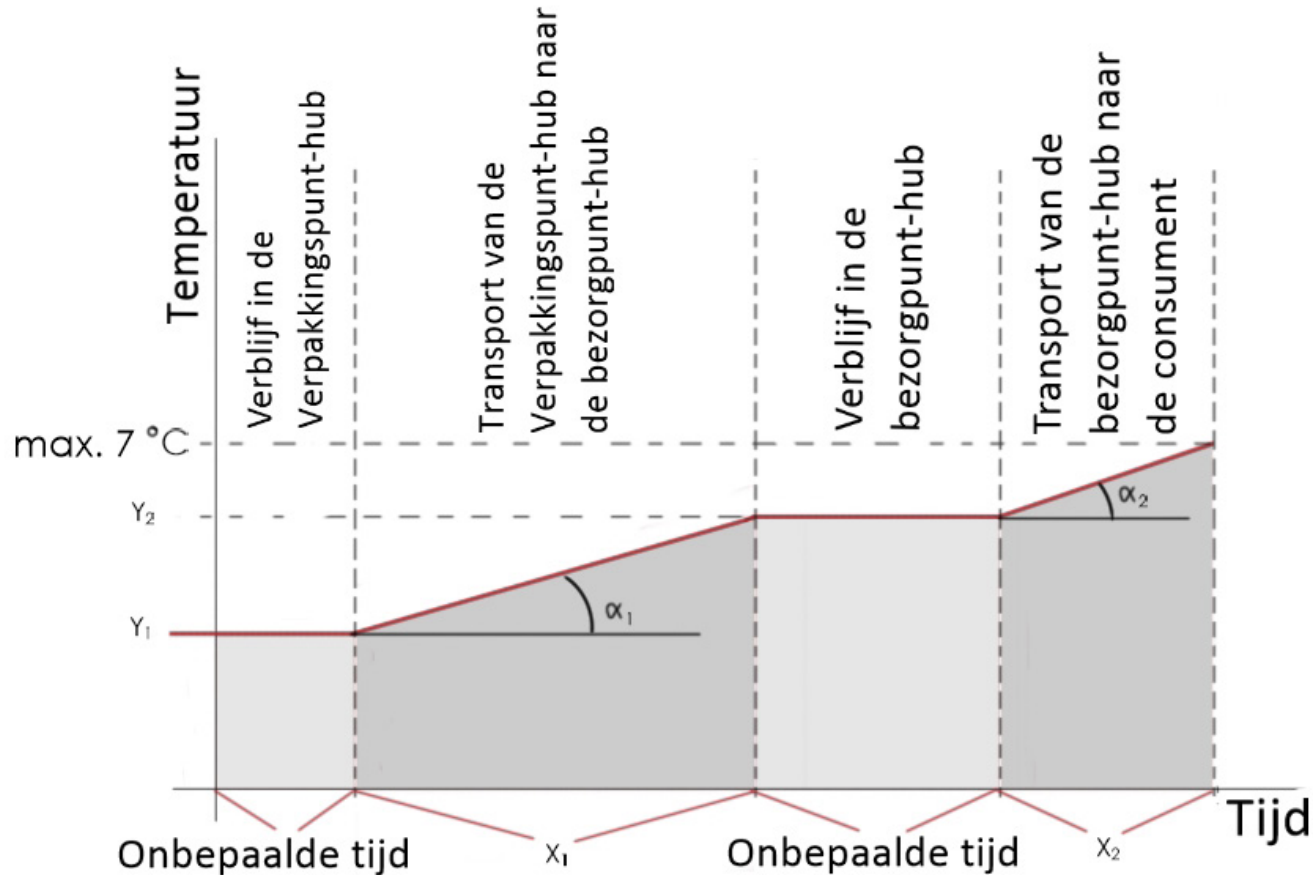
De temperatuur in de verpakking zal door twee grote factoren beïnvloed kunnen worden. Namelijk de omgevingstemperatuur en de temperatuur van de producten binnen in de verpakking.

Er zullen twee soorten omgevingstemperaturen zijn, ten eerste een wisselende omgevingstemperatuur en ten tweede een constante koele omgevingstemperatuur van ongeveer 4 °C.

Omdat er een materiaal gebruikt gaat worden die goed isoleert zal de inhoud van de verpakking, als het zich in de wisselende omgevingstemperatuur bevindt, maar heel langzaam en minimaal opwarmen. Alleen, doordat er een materiaal gebruikt wordt dat zo goed isoleert, zal de inhoud van de verpakking niet afkoelen als het pakket zich in de constant koele omgeving bevindt. Als het pakket zich dus in de hub bevindt wordt de temperatuur in het pakket constant gehouden. Er zal dus een materiaal gekozen moeten worden die het temperatuurverloop, zoals te zien is in grafiek 1, kan bereiken.

Het tweede aspect waardoor de temperatuur in de verpakking kan gaan veranderen zijn de producten die in de verpakking zitten. Er zal in de pakketen gekoeld eten, maar ook ongekoeld eten zitten.

Als deze bij elkaar in 1 pakket gedaan worden zullen deze producten even warm willen worden en warmt het koel te houden product op, wat niet de



Grafiek 1. Temperatuurverloop

bedoeling is. Om de te koelen producten ook daadwerkelijk koel te kunnen houden zullen deze dus afgezonderd moeten worden van niet te koelen producten. Er zullen in de verpakking dus twee compartimenten gemaakt moeten worden waardoor de producten niet elkaars temperatuur beïnvloeden.

Temperatuurverloop

Er is een schatting gemaakt van het precieze temperatuurverloop in de verpakking. Hierdoor is

het zeker dat het materiaal dat gekozen zal worden ook daadwerkelijk de inhoud van de verpakking op de goede temperatuur kan houden.

Zoals in grafiek 7 te zien is, zal de temperatuur in het pakket maximaal 7 graden mogen zijn als het bezorgt wordt bij de consument. Tijdens het verblijf in de twee hub's zal de temperatuur niet oplopen waardoor het verschil in temperatuur kleiner is dan wanneer er geen hub's gebruikt zouden worden.

De tijd dat het pakket in de hub ligt is onbepaald, maar doordat het pakket hier op constante temperatuur wordt gehouden zal deze tijd voor de berekening niet nodig zijn.

Wel zal er gekeken moeten worden hoe lang het pakket erover doet om getransporteerd te worden tussen de hub's en de consument (x_1 en x_2).

Ook moet er gekeken op welke temperaturen het pakket de hub in gaat (y_1 en y_2). Als al deze waarde bekend zijn kan vastgesteld worden welk materiaal hier voor kan gaan zorgen.

In de verpakkingspunt-hub zullen de verschillende producten ingepakt worden en zullen de producten waarschijnlijk allemaal nog goed gekoeld zijn. Hierdoor zal de omgevingstemperatuur in deze hub op de 4 °C liggen.

Zoals in grafiek 1 te zien is geldt voor de meeste gevallen dat $x_1 > x_2$. Het pakket zal er langer over doen om bij de volgende hub te komen dan van de hub bij de consument.

Omdat de bezorgpunt-hubs meestal in de omgeving staan van de consument zal de te overbruggen tijd niet langer zijn dan 15 minuten. De x_2 is dus $15 \cdot 60 = 900$ seconden. De verpakkingspunt-hubs en de bezorgpunt-hubs staan veel verder uit elkaar. Om erachter te komen wat hier de te overbruggen transporttijd is, is er gekeken of het pakket overal geleverd kan worden als de "bezorger" in een straal van 40 km om de HUB heen zal bezorgen. In figuur 12 is te zien dat met 10 hub's door het hele land zo goed als overal bezorgt kan worden.



Figuur 12. Verspreiding van de HUB's

De bezorger zal dus in een straal van 40 km om de verpakkingspunt-hub bezorgen. Er is voor de berekening uit gegaan van een gemiddelde snelheid van 60 km/h. Over het algemeen zal er alleen op de snelweg gereden worden, maar op sommige plekken zal de bezorger ook stilstaan/langzaam rijden door drukte of file, er zal dus van de ergste situatie uit gegaan worden. De tijd die de bezorger dus onderweg zal zijn kan oplopen tot 90 minuten. Dus $90 \cdot 60 = 5400$ seconden.

De totale maximale tijd die het pakket dus buiten de hub doorbrengt is 6300 seconden. Het temperatuur verschil mag tijdens deze 6300 seconde maximaal 3 °C worden.

De hellingshoek van de grafiek tijdens de twee stukken transport zullen niet helemaal gelijk zijn. Maar deze hoeken zullen zo minimaal verschillen dat aangenomen kan worden dat deze gelijk zijn.

Doordat de totale ΔT en de totale tijd bekend zijn kan de totale α berekend worden. Namelijk:

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \Delta T / \text{tijd} \text{ dus} \\ \alpha &= \tan^{-1}(\Delta T / \text{tijd}) \\ \alpha &= \tan^{-1}(7 - 4 / 105) = 1,64\end{aligned}$$

Nu de totale α bekend is en omdat er geldt dat $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$ kan de andere temperatuur (y_2) ook uitgerekend worden:

$$\begin{aligned}\tan \alpha_1 &= (y_2 - y_1) / x_1 \text{ dus} \\ \tan 1,64 &= (y_2 - 4) / 90 \text{ hieruit volgt dat} \\ y_2 &= 90 \cdot \tan(1,64) + 4 = 6,58 \text{ °C.}\end{aligned}$$

Dus de ΔT over het eerste transport is $6,58 - 4 = 2,58$ °C en de ΔT over het tweede transport is $7 - 6,58 = 0,42$ °C.

De temperatuur in de verpakking zal dus maximaal met 0,038 °C/minuut mogen toenemen. Nu dit bekend is kan gekeken worden welk materiaal niet meer dan deze temperatuur doorlaat.

2.5 Vorm van verpakking

Omgeving en vorm van het voedselpakket

Stel er wordt vanuit gegaan dat de omgevingstemperatuur tijdens het transport in de taxi en in de pizzakoffer gelijk is en ongeveer 40 °C is.

Omdat het temperatuur verloop ook afhangt van het formaat en de vorm van de verpakking is er een experiment gedaan om te kijken met welke afmetingen er gerekend moet gaan worden.

Uit het experiment waarin verschillende producten zijn gebruikt die de inhoud van de pakketten representeren zijn verschillende resultaten gekomen. In het experiment zijn er verpakkingen van verschillende vormen en maten om de producten heen gemaakt. Hiermee is er gekeken welke verpakking het best is voor een bepaald pakket. De maten van deze verschillende verpakkingen zijn te vinden in bijlage C.

Er zijn drie verschillende vormen die voor de verpakking gebruikt kunnen worden. Namelijk een doos vorm, een cilinder of een 6-hoek-vorm.

Doos:

Eerst is er gekeken naar de doos vorm. Hier zijn verschillende maatvoeringen uitgetoetst, maar uiteindelijk is er gekozen voor de volgende maatvoeringen:

Lunchpakket, figuur 13: 45 x 34 x 11 cm



Figuur 13. Lunchpakket

Picknickpakket, figuur 14: 45 x 34 x 11 cm



Figuur 14. Picknickpakket

Borrelpakket, figuur 15: 35 x 34 x 11 cm



Figuur 15. Borrelpakket

BBQ-pakket: Vierkante doos niet optimaal

Zoals te zien in de afbeeldingen van de pakketten is een groot deel van de pakketten gevuld met producten die gekoeld moeten blijven en een deel met producten die niet gekoeld hoeven worden. Er zal in de verpakking dus een compartiment komen voor ongekoelde producten en een compartiment dat dient als koelvak. In de figuren is het koelvak rood gearceerd.

De maten van de koelvakken zijn de volgende:



Figuur 16. Lunchpakket en picknickpakket

Lunchpakket en picknickpakket, figuur 16: 10x17x30 cm



Figuur 17. Borrelpakket

Borrelpakket, figuur 17: 9x35x17,5 cm

Cilinder:

Vervolgens is er gekeken naar een verpakking met een cilindervorm. Na weer verschillende vormen te maken werd al snel duidelijk dat deze vorm voor het BBQ-pakket en lunchpakket niet efficiënt en niet handig is.

Voor de andere twee pakketten zou deze vorm wel gebruikt kunnen worden. De maatvoering zou dan het volgende worden:

Borrelpakket: d = 20 cm, h = 33 cm

Picknickpakket: d = 20 cm, h = 33 cm

(Hier zou nog wel een flexibel stuk bovenop moeten komen waar de bolletjes opgeborgen kunnen worden.)

Zoals ook hier in de figuur 18 te zien is, is er weer een deel koelvak en een deel niet. De maatvoering van dit koelvak zal zijn:
h = 33 cm, iets meer dan een halve cirkel waarbij het rechte stuk een lengte heeft van l = 17 cm.



Figuur 18. Cilinder verpakking

6-Hoek:

Dan is er ook nog gekeken naar een 6-hoek vorm. Ook hier zijn weer verschillende verpakkingen gemaakt met verschillende maatvoeringen zoals te zien in figuur 19.



Figuur 19. 6-hoek verpakking

De maatvoeringen zijn de volgende:

BBQ-pakket: d = 30 cm, h = 32 cm,
zijvlakken = 15 cm

Borrelpakket: d < 30 cm, h = 32 cm,
zijvlakken = 15 cm

Lunchpakket: d = 30 cm, h = 27 cm,
zijvlakken = 15 cm

Picknickpakket: d = 30 cm, h = 24 cm,
zijvlakken = 15 cm

Zoals te zien is in de afbeeldingen van de verpakkingen zullen de koelvakken in deze verpakkingen allemaal net iets anders in de verpakking zitten.

Voor het overzicht zijn nu alle maten die eventueel gebruikt kunnen worden voor de verpakking en het koelvak in een tabel gezet. Deze tabel is te vinden in bijlage D.

Met alle gegevens zou nu bijna de maximale warmte overdracht berekend kunnen worden. De enige informatie die daarvoor nog mist is de kennis van de materialen. In het volgende hoofdstuk zal gekeken worden welke materialen hiervoor gebruikt gaan worden.

2.6 Conclusie analyse

Uit de analyse zijn verschillende belangrijke aspecten naar voren gekomen. Zo is uit de analyse van de concurrerende bedrijven het volgende te concluderen.

Ten eerste is wel duidelijk dat er steeds meer en meer verschillende bedrijven proberen om voedsel aan huis te gaan bezorgen. Wat wel opvalt is dat er maar bij drie bedrijven gebruik gemaakt wordt van koeling in de verpakking door middel van een koelbox of isolatietas, terwijl bij al de andere bedrijven de koeling allemaal gebeurd door middel van een koelvrachtwagen.

Een ander aspect wat opvalt is dat de inhoud van de pakketten kwaliteitshoge/biologische/eerlijke producten zijn.

Daarom zijn mensen ook bereid om meer te betalen wat ook weer te zien is aan de kosten van de pakketten.

Ook uit de analyse van de concurrerende producten kunnen een aantal dingen geconcludeerd worden. Wat ten eerste opval is dat de verpakkingen die voor verder transport gebruikt worden meestal solide verpakkingen zijn. Dit is op zich logisch omdat de inhoud dan minder snel zal beschadigen dan wanneer er een flexibele verpakking wordt gebruikt.

Een ander aspect dat uit de concurrentie analyse valt te concluderen is dat alle verpakkingen een

koelelement gebruiken om de inhoud van de verpakking koel te houden. De temperatuur waarop de verpakkingen de inhoud koel houden is meestal tussen de 2 en 8 graden. Qua kosten is er te concluderen dat de meeste verpakkingen best prijzig zijn.

Zo zal een koelverpakking met een inhoud van 12 liter toch snel €40,- kosten (28).

Ook uit de transport analyse zijn er nog een aantal dingen te concluderen. Zo valt te zien dat de bezorger verschillende handelingen moet doen met het pakket tijdens het transport. Hij zal het pakket in en uit de auto moeten laden, zal het pakket in de hub moeten plaatsten en het er weer uit halen. Daarbij zullen de mensen die het pakket transporteren ook altijd verschillende mensen zijn doordat er niet 1 bepaalde bezorger is.

De nieuwe verpakking zal dus waarschijnlijk ook een solide verpakking worden met een gewenste binnentemperatuur tussen de 2 en de 8 graden. Wel zal als doel gesteld worden dat de nieuwe verpakking deze temperatuur moeten kunnen bereiken zonder dat er een koelelement bij het voedsel in het pakket zit. Verder zal ook de prijs van de verpakking een stuk lager moeten zijn waardoor de inhoud van de verpakking iets duurder dan gemiddeld kan zijn.

Ook zal de verpakking voor een gemiddeld persoon gemakkelijk te vervoeren moeten zijn. Ook moet de verpakking gemakkelijk in de hub's geplaatst kunnen worden.

Uit de analyse van de temperatuur in de verpakking is geconcludeerd dat verpakking binnen de 105 minuten van de verpakking-hub naar de consument getransporteerd moet zijn. De temperatuur in de verpakking-hub zal 4 graden zijn, zodat de producten gekoeld ingepakt kunnen worden. Verder is bepaald dat de temperatuur in de verpakking niet hoger mag worden dan 7 graden. Door 10 verpakking-hubs in nederland te hebben moeten de pakketjes overal binnen nederland binnen de gestelde tijd bezorgt kunnen worden.

Uit de analyse van de vorm en omgeving is te concluderen dat de producten die in de pakketten zullen komen op veel verschillende manieren in de verpakking geplaatst kunnen worden. Dit zal ook liggen aan de vorm van de verpakking. De ene vorm zal bij een bepaald pakket geschikter zijn dan een andere vorm. De drie vormen waarvan er 1 gekozen gaat worden voor de nieuwe verpakking zijn de doos, de cilinder en de 6-hoek.

Uit deze analyses en de bijbehorende conclusies kan er nu een programma van eisen opgesteld worden.

2.7 Programma van Eisen

Algemenen eisen:

- De verpakking mag een maximaal formaat hebben van 50x37x47 cm, wat de standaard maat is van een pizzakoffer. (2.2)
- De verpakkingsmateriaal moet sterk genoeg zijn om minimaal 3,6 kg te kunnen dragen. ²⁹
- Het verpakkingsmateriaal moet ervoor zorgen dat de inhoud van de verpakking niet meer dan 7 °C zal worden. (2.4)
- Het verpakkingsmateriaal moet de inhoud van de verpakking minimaal 105 minuten constant gekoeld houden. (2.4)
- De kosten van de verpakking moeten binnen een bandbreedte van 10% tot 20% van de totale pakketkosten blijven. (2.1)
- De verpakking zal eenmalig gebruikt moeten worden voor de service van Johma. (2.1)
- Het verpakkingsmateriaal moet zo gemaakt zijn dat de verpakking in 5 of minder verschillende handelingen in elkaar gezet kan worden in de verpakkingspunt-hub waar werknemers de pakketten inpakken.

Transporteisen:

- Het verpakkingsmateriaal moet de inhoud van de verpakking beschermen tegen stoten tijdens het transport. (2.2)
- Het verpakkingsmateriaal moet sterk genoeg zijn zodat de verpakking niet stuk gaat tijdens het transport. (2.2)
- Tijdens het transport moeten de producten stabiel in de verpakking liggen. (2.2)

Wensen:

- Het verpakkingsmateriaal en de verpakking zelf moeten makkelijk te recyclen zijn. (2.1)
- De verpakking moet door de consument eventueel voor een nieuw doeleinde te gebruiken zijn. (2.1)
- Er mag geen koelelement gebruikt worden waar chemische bestanddelen in zitten om de inhoud van de verpakking te koelen. (2.3)

3. Materiaalonderzoek

3.1 Literatuur onderzoek

3.1.1 Materialen uit de al bestaande koelverpakkingen

	Aluminium	Polyurethaanschuim	EPS/polystyreen schuim	Polyethyleen/Polyetheen
Dichtheid	2,5e3 - 2,9e3 kg/m^3	1,02e3 - 1,25e3 kg/m^3	1,04e3 - 1,05e3 kg/m^3	939 - 960 kg/m^3
Prijs	1,62 - 1,78 EUR/kg	4,39 - 4,82 EUR/kg	2,59 - 2,85 EUR/kg	1,32 - 1,45 EUR/kg
Elasticiteitsmodulus	68 - 72 GPa	0,002 - 0,03 GPa	1,2 - 2,6 GPa	0,621 - 0,896 GPa
Afschuiingscoëfficiënt	25 - 28 GPa	7e-4 - 0,008 GPa	0,5 - 0,9 GPa	0,218 - 0,314 GPa
Bulk modulus	64 - 69 GPa	1,5 - 1,6 GPa	2,9 - 3,1 GPa	2,15 - 2,25 GPa
Poissons's coëfficiënt	0,32 - 0,36	0,49 - 0,498	0,383 - 0,403	0,418 - 0,434
Vloeisterkte	30 - 286 MPa	25 - 51 MPa	28,7 - 56,2 MPa	17,9 - 29 MPa
Treksterkte	70 - 360 MPa	25 - 51 MPa	35,9 - 56,5 MPa	20,7 - 44,8 MPa
Breuksterkte	30 - 286 MPa	50 - 100 MPa	31,6 - 61,8 MPa	19,7 - 31,9 MPa
Ultrekking	2 - 41 % strain	380 - 720 % strain	1,2 - 3,6 % strain	200 - 800 % strain
Hardheid - Vickers	30 - 100 HV	-	8,6 - 16,9 HV	5,4 - 8,7 HV
Vermoeiingsterkte	42 - 160 MPa	18,8 - 38,3 MPa	14,4 - 23 MPa	21 - 23 MPa
Breuk taatheid	26 - 42 MPa.m^0.5	0,2 - 0,4 MPa.m^0.5	0,7 - 1,1 MPa.m^0.5	1,44 - 1,72 MPa.m^0.5
Mechanisch verlies coëfficiënt	2e-4 - 0,002	0,51 - 1,2	0,012 - 0,0175	0,0446 - 0,0644
Smeltpunt	570 - 670 °C	-	-	125 - 132 °C
Glastemperatuur	-	73,2 - 23,2 °C	73,9 - 110 °C	25,2 - 15,2 °C
Maximale opp. temperatuur	130 - 220 °C	66,9 - 86,9 °C	76,9 - 103 °C	90 - 110 °C
Minimale opp. temperatuur	273 °C	73,2 - 23,2 °C	123 - 73,2 °C	123 - 73,2 °C
Thermische conductor of isolator	Goede conductor	Goede isolator	Goede isolator	Goede isolator
Thermische geleidbaarheid	119 - 240 W/m.°C	0,28 - 0,3 W/m.°C	0,121 - 0,131 W/m.°C	0,403 - 0,435 W/m.°C
Specifieke warmtecapaciteit	886 - 995 J/kg.°C	1,65e3 - 1,7e3 J/kg.°C	1,69e3 - 1,76e3 J/kg.°C	1,81e3 - 1,88e3 J/kg.°C
Thermische uitzettingscoëfficiënt	22 - 25 µstrain/°C	150 - 165 µstrain/°C	90 - 153 µstrain/°C	126 - 198 µstrain/°C
Elektrische conductor of isolator	Goede conductor	Goede isolator	Goede isolator	Goede isolator
Elektrische soortelijke weerstand	2,5 - 6 µohm.cm	1e18 - 1e22 µohm.cm	1e25 - 1e27 µohm.cm	3,3e22 - 3e24 µohm.cm
Verspillingsfactor	-	0,003 - 0,009	0,001 - 0,003	3e-4 - 6e-4
Transparantie	Ondoorzichtig	Transparant	Optische kwaliteit	Transparant
Recyclebaar	Ja	Nee	Ja	Ja

Zoals eerder in de conclusie van de concurrentie analyse is gezegd, zullen eerst de materialen die gebruikt worden in bestaande koelverpakkingen onderzocht worden.

Dit zijn karton, Aluminium, polyurethaanschuim, EPS en polyethyleen/polyetheen. In tabel 2 zijn verschillende eigenschappen te zien van deze 4 verschillende materialen.

Uit de tabel zijn verschillende dingen te concluderen:

Eigenlijk zijn er maar een aantal dingen belangrijk, ten eerste mag de prijs van het materiaal niet te hoog zijn zodat de uiteindelijke prijs van de verpakking zo laag mogelijk gehouden kan worden. Ten tweede moet het materiaal een goede isolator zijn zodat de inhoud voor bepaalde tijd gekoeld kan blijven. En ten derde moet het materiaal een sterk en licht materiaal zijn zodat de bezorger het pakket gemakkelijk kan tillen en de inhoud van het pakket niet snel stuk gaat.

Zoals te zien is, is aluminium volgens CES Edupack een goede conductor, dit betekent dus dat deze niet heel goed isoleert. Maar aluminium reflecteert wel heel goed, dus door een laagje aluminium aan de binnenkant van een verpakking te doen, zal de kou toch binnenblijven.

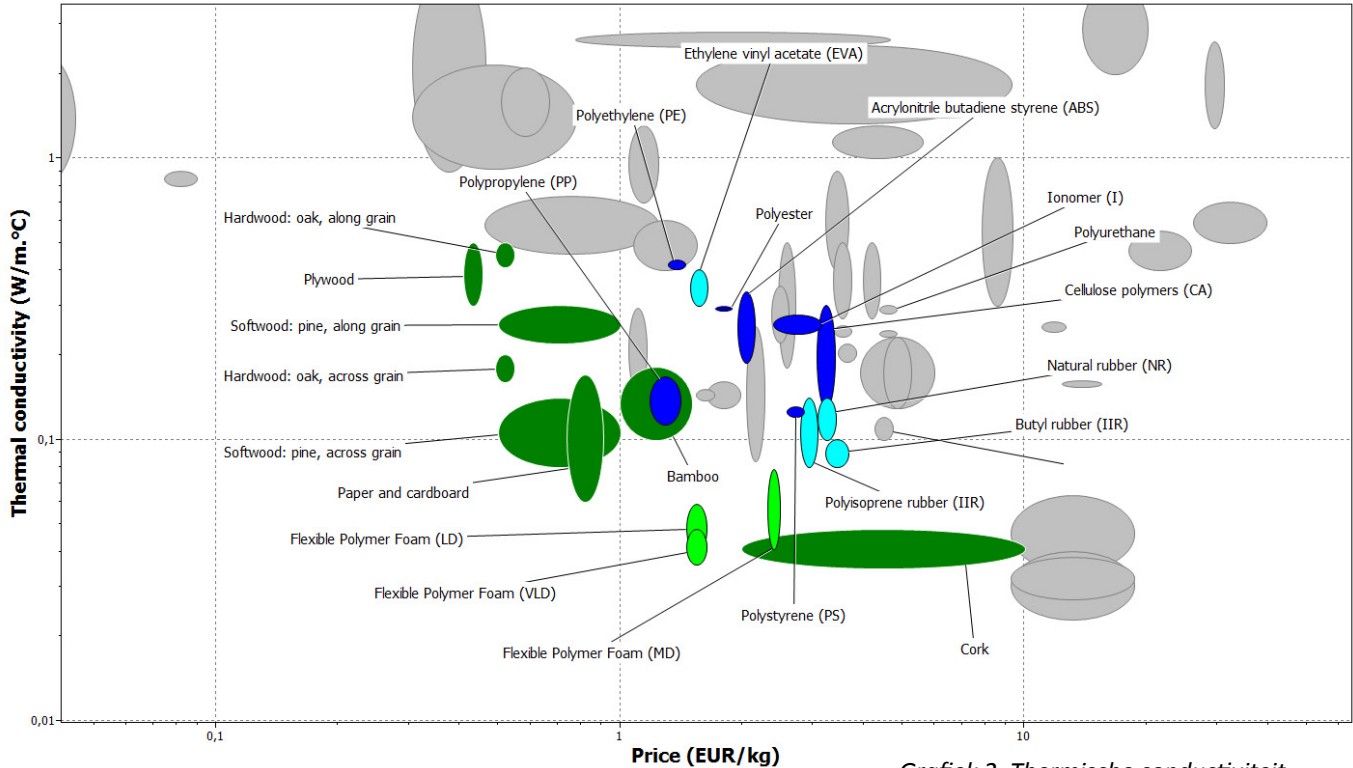
Verder is te zien dat de dichtheid van polyurethaan, EPS en polyethyleen/polyetheen ongeveer gelijk is. Deze ligt bij allemaal rond de 1000kg/m³. Aluminium heeft daarentegen een veel

Tabel 2. Eerder gebruikte materialen

grotere dichtheid, doordat in de drie kunststoffen dus minder gewicht per oppervlakte zit, zullen deze betere isolatoren zijn dan aluminium. Daarbij zullen deze drie kunststoffen ook een lagere massa hebben dan het aluminium.

3.1.2 Eerste materialen onderzoek

In CES Edupack zijn verschillende materialen tegen elkaar uitgezet. In grafiek 2 is te zien hoe de materialen zich ten opzichte van elkaar verhouden op basis van prijs en conductiviteit. In de grafiek is te zien dat hoe lager de materialen staan, des te beter ze isoleren.



Grafiek 2. Thermische conductiviteit

De materialen die in deze grafiek gekleurd zijn, zijn materialen die een dichtheid hebben onder de 1050kg/m³, een prijs lager dan 10 €/kg en een thermische conductiviteit onder de 1 W/m.°C. Deze waarde zijn gekozen op basis van de materialen die in de vorige tabel zijn geanalyseerd. De hoogste dichtheid (de dichtheid van EPS) is gekozen als maximum waarde voor de dichtheid. De prijs is in eerste instantie nog ruim genomen, maar deze zal later nog aangescherpt worden. De maximale waarde van thermische conductiviteit is gezet op 1 W/m°C. Hierdoor zullen er alleen materialen meegenomen worden die goede isolators zijn.

De 23 overgebleven materialen zijn verder onderzocht. De achtergrond informatie van deze materialen is te vinden in bijlage E.

Bewerkingsmogelijkheden

Ten eerste is er gekeken welke processen er nodig zijn om deze materialen te bewerken, en dan is er voornamelijk gekeken naar het vervormen.

In tabel 3 zijn de verschillende materialen met bijbehorende processen gerangschikt.

Zoals te zien hebben de materialen allemaal verschillende bewerkingsmogelijkheden, maar zijn de soorten bewerkingen bij veel materialen wel hetzelfde. De materialen kunnen dus in verschillende groepen in gedeeld worden. Een groep Flexible Polymer Foams. Dan een groep met rubbers, EVA en polyurethaan. Ook is er een groep met PE, I, ABS, PE, CA, PP en PS. Tot slot is er ook nog een groep met al de houtsoorten. De groep met PE, I, ABS, CA, PP en PS de heeft de meeste vervormingmogelijkheden.

Behalve het kijken naar hoe de materialen vervormd kunnen worden in het industriële proces, is er ook gekeken hoe de materialen zelf vervormen.

	Hardwood: oak, along grain	Polyethylene (PE)	Plywood	Ethylene vinyl acetate (EVA)	Polyester	Polyurethane	Softwood: pine, along grain	Ionomer (I)	Acrylonitrile butadiene styrene	Cellulose polymers (CA)	Hardwood: oak, across grain	Polypropylene (PP)	Bamboo	Natural rubber (NR)	Polystyrene (PS)	Polyisoprene rubber (IIR)	Softwood: pine, across grain	Butyl rubber (IIR)	Paper and cardboard	Flexible Polymer Foam (MD)	Flexible Polymer Foam (LD)	Flexible Polymer Foam (VLD)	Cork
Band sawing																							
Circular sawing																							
Cropping and guillotining																							
Drilling																							
Milling																							
Punching, perforating, blanking and nibbling																							
Turning/boring/parting																							
Abrasive jet machining and cutting																							
Laser cutting																							
Water-jet cutting																							
Blow molding																							
Compression molding																							
Expanded foam molding																							
Injection molding, thermoplastics																							
Polymer extrusion																							
Rotational molding																							
Thermoforming																							
Injection molding, thermosets																							
Laminated object manufacture																							
Reaction injection molding (RIM)																							
Resin casting																							
3-D printing																							
Laser sintering, polymers																							
Stereolithography																							

Tabel 3. Verschillende materialen

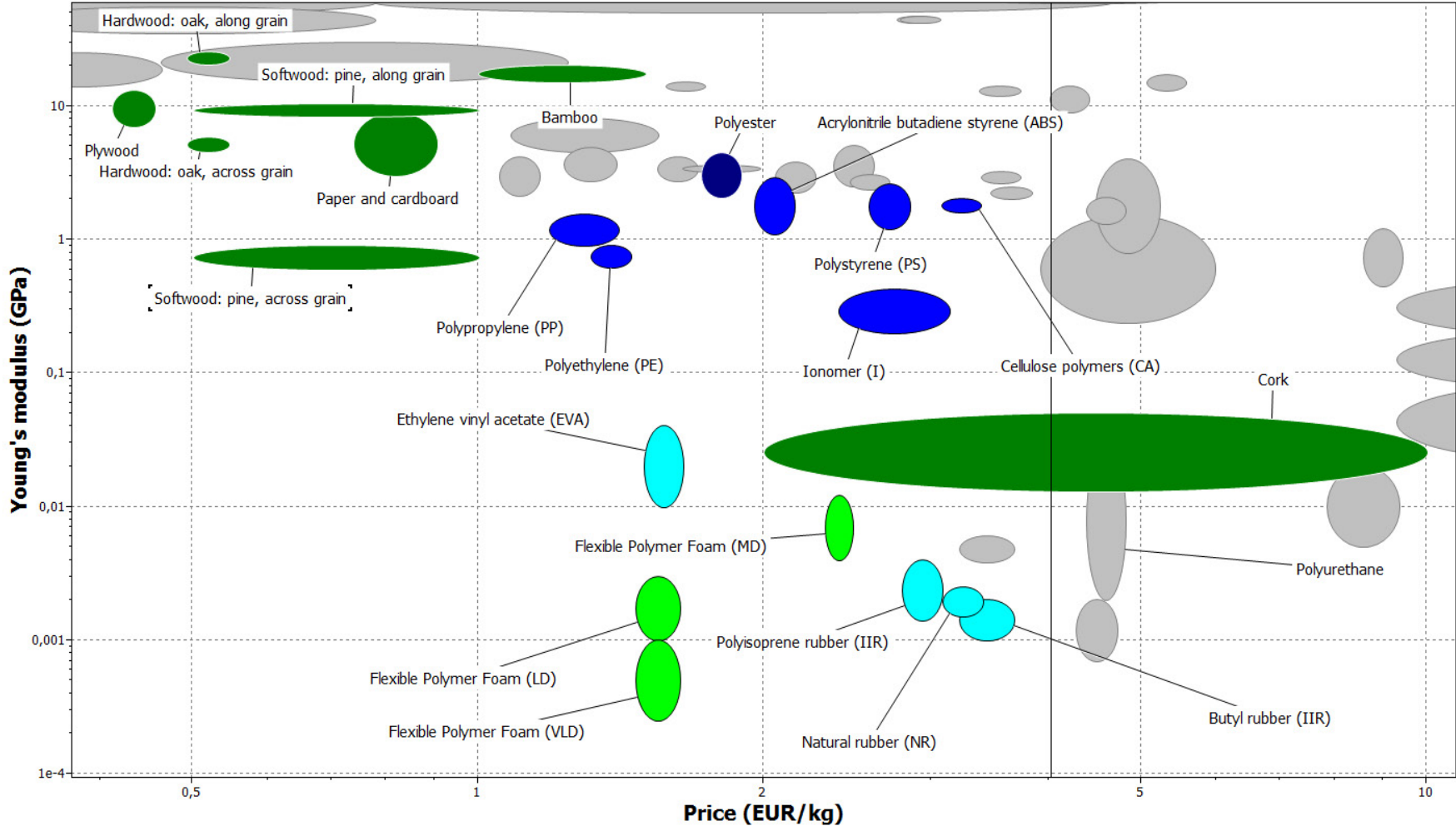
Vervormbaarheid

In grafiek 3 is de prijs uitgezet tegen de elasticiteits modulus.

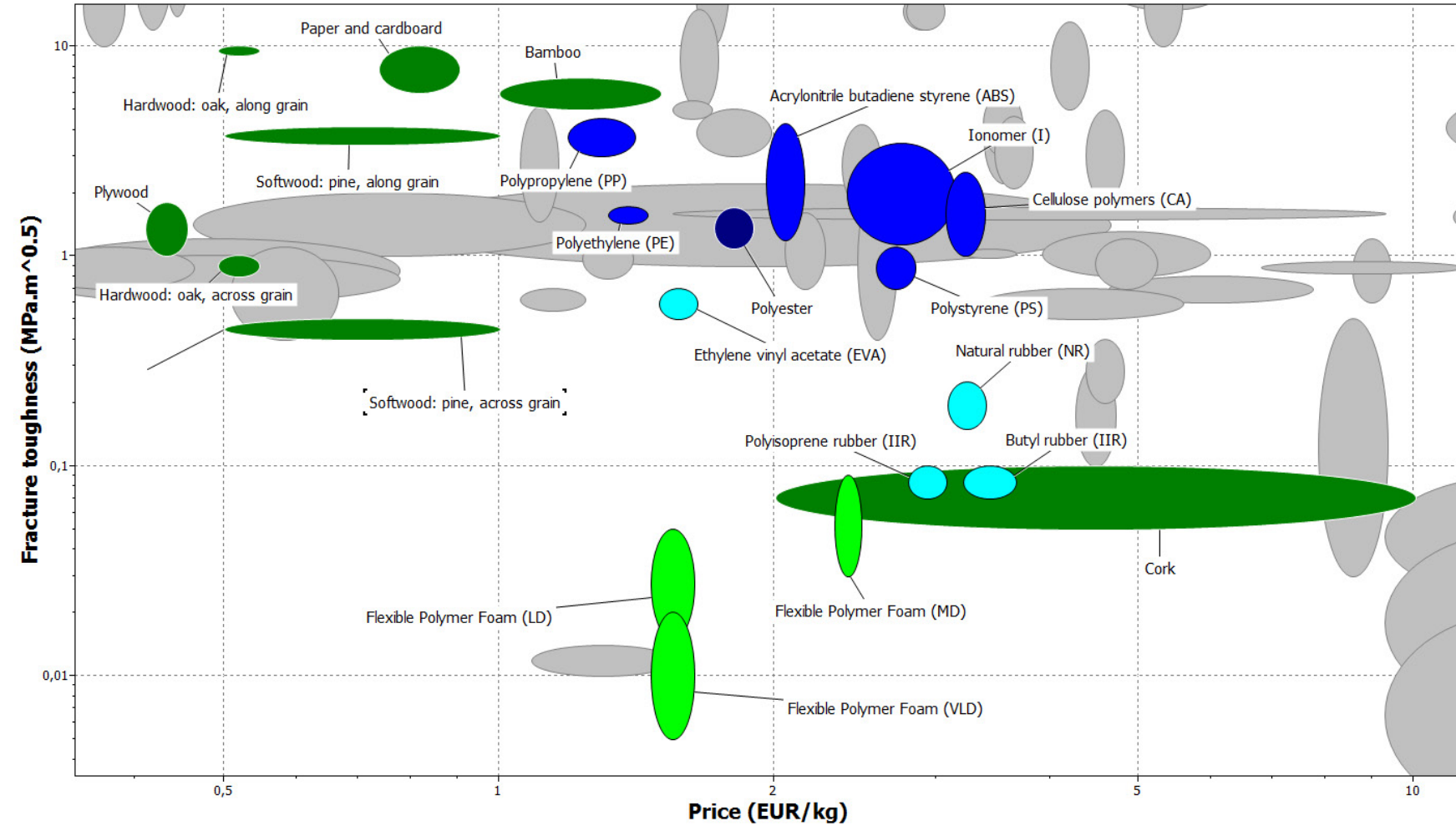
Als de materialen hoger in de grafiek staan, dan zullen de materialen elastischer en flexibeler zijn. Als er dus een verpakking ontworpen zal worden die solide is, kan er beter een materiaal gekozen worden met een lage elasticiteits modulus en bij een flexibele verpakking een materiaal met een hoge elasticiteits modulus.

Omdat de verpakking zo goedkoop mogelijk gemaakt moet worden zullen de “duurdere” materialen niet meer gebruikt worden. De maximale prijs wordt aangescherpt naar 4 €/kg.

Hierdoor zal het materiaal Polyurethaan niet meer gebruikt worden.



Grafiek 3. Elasticiteits modulus



Grafiek 4. Breuksterkte

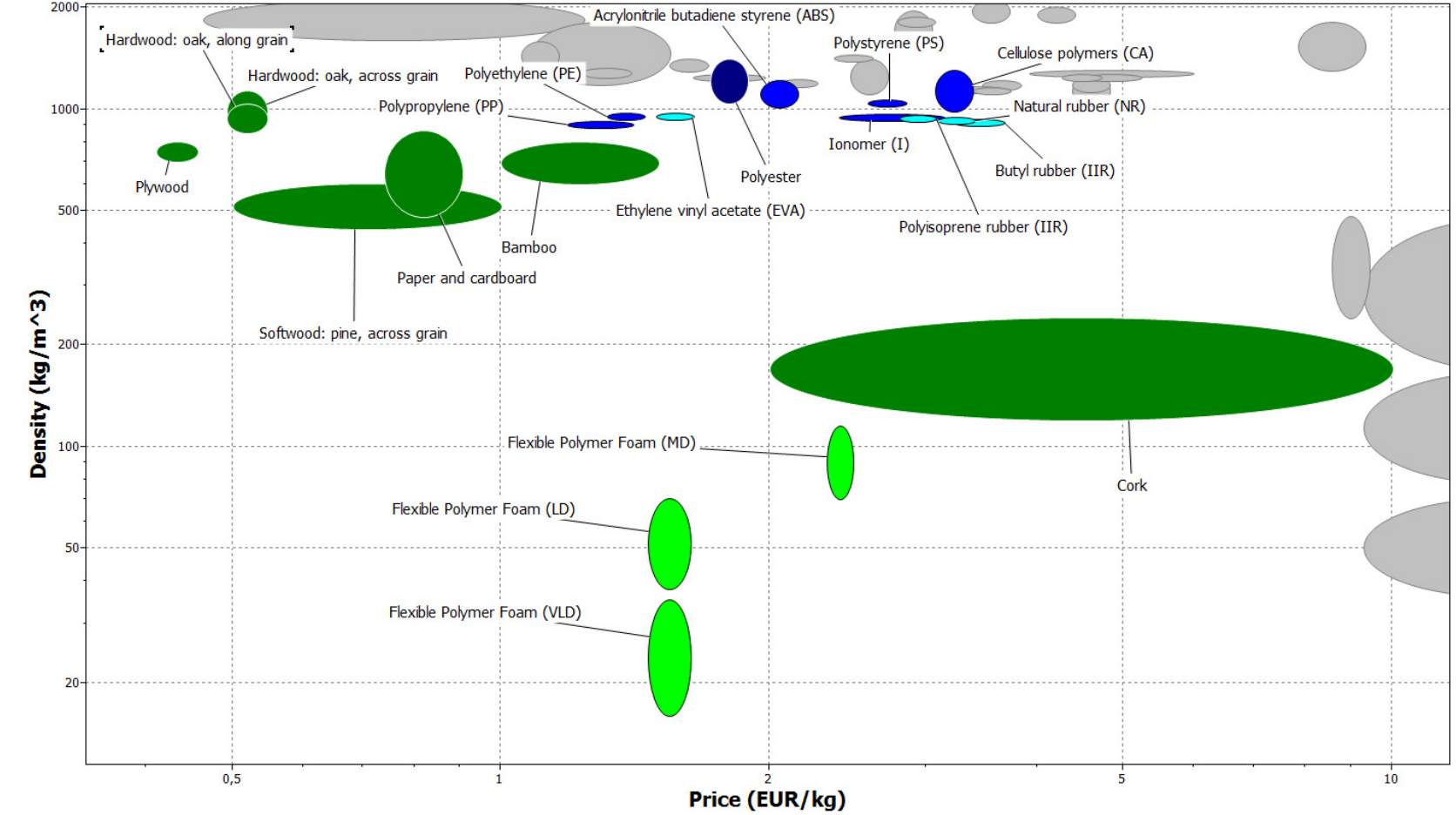
Breuksterkte

Vervolgens is in grafiek 4 de prijs opnieuw uitgezet tegen de breuksterkte.

Als deze breuksterkte heel hoog is betekent het dat het materiaal beter bestand is tegen breuk dan een materiaal met een lage breuksterkte.

Doordat er tijdens het transport van de verpakking verschillende handelingen met het pakket uitgevoerd moeten worden, moet er worden voorkomen dat het pakket stuk gaat. Het is dus goed om een materiaal te nemen die een iets hogere breuksterkte heeft.

Ook is er gekeken naar de dichtheid van de verschillende materialen. Als de dichtheid van een materiaal groter is, betekent dit dat het materiaal meer massa heeft bij hetzelfde volume. Het materiaal zal dan dus een groter soortelijk gewicht hebben.



Grafiek 5. Dichtheid

Dichtheid

Uit grafiek 5 kan gehaald worden dat de groep met het Flexible Polymer Foam en kurk een veel lagere dichtheid heeft dan de overige materialen.

Er zal in het Foam en het kurk dus minder gewicht per volume zitten en dus een lager soortelijk gewicht hebben.

Wanneer een materiaal een hoger soortelijk gewicht heeft betekent dit meestal dat de L-waarde (λ in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) ook hoger wordt. De L-waarde is de isolatie waarde. Bij een lage L-waarde betekent het dat het materiaal goed isoleert, bij een hogere L-waarde minder goed (30).

Er blijven 7 recyclebare materialen over. Deze materialen zijn: Papier en karton, Polypropyleen (PP) Polyethyleen (PE), Acrylonitriël butadiëen styreen (ABS), Polystyreen (PS), Ionomeer (I) en Cellulose polymeren (CA).

De materialen met het lager soortelijk gewicht, de Foams en het kurk, zullen dus beter isoleren dan de andere materialen.

Maar het verschil zal minimaal zijn omdat al deze materialen een lage thermische conductiviteit hebben.

Omdat de verpakking als het goed is maar twee keer open en dicht gedaan wordt zal de vermoeingssterkte van de materialen niet relevant zijn. Na twee keer open en dicht doen zal er nog geen vermoeiing opgetreden zijn en daarom zal er ook niet naar deze eigenschap gekeken worden.

Recyclebaarheid

Als ervoor gekozen gaat worden dat de verpakking gerecycled gaat worden zijn er een aantal materialen die niet gebruikt kunnen worden.

De 23 materialen die voor dit eerste onderzoek zijn gebruikt zijn nu onderzocht op 6 punten. Dit is gedaan vanwege het volgende:

- De *thermische conductiviteit* omdat hierdoor duidelijk wordt of het materiaal goed isoleert.
- De *bewerkingsmogelijkheden* omdat hiermee te zien valt of het materiaal te bewerken valt.
- De *elasticiteits modulus* omdat hierdoor te zien valt welke materialen er gebruikt kunnen worden voor een flexibele verpakking en welke voor een solide verpakking.
- De *breuksterkte* omdat hierdoor te zien is of het materiaal sterk genoeg is zodat de verpakking het transport zal doorstaan.
- De *dichtheid* omdat hieruit duidelijk wordt hoe zwaar de verschillende materialen zullen zijn.
- De *recyclebaarheid* omdat hiermee gekeken wordt of er materialen zijn die eventueel her gebruikt kunnen worden.

Op al deze punten zullen de verschillende materialen verschillend scoren. Welke materiaal uiteindelijk gekozen zal worden zal in het hoofdstuk “Materiaalkeuze” worden toegelicht. Maar voordat dit gedaan kan worden moet er ook nog gekeken naar andere isolatie materialen.

3.1.3 Overige isolatie materialen

In de bouw wordt er ook heel veel gebruik gemaakt van verschillende isolatie materialen (31). Het is dus al bekend dat deze goed isoleren, maar er wordt onderzocht of ze eventueel in de nieuwe verpakking gebruikt zouden kunnen worden.

Twee veelvoorkomende isolatie materialen zijn glaswol en steenwol. Glaswol is een materiaal dat gemaakt is uit zand en gerecycled glas. Het materiaal heeft een heel open structuur en wordt meestal bij elkaar gehouden door een dun aluminium laagje zoals te zien in figuur 20.



Figuur 20. Glaswol

Doordat het materiaal een erg open structuur heeft is het materiaal heel erg licht. Het soortelijke gewicht van glaswol ligt maar op 25 kg/m³. Hierdoor is de isolatie waarde ook heel erg laag, namelijk maar 0,032 - 0,040 W/(m*K). Het is dus een heel goede isolator (32).



Figuur 21. Steenwol

Steenwol is een materiaal dat qua structuur en uitstraling heel erg op glaswol lijkt. Steenwol wordt alleen gemaakt van vulkanisch gesteente in plaats van glas. Ook steenwol heeft een heel open structuur, alleen iets minder open dan glaswol. Steenwol kan namelijk ook als solide plaat worden gebruikt zoals te zien in figuur 21. Het soortelijke gewicht van steenwol is dan ook iets hoger, namelijk 48kg/m³.

Ondanks het verschil in soortelijk gewicht van glaswol en steenwol zal de L-waarde van de materialen ongeveer hetzelfde zijn.

Deze twee isolatie materialen zijn anorganische isolatie materialen, maar er zijn ook organische isolatie materialen. Omdat de verpakking in veelvoud moet worden gemaakt is er in eerste instantie alleen gekeken naar het isolatiemateriaal dat industrieel gemaakt kan worden.

Een eerste veel gebruikt organische isolatie materiaal is vlaswol. Dit is gemaakt van vlasvezels die gebonden worden en aan het eind een behandeling ondergaan zodat het materiaal schimmelbestendig en brandvertragend is. Net als bij steenwol wordt ook vlaswol gemaakt in deken- en plaatvorm. Het soortelijke gewicht van het materiaal is 20 tot 30 kg/m³ en de L-waarde is 0,038-0,040 W/ (m*K). Dit materiaal is wel een stuk duurder dan de vorige twee materialen. De richtprijs is 14,02 €/m².

Een ander organisch isolatie materiaal is gerecycled katoen zoals te zien in figuur 22 (33). Het isolatie materiaal is dus gemaakt van katoen, dit katoen is van kleding dat niet meer gedragen wordt.



Figuur 22. Gerecycled katoen

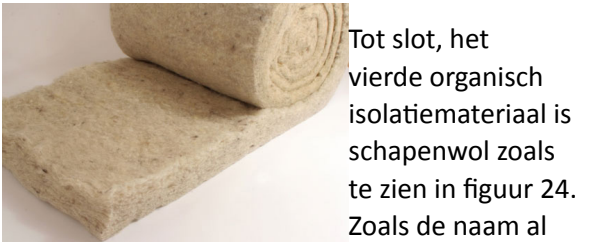
De isolatiedeken wordt gemaakt door het katoen samen met polyester te verhitten. Hierdoor ontstaan er verbindingen en wordt de deken

gemaakt. Een nadeel is dat dit isolatiemateriaal niet goed bestendig is tegen vocht, dus als deze in een vochtige omgeving gebruikt wordt zal er een bescherm laagje over het materiaal gemaakt worden. De L-waarde van dit isolatiemateriaal is 0,038 W/ (m*K). Verder is de prijs van dit materiaal ongeveer 11,50 €/m².

Het volgende organische isolatiemateriaal is hennep zoals te zien in figuur 23. Dit isolatiemateriaal wordt gemaakt van de vezels en harde stukken schil van de hennepplant (33). Wat bij het katoenen isolatie materiaal gold over het vocht is ook het geval voor dit isolatiemateriaal. De isolatiewaarde van dit materiaal is 0,040 W/ (m*K) en de prijs van het materiaal is ongeveer 17,50 €/m².



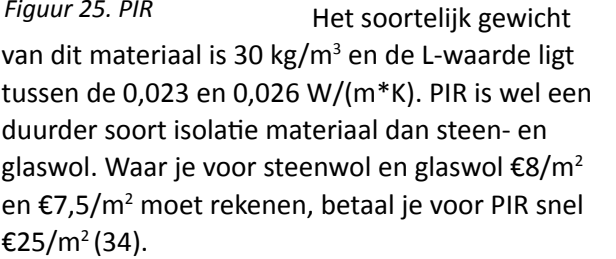
Figuur 23. Hennep



Figuur 24. Schapenwol

Tot slot, het vierde organisch isolatiemateriaal is schapenwol zoals te zien in figuur 24. Zoals de naam al doet vermoeden is het materiaal gemaakt van wol van het schaap waardoor het isolatiemateriaal helemaal ecologisch is (33). Het materiaal kan ook goed water absorberen en heeft een lage isolatiewaarde van 0,035 W/(m*K). Wel is dit materiaal duurder dan de andere organische isolatiematerialen. Schapenwol kost gemiddeld namelijk 0,70 tot 1,20 €/kg.

Dan zijn er ook nog kunststof isolatiematerialen die veel gebruikt worden. Zo is er bijvoorbeeld polyisocyanuraat, ook wel PIR zoals te zien in figuur 25. Van dit materiaal worden platen gemaakt die gebruikt worden om te isoleren.



Figuur 25. PIR

Het soortelijk gewicht van dit materiaal is 30 kg/m³ en de L-waarde ligt tussen de 0,023 en 0,026 W/(m*K). PIR is wel een duurder soort isolatie materiaal dan steen- en glaswol. Waar je voor steenwol en glaswol €8/m² en €7,5/m² moet rekenen, betaal je voor PIR snel €25/m² (34).

Een ander kunststof isolatiemateriaal dat veel wordt gebruikt is Resolhardschuim/ PF (35). Dit materiaal is gemaakt van resolhars en wordt doormiddel van warmte tot een plaat samengedrukt zoals te zien in figuur 18. Hierdoor is de celstructuur voor 100% gesloten en is de structuur veel fijner dan van het vorige materiaal. PF heeft een soortelijk gewicht van 40 kg/m³ en een L-waarde rond de 0,021 à 0,022 W(m*K).

3.1.4 Conclusie literatuur onderzoek

Uit het eerste materiaal onderzoek en uit het onderzoek naar de overige isolatie materialen zijn nu een aantal verschillende materialen overgebleven. Van de materialen uit de eerste materialen onderzoek is bekend dat deze aan de eisen voldoen omdat deze hier ook naar zijn getest.

Van de overige isolatie materialen zijn er een aantal materialen die niet aan alle eisen voldoen. Deze laatste groep materialen zijn allemaal isolatiematerialen dus de thermische conductiviteit zal goed zijn. Verder zullen de overige 5 punten per materiaal verschillen. Een eigenschap waarin deze materialen erg verschillen is de prijs. De meeste materialen hebben een prijs die aan de eis voldoet, alleen de materialen PIR en Resolhardschuim zijn te duur om aan de kosten eis te voldoen. Hierdoor zal er niet meer verder gewerkt worden met PIR en Resolhardschuim.

De materialen waarmee verder gewerkt gaat worden zijn in tabel 4 gezet.

Flexible Polymer Foam (MD)	Natural Rubber (NR)
Flexible Polymer Foam (LD)	Butyl Rubber (IIR)
Flexible Polymer Foam (VLD)	Polyisoprene Rubber (IIR)
Cork	
Bamboo	Steenwol
Softwood: pine, across grain	Glaswol
Softwood: pine, along grain	Vlaswol
Hardwood: oak, across grain	Katoen
Hardwood: oak, along grain	Hennep
Plywood	Schapenwol
Paper and cardboard	
Polystyreen	Acrylonitriël butadien styreen
Polypropyleen	Polyester
Cellulose polymeren	Ethyleen vinyl acetaat (EVA)
Ionomeer	Polyethyleen

Tabel 4. Overgebleven materialen

3.2 Maximale warmte overdracht

Nu bekend is met welke materialen er verder
gegaan wordt kan de maximale warmte overdracht
in in de verpakking uitgerekend worden.

Maximale warmteoverdracht

Er geldt: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
Hierin geldt: $m = \rho \cdot V$
 $m = 1,293 \cdot ((0.35/2) \cdot 0,3 \cdot 0,3)$
 $m = 0,0204 \text{ kg}$
 $c =$ soortelijke warmte van
de producten in de verpakking. Er wordt
met een c van 2000 J/kgK gerekend. De
meeste waarden van c liggen hoger, maar
door een waarde van 2000 te kiezen
wordt het zekere voor het onzekere
genomen. In bijlage F is te vinden waar
deze keuze op is gebaseerd (36).
 $\Delta T = 7 - 4 = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Dus: $Q = 0,0204 \cdot 2000 \cdot 3 = 122,4 \text{ J}$

Dit is dus de maximale energie die in de verpakking
mag komen. Nu dit bekend is kan berekend worden
hoe dik de verschillende materialen moeten zijn om
goed genoeg te isoleren.

Er geldt (37): $Q = (A \cdot t \cdot \Delta T) / R$
Hierin geldt: $A =$ hangt af van de verpakking
 $t = 6300 \text{ sec} = 1,75 \text{ uur}$
 $\Delta T = 40 - 4 = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Dus: $122,4 = (A \cdot 1,75 \cdot 36) / R$
 $R = x \text{ m}^2\text{K/W}$

Omdat de Q niet hoger mag zijn dan $122,4$ zal de
waarde van R voor al de verschillende materialen
boven de x moeten liggen.

Voor de verschillende verpakkingen zijn de
bijbehorende waarden van R berekend. Deze zijn in
tabel 5 te zien.

BBQ	6-hoek	$R = 0,1259 \text{ m}^2\text{K/W}$
Borrel	Doos	$R = 0,1117 \text{ m}^2\text{K/W}$
	Cilinder	$R = 0,1068 \text{ m}^2\text{K/W}$
	6-hoek	$R = 0,1135 \text{ m}^2\text{K/W}$
Lunch	Doos	$R = 0,1009 \text{ m}^2\text{K/W}$
	6-hoek	$R = 0,0938 \text{ m}^2\text{K/W}$
Picknick	Doos	$R = 0,1009 \text{ m}^2\text{K/W}$
	Cilinder	$R = 0,1068 \text{ m}^2\text{K/W}$
	6-hoek	$R = 0,0938 \text{ m}^2\text{K/W}$

Tabel 5. R-waarden

Nu ook de R -waarde bekend is kan de dikte van elk
materiaal bepaald worden.
Er geldt: $R = d / \lambda$

De uitkomst van deze diktes zijn in een tabel gezet
die in bijlage G te zien is. Een “samengevatte” tabel
hiervan is weergegeven in tabel 6.

In deze tabel is te zien dat er bij elke combinatie
van materiaal en vorm 2 waarden staan. Dit zijn
de twee diktes die uitgerekend zijn op basis van de
minimale L -waarde en maximale L -waarde van het
materiaal. Doordat de daadwerkelijke L -waarde
ligt tussen de twee L -waardes (Tabel 5) zal de dikte
van het materiaal uiteindelijk ook tussen de twee
uitgerekende diktes liggen.

Uit de tabel in de bijlage blijkt dat de de minimale
dikte op ongeveer 2 mm en de maximale dikte op
ongeveer 6 cm ligt. Hoe groter de L -waarde wordt,
des te dikker moet het isolatie materiaal zijn om
de temperatuur te behouden. In de verpakking zal
geen materiaal kunnen komen dat 6 cm dik is. Dan
blijft er te weinig ruimte over in de verpakking, of
moet de verpakking nog een stuk groter worden.
Daarom wordt de maximale dikte van het materiaal
op $1,5 \text{ cm}$ vast gesteld. Er vallen dan een heleboel
materialen af die niet meer gebruikt kunnen
worden. De diktes die niet groter zijn dan $1,5 \text{ cm}$
zijn in tabel 6 groen gemaakt. De materialen met
twee groen gekleurde diktes zullen zeker weten
de temperatuur kunnen behouden met een wand
dunner dan $1,5 \text{ cm}$.

In de tabel in bijlage G zijn ook materialen met
twee rood gekleurde diktes te zien zijn. Deze
zullen de eis van 1.5 cm niet kunnen behalen.
De materialen met 1 groen gekleurde dikte en
 1 rood gekleurde dikte zullen alleen aan de eis
voldoen als het materiaal geen gebreken heeft en
zijn beste L -waarde heeft. Deze materialen zijn
dus twijfelgevallen en het ligt aan de L -waarde of
het materiaal wel of niet de temperatuur in de
verpakking kan behouden.

In de samengevatte tabel 6 zijn alleen de
materialen aangegeven die volgens de berekening
 $100 \text{ \%}$ zeker bij een dikte onder de $1,5 \text{ cm}$ de
inhoud koel kunnen houden.

	BBQ 6-Hoek	Borrel Doos	Borrel Cilinder	Borrel 6-Hoek	Lunch Doos	Lunch 6-Hoek	Picknick Doos	Picknick Cilinder	Picknick 6-Hoek
Kurk	0,0044 0,0060	0,0039 0,0054	0,0037 0,0051	0,0040 0,0054	0,0035 0,0048	0,0033 0,0045	0,0035 0,0048	0,0037 0,0051	0,0033 0,0045
VLD	0,0045 0,0060	0,0040 0,0054	0,0038 0,0051	0,0041 0,0054	0,0036 0,0048	0,0034 0,0045	0,0036 0,0048	0,0038 0,0051	0,0034 0,0045
LD	0,0050 0,0074	0,0045 0,0066	0,0043 0,0063	0,0045 0,0067	0,0040 0,0060	0,0038 0,0055	0,0040 0,0060	0,0043 0,0063	0,0038 0,0055
MD	0,0051 0,0098	0,0046 0,0087	0,0044 0,0083	0,0047 0,0089	0,0041 0,0079	0,0038 0,0073	0,0041 0,0079	0,0044 0,0083	0,0038 0,0073
Butyl rubber	0,0101 0,0126	0,0089 0,0112	0,0085 0,0107	0,0091 0,0113	0,0081 0,0101	0,0075 0,0094	0,0081 0,0101	0,0085 0,0107	0,0075 0,0094
Softwood: across grain	---	---	0,0085 0,0150	---	0,0081 0,0141	0,0075 0,0131	0,0081 0,0141	0,0085 0,0150	0,0075 0,0131
Polyisopreen rubber	---	---	0,0085 0,0150	---	0,0081 0,0141	0,0075 0,0131	0,0081 0,0141	0,0085 0,0150	0,0075 0,0131
Polystyreen	---	0,0135 0,0146	0,0129 0,0140	0,0137 0,0149	0,0122 0,0132	0,0113 0,0123	0,0122 0,0132	0,0129 0,0140	0,0113 0,0123
Natuurlijk rubber	---	---	0,0107 0,0150	---	0,0101 0,0141	0,0094 0,0131	0,0101 0,0141	0,0107 0,0150	0,0094 0,0131
Hennep	0,0050	0,0045	0,0043	0,0045	0,0040	0,0038	0,0040	0,0043	0,0038
Vlaswol	0,0048 0,0050	0,0042 0,0045	0,0041 0,0043	0,0043 0,0045	0,0038 0,0040	0,0036 0,0038	0,0038 0,0040	0,0041 0,0043	0,0036 0,0038
Katoen	0,0048	0,0042	0,0041	0,0043	0,0038	0,0036	0,0038	0,0041	0,0036
Schapenwol	0,0044	0,0039	0,0037	0,0040	0,0035	0,0033	0,0035	0,0037	0,0033
Glaswol	0,0040 0,0050	0,0036 0,0045	0,0034 0,0043	0,0036 0,0045	0,0032 0,0040	0,0030 0,0038	0,0032 0,0040	0,0034 0,0043	0,0030 0,0038
Steenwol	0,0040 0,0050	0,0036 0,0045	0,0034 0,0043	0,0036 0,0045	0,0032 0,0040	0,0030 0,0038	0,0032 0,0040	0,0034 0,0043	0,0030 0,0038

Tabel 6. Materiaal dikte

3.3 Kosten

Behalve de isolatiewaarde hebben ook de kosten een grote invloed op de keuze welk materialen er getest gaan worden. De prijs van de verpakking moet zo laag mogelijk gehouden worden. De buitenkant van de verpakking zal gemaakt gaan worden van karton omdat dit een sterk materiaal is en ook iets bijdraagt aan de isolatie.

In het materiaalonderzoek zijn de materialen al geselecteerd op hun prijs. Hier werden de materialen meegenomen die een prijs hadden onder de 4 €/kg. Dit is nog erg veel, en daarom zal de prijs aangescherpt worden. De kosten van de verpakking zal 10 tot 20 % van de totale pakket kosten mogen zijn. In deze 10 tot 20 % zal ook de kosten van het transport zitten. Uiteindelijk zullen de kosten van de verpakking dus tussen de 3 en 4 euro liggen.

Een kartonnen verpakking zal ongeveer €1,- kosten. Dit betekend dat er voor het isolatiemateriaal van de verpakking nog 2 tot 3 euro overblijft.

De prijs van het isolatiemateriaal in de verpakking zal dus maximaal tussen de 5,13€/m² en 7,69€/m² moeten liggen.

Nu deze prijzen bekend zijn kan er gekeken worden welke materialen er überhaupt nog in aanmerking komen om te gebruiken in de verpakking en dus te testen.

Omdat eerder de prijzen per kilo zijn genoemd en deze laatste twee prijzen per m² zijn, is van alle materialen nog een keer opgezocht hoeveel ze kosten per m². Dit is te zien in tabel 7. Het blijkt dat er maar een aantal materialen zijn die niet de maximale kosten overschrijden. (De groen gekleurde materialen). Zoals te zien is lopen de kosten van bepaalde materialen erg uiteen. Dit komt doordat de prijs van deze materialen heel erg sterk afhangt van de dikte van het materiaal. Als er alleen naar de kosten gekeken wordt zullen dus alleen de dunne platen van deze materialen gebruikt mogen worden. Uit de test zal later moeten blijken of deze dunne platen dan ook goed genoeg zullen isoleren.

Met de gegevens van het temperatuurverloop en de gegevens van de prijs kan nu een keuze gemaakt worden met welke materialen er getest gaat worden.

Kijkend naar de gegevens van de kosten zullen er wel een aantal materialen weggestreept kunnen worden. De materialen Polystyreen, Polypropeen, ABS, EVA, Multiplex en Glaswol blijven over. Als er vervolgens met deze materialen naar de gegevens van de materiaal dikte gekeken wordt kunnen er ook weer een aantal materialen weggestreept worden. De materialen die overblijven om te gaan testen zijn Polystyreen, Polypropeen, en Glaswol.

	Prijs (€ /m²)
Kurk (38)(39)(40)	10,95 - 16,-
Flexible Polymer Foam	---
Butyl rubber (41)	± 41,25
Papier (67)	1,20
Den (42)	> 130,-
Polyisopreen rubber	---
Polystyreen (43)(44)(45)	1,00 - 3,16
Natuurlijk rubber	---
Bamboe (46)	89 - 111
Polypropeen (47)(48)	4,95 - 220
Eik (49)	32,37 - 74,42
Cellulose polymeren	---
Acrylonitriël butadiëen styreen (50)	7,60 - 28,10
Ionomeer	---
Polyurethaan (51)(52)	> 27,-
Polyester (53)(54)	11,28 - 35,09
Ethyleen vinyl acetaat (55)(56)	1 - 5
Multiplex (57)	5,91 - 20,62
Polyethyleen (58)(59)	17,97 - 275,38
Hennep	17,50
Vlaswol	14,02
Gerecycled Katoen	11,50
Schapenwol (60)	35,70
Glaswol	7,50
Steenwol	8,-

Tabel 7. Materiaalprijs

Om goed te kunnen zeggen of de materialen daadwerkelijk de inhoud van de verpakking koel kunnen houden worden deze getest.

Er zal een verpakking gemaakt worden die van binnen bekleed wordt met het te testen materiaal. Vervolgens zullen er in de verpakking producten geplaatst worden die 4 graden zijn. Vervolgens wordt er gekeken wat er gebeurt met de temperatuur van de producten gedurende een bepaalde tijd.

4.1 Te testen materialen

Nu alle materialen achter elkaar gezet zijn kan gekeken worden welke materialen er eigenlijk gebruikt kunnen worden om te gaan testen.

Omdat niet alle materialen getest kunnen worden zal er een keuze gemaakt moeten worden welk van deze materialen daar voor in aanmerking komen. Om een keuze te maken zijn eerst al de waarden van de materialen vergeleken en is gekeken welk materiaal in een bepaalde categorie het best scoort en welke het minst. Dit is te zien in tabel 8.

Hieruit blijkt dat de beste isolatoren toch wel de organische materialen zijn. Daarom zal er in iedergeval 1 organisch materiaal getest gaan worden. Verder zijn de drie materialen die qua prijs, breuksterkte en elasticiteits modulus het best blijken te zijn moeilijk te verkrijgen. Daarom zullen er iets andere materialen getest worden die wel ongeveer dezelfde waarden hebben.

Materiaal	L-Waarde (W/m²°C)	Prijs (Euro/kg)	Breuksterkte (MPa/m²)	Elasticiteits modulus (GPa)
Kurk	0,035 - 0,048	2,01 - 10	0,05 - 0,1	0,013 - 0,05
VLD	0,036 - 0,048	1,47 - 1,63	0,005 - 0,02	2,58*10 ⁻⁴ - 0,001
LD	0,04 - 0,059	1,47 - 1,63	0,015 - 0,05	0,001 - 0,003
MD	0,041 - 0,078	2,33 - 2,49	0,03 - 0,09	0,004 - 0,012
Papier en karton	0,06 - 0,17	0,741 - 0,906	6 - 10	3 - 8,9
Butyl rubber	0,08 - 0,1	3,23 - 3,68	0,07 - 0,1	0,001 - 0,002
Softwood: across grain	0,08 - 0,14	0,502 - 1	0,4 - 0,5	0,6 - 0,9
Polyisopreen rubber	0,08 - 0,14	2,81 - 3,08	0,07 - 0,1	0,0014 - 0,004
Polystyreen	0,121 - 0,131	2,59 - 2,85	0,7 - 1,1	1,2 - 2,6
Natuurlijk rubber	0,1 - 0,14	3,1 - 3,41	0,15 - 0,25	0,0015 - 0,0025
Bamboe	0,1 - 0,18	1 - 1,5	5 - 7	15 - 20
Polypropeen	0,113 - 0,167	1,19 - 1,41	3 - 4,5	0,896 - 1,55
Harwood: across grain	0,16 - 0,2	0,494 - 0,547	0,8 - 1	4,5 - 5,8
Cellulose polymeren	0,13 - 0,3	3,08 - 3,39	1 - 2,5	1,6 - 2
Acrylonitriël butadiëen styreen	0,188 - 0,335	1,96 - 2,16	1,19 - 4,29	1,1 - 2,9
Ionomeer	0,239 - 0,276	2,4 - 3,14	1,14 - 3,43	0,2 - 0,424
Softwood: along grain	0,22 - 0,3	0,502 - 1	3,4 - 4,1	8,4 - 10,3
Polyurethaan	0,28 - 0,3	4,39 - 4,82	0,2 - 0,4	0,002 - 0,03
Polyester	0,287 - 0,299	1,72 - 1,89	1,09 - 1,69	2,07 - 4,41
Ethyleen vinyl acetaat	0,3 - 0,4	1,5 - 1,65	0,5 - 0,7	0,01 - 0,04
Plywood	0,3 - 0,5	0,412 - 0,457	1 - 1,8	6,9 - 13
Polyethyleen	0,403 - 0,435	1,32 - 1,45	1,44 - 1,72	0,621 - 0,896
Hardwood: along grain	0,41 - 0,5	0,494 - 0,457	9- 10	20,6 - 25,2
Hennep	0,040	17,50 Euro/m²		
Vlaswol	0,038 - 0,040	14,02 Euro/m²		
Gerecycled katoen	0,038	11,50 Euro/m²		
Schapenwol	0,035	0,70 - 1,20		
Glaswol	0,032 - 0,040	7,50 Euro/m²		
Steenwol	0,032 - 0,040	8 Euro/m²		

Tabel 8. Materiaaleigenschappen

4. Materialen Testen

4.2 Koelvarianten voor de inhoud van de verpakking

Er is bij de voorgaande berekeningen uitgegaan dat de maximale dikte van het isolatie materiaal 1,5 cm mag worden. Maar het is natuurlijk het mooist om de wand zo dun mogelijk te krijgen. Dit zal er dan namelijk voor zorgen dat er minder materiaal gebruikt hoeft te worden en dat de verpakking zelf lichter zal zijn. Om deze wand dunner te krijgen zou er naar andere oplossingen gekeken kunnen worden die ervoor zorgen dat de inhoud van de verpakking op een andere manier koel gehouden zal worden.

Een aantal voorbeelden met de bijbehorende voor- en nadelen zijn hier op een rijtje gezet:

- Er kan gezorgd worden dat het isolatie materiaal op een hele lage temperatuur wordt gebracht voordat de producten erin gaan. Hierdoor zal de eerste tijdsperiode dat de verpakking niet gekoeld wordt het isolatie materiaal zijn kou afgeven aan de producten binnenin.
- Voordeel: Het materiaal dat gebruikt wordt kan veel dunner gemaakt worden terwijl de binnentemperatuur minder snel opwarmt.
- Nadeel: Er zal een koude omgeving gecreëerd moeten worden om het isolatie materiaal op een zo laag mogelijke temperatuur te krijgen. Er zal dus een koelcel nodig zijn. Daarbij zal de buitenkant van de verpakking ook koud zijn dus zullen de niet gekoelde producten ook koud worden.

- Er kan een fles met sap of water gebruikt worden als koelement zodat deze zijn kou af kan geven aan de producten eromheen.
- Voordeel: Er is geen extra koelement nodig, er kan gewoon gekoeld worden met de producten die er al zijn, maar de opwarmtijd zal wel aanzienlijk verlengen.
- Nadeel: Als de fles bestaat uit sap, is het waarschijnlijk niet goed voor de kwaliteit om deze in te vriezen. Als de fles bestaat uit water, is het niet een heel nuttige toevoeging aan de inhoud van het pakket.

- Ook kan het isolatie materiaal waarvan gebruik gemaakt wordt gekoeld worden door het nat te maken. Hierdoor zal het materiaal al koeler zijn en nog meer kou kunnen afstaan aan de producten binnenin.
- Voordeel: Hetzelfde materiaal kan gebruikt worden, maar er kan door te koelen veel meer kou aan de inhoud af gegeven worden.
- Nadeel: Lekgevaar, het is mogelijk dat de verpakking of de inhoud daar niet tegen kan. Ook kan het isolatiemateriaal niet heel erg veel dunner gemaakt worden omdat anders het materiaal nauwelijks tot geen vocht zal opnemen.

Deze 3 opties zullen in de test ook onderzocht worden om te kijken of dit eventueel te gebruiken opties zijn en welke materialen er dan bij een bepaalde optie gebruikt zal worden.

4.3 Test

Variabelen

In de test zal het temperatuurverloop van de inhoud van de verpakking getest gaan worden. Dit temperatuurverloop zal worden beïnvloed door een aantal variabelen. Deze variabelen zijn de volgende:

- Flexibel of vast materiaal
- Verpakkingsvorm (Vierkant of 6-Hoek (*Er wordt niet met de cilindervorm getest omdat bij het testen welke producten in welke vorm verpakking passen de cilindervorm niet geschikt bleek.*))
- Dikte van het materiaal
- Hoeveelheid verschillende materialen in één verpakking

In de test zal er met deze variabelen gevarieerd worden zodat er gekeken kan worden welke combinatie van materiaal en vorm het beste te gebruiken is om de verpakking te isoleren.

Materialen

De materialen waarmee getest gaat worden zijn de volgende:

- Polystyreen schuim
- Papier snippers
- PE-isolatiefolie
- Hooi

Er gaat met deze materialen getest worden en niet met anderen materialen om de volgende redenen: Ten eerste wordt er van de drie materialen uit het materiaalonderzoek (Polystyreen, Polypropreen en Glaswol) alleen getest met Polystyreen. Dit omdat polystyreen een beter L-waarde heeft dan Polypropreen. Als Polystyreen er niet voor kan zorgen dat de temperatuur lang genoeg onder de

7 graden blijft zal Polypropreen dit ook niet redden. Als Polystyreen wel deze eis haalt is het materiaal goedkoper dan Polypropreen en is het een betere oplossing. Daarom wordt Polypropreen niet getest. Glaswol wordt vanwege een andere reden niet getest. Glaswol staat erom bekend dat het allergische reacties en irritatie aan de huis kan opwekken. Ondanks dat het materiaal achter een laag karton weggewerkt zal zitten zal het materiaal toch makkelijk in contact kunnen komen met de consument. Omdat dit niet wenselijk is zal ook dit materiaal niet getest worden vanwege de gevaren voor de consument.

Ten tweede wordt er met papier snippers getest. Er wordt met snippers getest omdat deze voor een betere isolatielaag zullen zorgen dan wanneer het papier samengeperst wordt. Door de snippers in een dubbele wand te plaatsen er een “luchtige” wand ontstaan. Dit zal ervoor zorgen dat de wand beter geïsoleerd wordt.

Ten derde wordt er met PE-isolatiefolie getest. Uit het materiaalonderzoek bleek dat Polyethyleen niet de beste isolator is maar tijdens het verzamelen van de materialen bleek dat dit isolatiefolie veel gebruikt wordt om te isoleren en dus ook een goede optie zou kunnen zijn voor de verpakking. Het materiaal zou een goede isolator kunnen zijn doordat er over het laagje polyethyleen een reflecterende laag zit. Hierdoor zal 90% van de warmte gereflecteerd worden. Voor de verpakking zou dit betekenen dat dit folie ervoor zorgt dat de kou binnen de verpakking blijft.

Tot slot wordt er dan nog getest met hooi. Dit materiaal is in het materiaalonderzoek niet echt

aan bod gekomen omdat er in eerste instantie alleen gekeken is naar de materialen die industrieel te maken zijn. Omdat dit bij hooi niet het geval is, is dit materiaal eerder niet verder onderzocht. Wel wordt dit materiaal vaak gebruikt om te isoleren. Daarom wordt er getest of dit materiaal eventueel geschikt zou zijn om te gebruiken in de verpakking.

Aanpak

Ten eerste zal er een meting gedaan worden wat als referentie materiaal gebruikt gaat worden. Om dit te creëren wordt er eerst een meting gedaan met een salade waarbij deze niet in een verpakking is geplaatst. Er wordt gekeken hoe het temperatuurverloop zal zijn van de salade als er geen isolatiemateriaal omheen zit. De salade wordt in een open ruimte geplaatst met een omgevingstemperatuur van 21°C. Vervolgens wordt de meting gedaan.

De thermometer die gebruikt is voor de meting is een voedselthermometer zoals in figuur 26 te zien is.



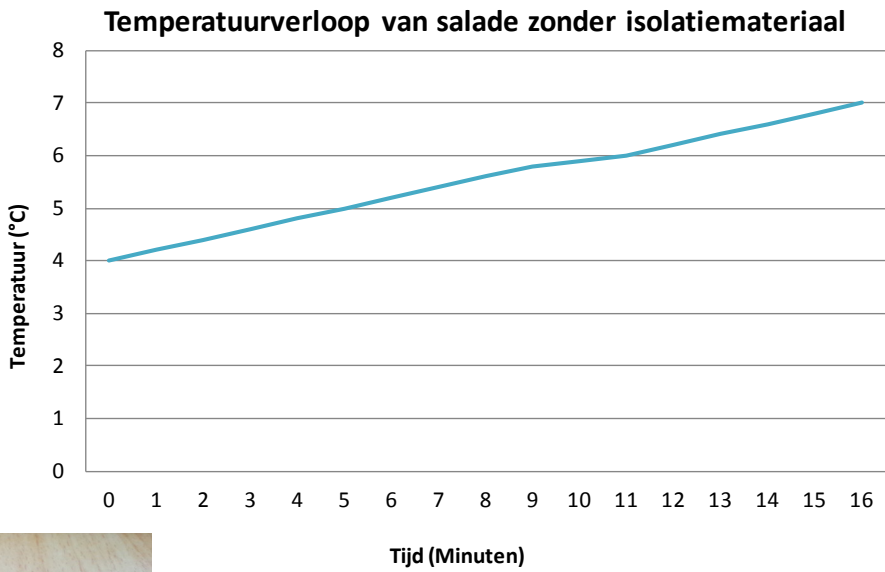
Figuur 26. Thermometer

Deze is geplaatst in een Johma salade zoals in figuur 27.



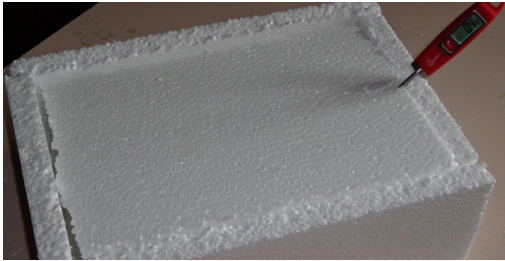
Figuur 27. Johma salade

Uit deze eerste test blijkt dat de salade snel opwarmt als deze geen laag isolatiemateriaal om zich heen heeft. De salade zal binnen 16 minuten in temperatuur gestegen zijn van 4 °C naar 7 °C. Dit is te zien in grafiek 6.



Grafiek 6. Temperatuurverloop zonder isolatie

Vervolgens is het eerste isolatiemateriaal, Polystyreen, getest. Er is een kartonnen verpakking gemaakt met aan de binnenkant van het karton een laag Polystyreen met een dikte van 1,5 cm zoals te zien in figuur 28.



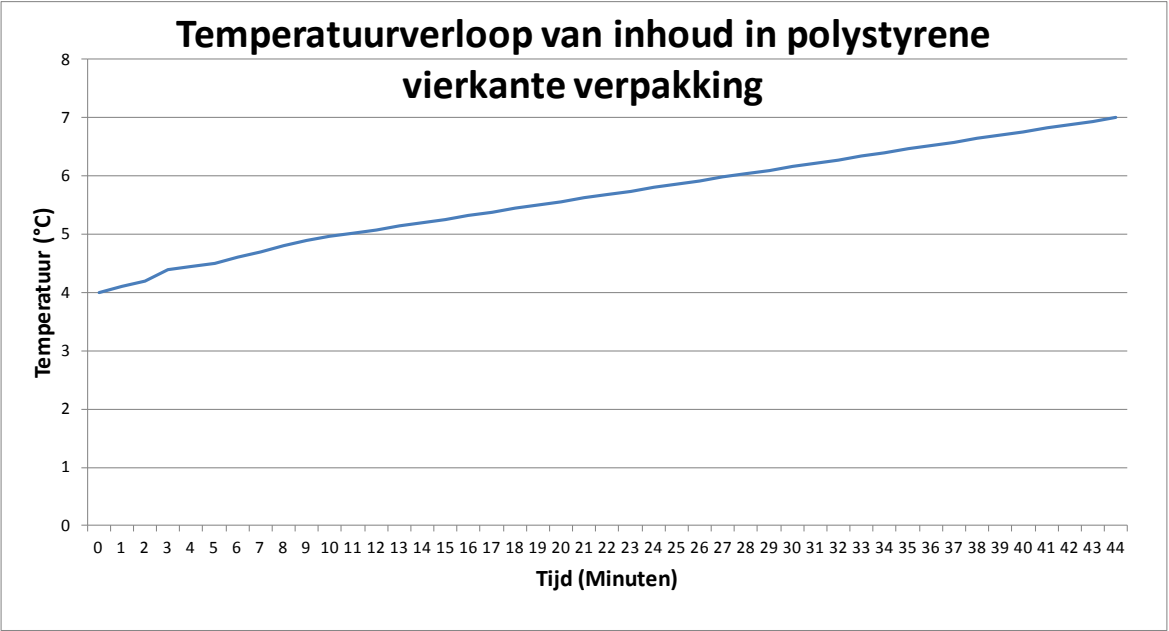
Figuur 28. Polystyrene verpakking

Vervolgens wordt weer het temperatuurverloop van de inhoud van de twee verpakkingsvormen gemeten. Hieruit blijkt dat de inhoud van de vierkante verpakking veel minder snel opwarmt dan de inhoud in de 6-hoekige verpakking. In de vierkante verpakking is de inhoud in 44 minuten opgewarmd, terwijl dit 35 minuten is in de 6-hoekige verpakking. Behalve door de vorm kan dit ook komen doordat de producten in de vierkante doos veel dichter op elkaar liggen dan in de 6-hoekige doos. In de 6-hoekige doos hebben de producten meer ruimte.

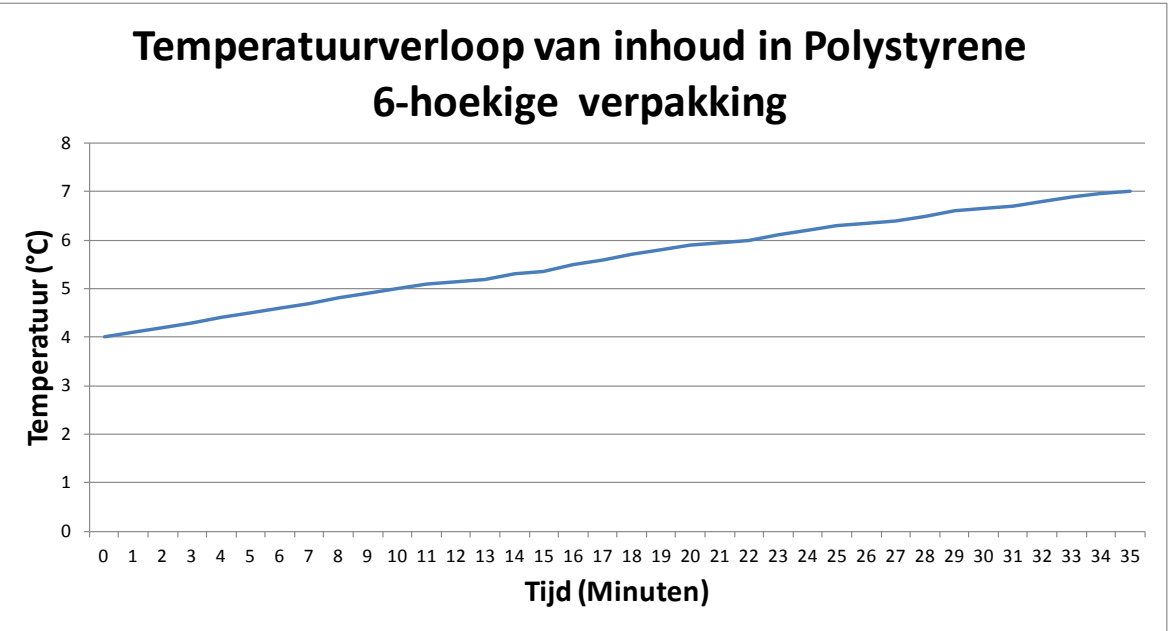
Hierdoor zullen de producten elkaar minder koud houden en zullen deze dus sneller afkoelen. Ook zal dit verschil kunnen komen doordat de omgevingstemperatuur bij de twee metingen iet helemaal exact hetzelfde waren. Bij de meting met de 6-hoek lag de omgevingstemperatuur 0,5 °C hoger. Verder zou het sneller opwarmen van de inhoud bij de 6-hoek ook kunnen komen doordat er in de 6-hoek een paar stukken zaten waar de dikte niet helemaal 1,5 cm was vanwege de aanhechting. Hierdoor zou hier meer kou verloren kunnen zijn.

Het temperatuurverloop van de inhoud van de twee verpakkingen is te zien in grafiek 7 en 8.

Grafiek 7.
Temperatuurverloop in polystyrene vierkante verpakking



Grafiek 8.
Temperatuurverloop in polystyrene 6-hoekige verpakking



Daarna wordt het tweede materiaal gebruikt, PE-isolatiefolie. Dit wordt aan de binnenkant van het karton van de vierkante verpakking bevestigd. Vervolgens wordt het temperatuurverloop weer gemeten. Het resultaat hiervan is dat de inhoud nu nog sneller opwarmt dan bij het Polystyreen. De salade is nu 3 graden opgewarmd in 23 minuten. Het temperatuurverloop is te zien in grafiek 9.

Zoals uit de voorgaande resultaten blijkt, zorgen de verschillende isolatiematerialen er nog niet heel erg voor dat de inhoud van de verpakkingen minimaal 105 minuten onder de 7 graden blijft. Wat wel het geval is bij deze resultaten is dat de verschillende verpakkingen zelf een temperatuur hadden van 21 °C. Ook werden de producten verpakt bij een omgevingstemperatuur van 21 °C.

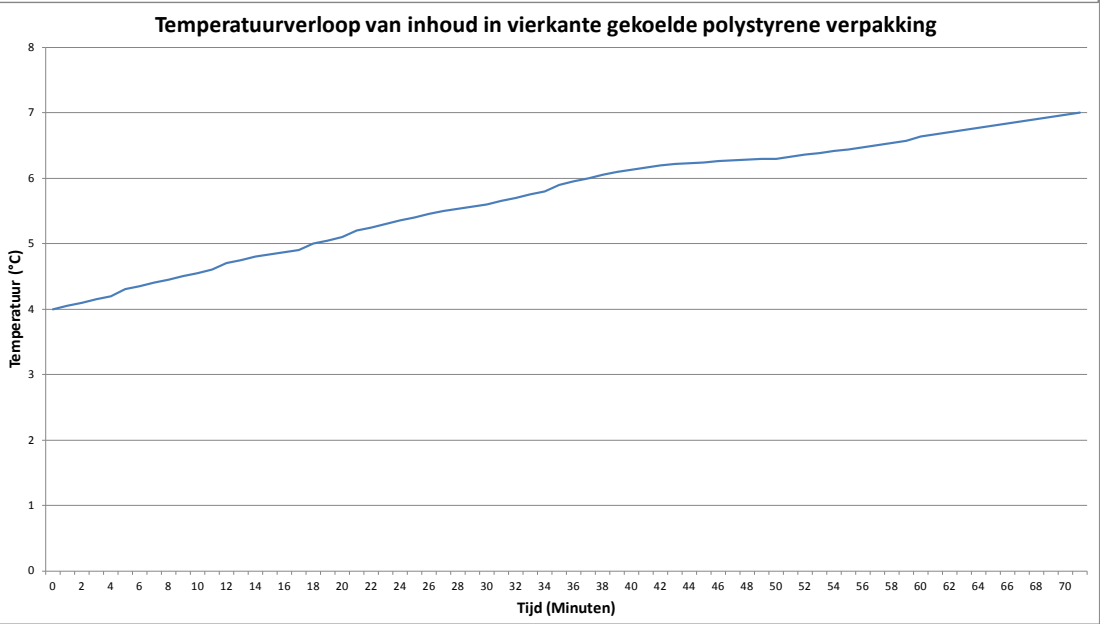
Hierdoor zullen de producten in de verpakking al veel warmte opnemen van de verpakking zelf en de omgeving. Om ervoor te zorgen dat de inhoud van de verpakking langer onder de 7 graden blijft wordt de verpakking zelf ook afgekoeld tot 4 °C en worden de producten gekoeld verpakt.

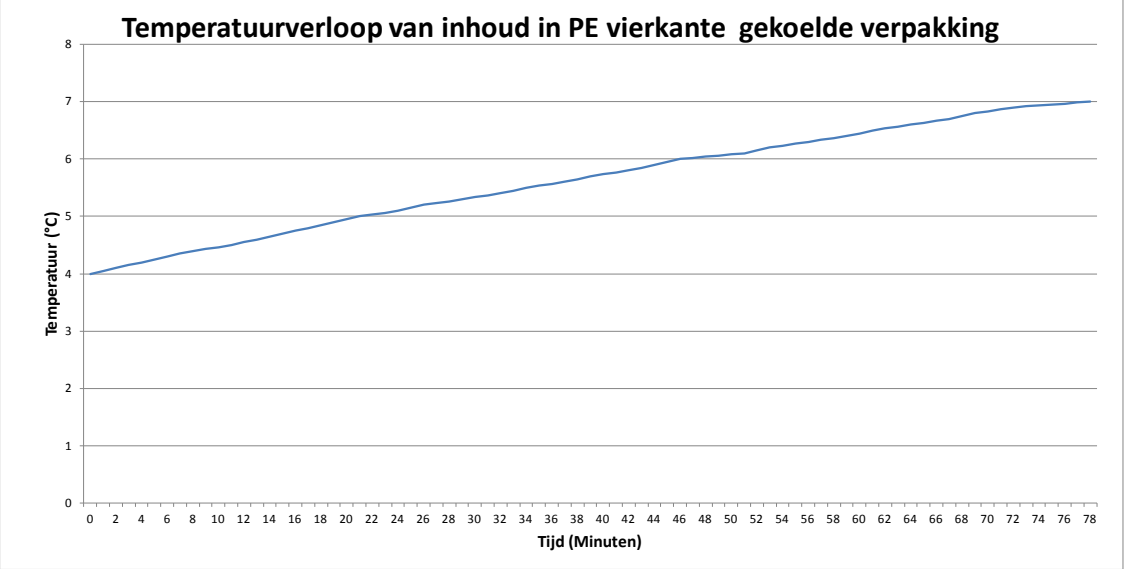
Nu de verpakkingen zelf gekoeld worden, zijn er opnieuw metingen gedaan. Eerst is er gekeken naar de vierkante verpakking met polystyreen als isolatiemateriaal. Het resultaat hiervan is dat de inhoud 71 minuten onder de 7 °C blijft. Dit is te zien in grafiek 10.

Grafiek 9.
Temperatuurverloop in PE vierkante verpakking

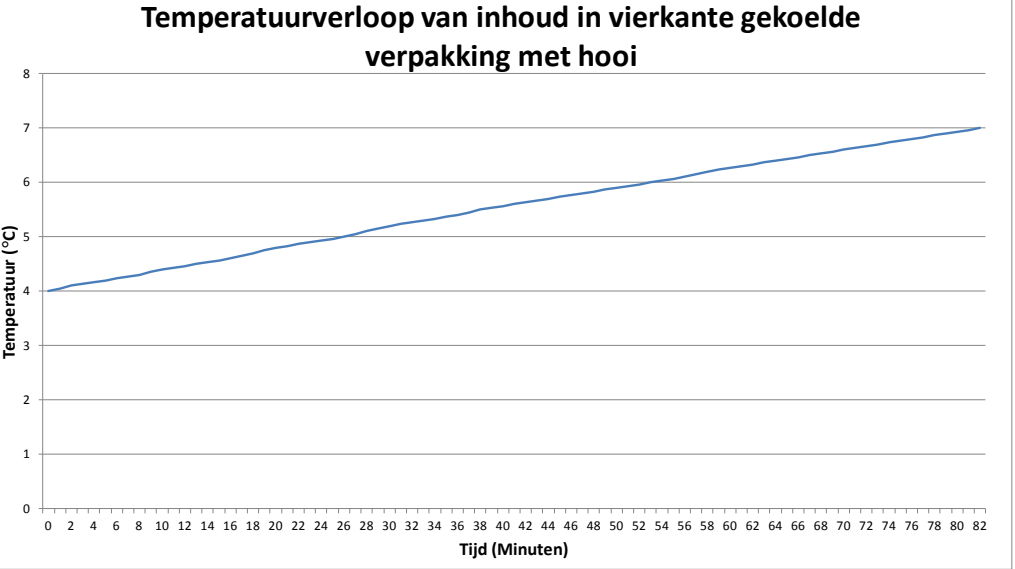


Grafiek 10.
Temperatuurverloop in polystyrene vierkante gekoelde verpakking





Grafiek 11. Temperatuurverloop in PE vierkante gekoelde verpakking



Grafiek 12. Temperatuurverloop in vierkante gekoelde verpakking met hooi

Vervolgens is er ook gekeken naar de vierkante verpakking met PE-isolatiefolie als isolatiemateriaal. Het resultaat hiervan is dat de inhoud 78 minuten onder de 7 °C blijft. Dit is te zien in grafiek 11.

Zoals uit deze twee grafieken blijkt is de tijd dat de inhoud van de verpakking onder de 7 °C blijft al een heel stuk toegenomen. Maar nog steeds zal dit nog niet genoeg zijn om de inhoud vanaf het inpakken tot aan de klant koel te houden. Er zal dus een andere oplossing bedacht moeten worden.

Vervolgens zal er met hooi getest worden. Zoals eerder gezegd is het een materiaal wat ook vaak gebruikt wordt om te isoleren. Omdat het een goedkoop materiaal is en een relatief hoge isolatie waarde heeft zou het een geschikt materiaal kunnen zijn voor de isolatie van de verpakking. De prijs voor een kg hangt af van de kwaliteit maar

de prijs van gewoon hooi is ongeveer 2,95 €/kg (61). Hierdoor zou het een uitstekend materiaal kunnen zijn voor deze verpakking.

Om te testen of hooi een goede optie is voor de verpakking is er een dubbelwandige verpakking gemaakt. Tussen deze wanden van karton zal het hooi komen. De ruimte tussen de wanden heeft een dikte van 1,5 cm. Dit is te zien in figuur 29.



Figuur 29. Verpakking met hooi

Het resultaat van de test is te zien in grafiek 12.

Zoals te zien is in de grafiek blijkt dat het hooi tot nu toe het langst de temperatuur van de inhoud van de verpakking onder de 7 °C kan houden. Deze tijd zal nu op ongeveer 1 uur en 20 minuten liggen bij een omgevingstemperatuur van 21 °C.

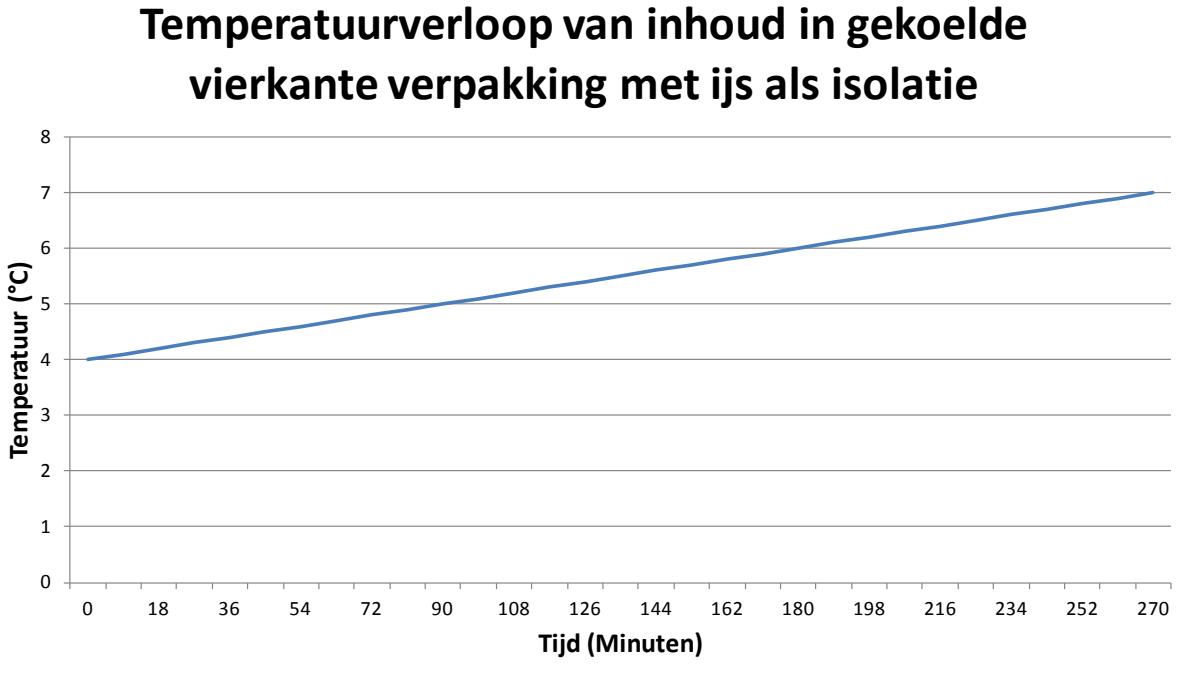
Omdat dit nog steeds niet lang genoeg is om de inhoud van de verpakking koel bij de klant af te leveren is er ook nog gekeken naar een andere manier van isoleren. Namelijk doormiddel van ijs.

Door de dubbele wand die eerder gevuld werd met hooi nu op te vullen met ijs wordt er een isolatie laag gecreëerd. Maar daarnaast zal er ook meteen een soort van “ice pack” gecreëerd worden die gedurende het transport langzaam zijn warmte aan de inhoud van de verpakking zal afgeven.

Hierdoor zal het waarschijnlijk langer duren voordat de inhoud van de verpakking is opgewarmd.

Ook dit is weer getest. De verpakking die gebruikt is bij de hooi isolatielaag is nu gevuld met ijsblokjes. De resultaten van deze test zijn te zien in grafiek 13.

verpakking van de buitenkant van een heel erg sterk karton gemaakt moeten worden om lekken tegen te gaan. Hierdoor zal de verpakking ook weer een stuk duurder worden. Met deze isolatie wordt de tijd dus wel gehaald, maar het is nog geen optimale oplossing.



Grafiek 13. Temperatuurverloop in vierkante gekoelde verpakking met ijs

Uit al de voorgaande verschillende testen is gebleken dat de tijd van 105 minuten dat de inhoud onder de 7 °C moet blijven maar moeilijk te realiseren is met maar 1 soort isolatie materiaal. Dit is ook in de tabel in bijlage H te zien. Alleen door te isoleren met ijs kan deze tijd gehaald worden. Wat wel een nadeel is bij het isoleren met ijs is dat het lekgevaar erg groot is en dat het gewicht van het ijs groot is. Doordat er in de wanden van de verpakking een heleboel smeltend ijs zit zal de

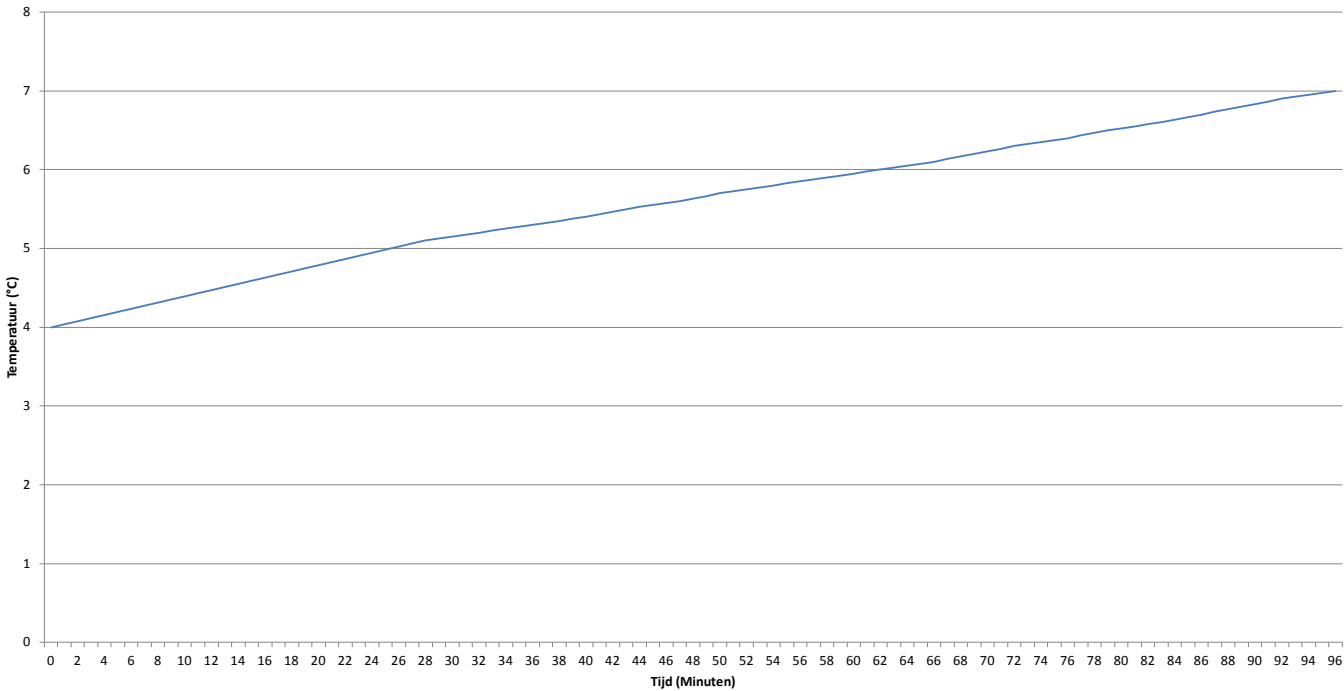
Waarschijnlijk zal de 105 minuten makkelijker te halen zijn als er meerdere isolatiematerialen gecombineerd zullen worden in de verpakking.

De verschillende combinaties die gemaakt zouden kunnen worden zijn op een rijtje gezet:

- Polystyreen en papier
Nadeel: De laag papier zal waarschijnlijk erg dik moeten worden wil deze laag een relevante bijdrage leveren aan de isolatie. Met een dunne laag papier zal er waarschijnlijk niet heel erg veel veranderen aan het temperatuurverloop.
- Polystyreen en PE-folie
Voordeel: Het PE-folie is maar heel dun. Door een laagje PE-folie over het Polystyreen te leggen wordt ongeveer een even grootte wand dikte gehouden. De wand zal niet veel dikker worden.
- PE-folie en papier
Voordeel: Waar het papier eerst tussen twee kartonnen wanden geplaatst werd, kan nu het PE-folie de binnenste kartonnen wand vervangen.
- Polystyreen en hooi
Nadeel: Het hooi heeft genoeg dikte nodig om daadwerkelijk een isolerend effect te hebben. Omdat ook Polystyreen een dikke laag is, zal de totale wanddikte heel erg toenemen.
- PE-folie en hooi
Voordeel: Dit zal hetzelfde zijn als bij de combinatie van het PE-folie en het papier.

De combinatie die getest zal worden zal de combinatie van PE-folie en hooi zijn. Het resultaat hiervan is te zien in grafiek 14.

Temperatuurverloop van inhoud in gekoelde vierkante verpakking met hooi en PE-folie



Zoals uit de grafiek blijkt zal de inhoud van de verpakking ongeveer 1 uur en 36 minuten koud genoeg blijven als deze geïsoleerd wordt met hooi en PE-folie. Dit is natuurlijk nog steeds geen 105 minuten, maar het ligt er wel heel erg dicht in de buurt.

In de kofferbak van een auto kan de temperatuur behoorlijk oplopen. Als de verpakking tijdens het transport in de kofferbak geplaatst is zal deze zich omgeven door een veel hogere omgevingstemperatuur. Hierdoor zal de verpakking waarschijnlijk nog veel sneller opwarmen.

Grafiek 14. Temperatuurverloop in vierkante gekoelde verpakking met PE-folie en hooi

Om dit tegen te gaan zal er bij deze verpakking een eis gesteld moeten worden.

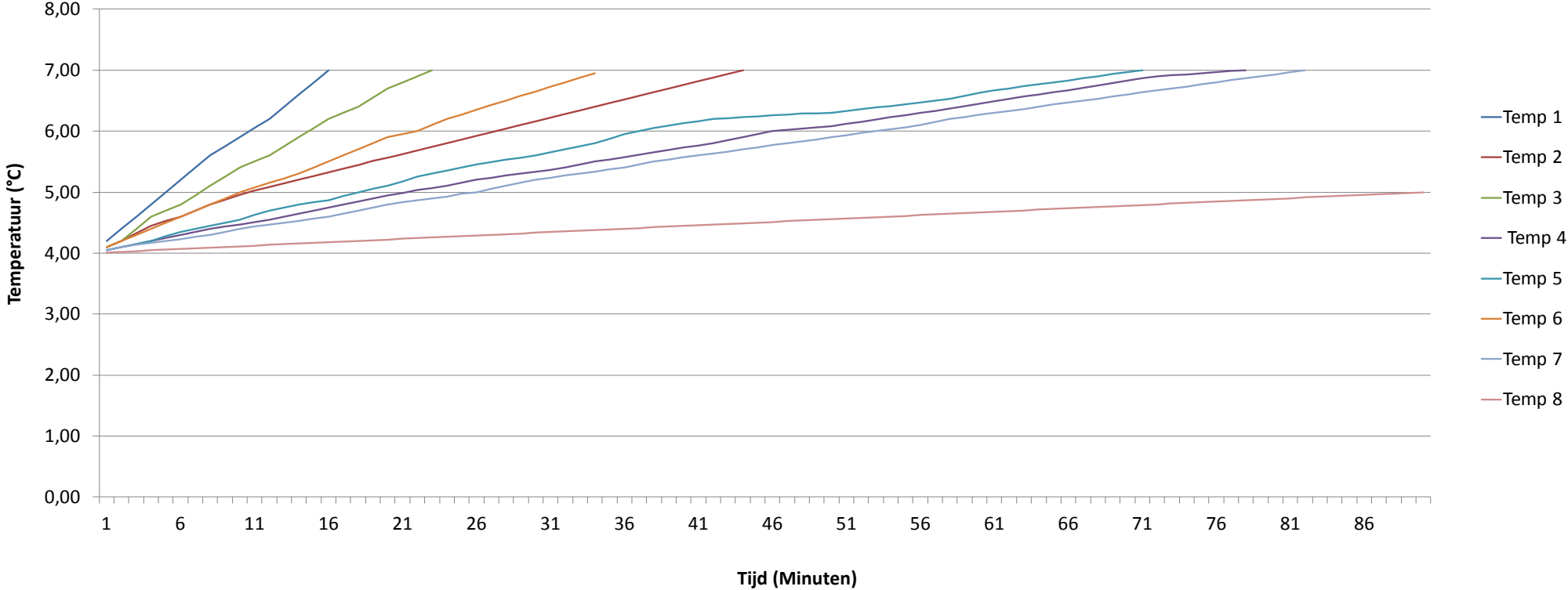
Namelijk dat de verpakking tijdens het vervoer binnen in de auto geplaatst moet worden waar de airco waarschijnlijk aan staat en de omgevingstemperatuur niet veel afwijkt van 21 °C. Hierdoor zal worden tegengegaan dat de inhoud van de verpakking nog sneller opwarmt.

In de test zijn nu veel verschillende opties getest. In grafiek 15 zijn al deze opties naast elkaar gezet om te zien welk materiaal het meest geschikt is voor de verpakking. Er zijn twee mogelijke verpakkingen overgebleven die in aanmerking komen om gebruikt te gaan worden. Dit zijn de verpakking met het ijs als isolatiemateriaal en de verpakking met het hooi en PE-folie als isolatiemateriaal.

Ook zijn in de test de drie opties uit paragraaf 3.2.2 indirect getest. De eerste optie om de verpakking te koelen is gedaan door de verpakking met materialen in de koelkast te zetten en te laten afkoelen. Dit heeft ook bijgedragen aan de tijd dat de temperatuur onder de 7 graden blijft. De tweede optie om een fles sap of water te gebruiken als “koelelement” is indirect ook getest. Alleen dan niet met een fles sap of water, maar door water in de wand te stoppen. De derde optie is niet getest omdat de buitenverpakking gemaakt is van karton. Dit is niet bestand tegen water en daarom zal de verpakking niet nat gemaakt kunnen worden.

In het volgende hoofdstuk, Materiaalkeuze, zal er verder gekeken worden naar de voor en naderen van deze verschillende verpakkingen.

Temperatuurverloop van de verschillende verpakkingen



- Temperatuur 1 = Temperatuurverloop van salade zonder isolatie.
- Temperatuur 2 = Temperatuurverloop van de inhoud in een vierkante verpakking met Polystyreen als isolatie.
- Temperatuur 3 = Temperatuurverloop van de inhoud in een 6-hoekige verpakking met Polystyreen als isolatie.
- Temperatuur 4 = Temperatuurverloop van de inhoud in een vierkante verpakking met PE-folie als isolatie.
- Temperatuur 5 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met Polystyreen als isolatie.
- Temperatuur 6 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met PE-folie als isolatie.
- Temperatuur 7 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met hooi als isolatiemateriaal.
- Temperatuur 8 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met ijs als isolatiemateriaal.

Grafiek 17. Temperatuurverloop van de verschillende verpakkingen

5. Materiaalkeuze

5.1 Voor en nadelen

Er zal nu gekozen moeten worden welk materiaal uiteindelijk geschikt zal zijn voor deze nieuwe verpakking.

Zoals hiervoor gezegd is, zijn er uit de test twee materialen overgebleven die in aanmerking komen om in de verpakking te gaan gebruiken. De overige materialen zijn vanwege verschillende redenen die eerder genoemd zijn afgeschreven. Er zal dus gekozen moeten worden of de verpakking zal bestaan uit een combinatie van karton, hooi en PE-folie of uit een combinatie van karton en water (ijs).

Er is gekeken naar de verschillende voor- en nadelen van de twee combinaties zodat er op basis van deze voor- en nadelen een goede keuze gemaakt kan worden. De voor- en nadelen zijn gebaseerd op de eisen uit het programma van eisen. Uit het PvE zijn negen aspecten gehaald die het belangrijkst zijn om de keuze te kunnen maken:

1. Hoe lang de inhoud koel zal blijven.
2. Of er een marge is, zodat de inhoud 100% zeker koel blijft als deze zich langer buiten de hub bevind.
3. Wat de prijzen zijn van de verschillende materialen.
4. Hoe makkelijk de verpakking te maken is.
5. Hoe makkelijk de verpakking in elkaar te zetten is.

6. Welk gewicht de verschillende materialen kunnen dragen.
7. Wat het gewicht zal zijn van de verschillende materialen.
8. Hoe goed de materialen de inhoud zullen beschermen.
9. Hoe goed de verschillende materialen te recycleren zijn.

Een aantal van deze aspecten zijn voor de verschillende combinaties vergeleken.

Aspect 5, Hoe makkelijk wordt de verpakking in elkaar gezet?

Bij de eerste combinatie zijn er 9 handelingen nodig om de verpakking in elkaar te zetten. Ten eerste zal de buitenste verpakking uitgevouwen moeten worden. Als dit gedaan is zal het tussenschot in de verpakking geplaatst moeten worden. Als deze erin geplaatst is zal het hooi in de verpakking geplaatst kunnen worden. Al deze hooi wanden zijn losse onderdelen dus dit zal 6 handelingen kosten. Als deze hooi wanden in de verpakking zijn geplaatst zal er tot slot nog het PE-folie in geplaatst moeten worden.

Bij de tweede combinatie zijn er 5 handelingen nodig. Bij deze verpakking zullen eerst de ijs zakjes gevuld moeten worden met water en vervolgens bevroren moeten worden. Vervolgens zal ook hier weer de buitenverpakking uitgevouwen moeten worden. Als dit gedaan is moet ook hier het tussenschot in geplaatst worden. Daarna zal de bevroren ijs zak tot ijs bak gevouwen moeten worden en in de verpakking geplaatst

moeten worden. Tot slot zal de binnenverpakking uitgevouwen moeten worden en in de verpakking geplaatst moeten worden.

Aspect 8, hoe goed zal het materiaal de inhoud beschermen?

Bij de eerste combinatie is de isolatielaag van hooi 1,5 cm dik. In deze 1,5 cm zitten twee lagen karton, een laagje PE-folie en een laag hooi. Doordat er hooi gebruikt wordt in de wand zal er een soort van demper gecreëerd worden. Hierdoor zal de inhoud goed beschermt worden tegen stoten. Wel zal het karton van de buitenverpakking erg stevig moeten zijn zodat er verkomen kan worden dat er gaten in de verpakking komen.

Bij de tweede combinatie is de wand ook 1,5 cm dik. In deze 1,5 cm zitten de twee lagen karton en een laag ijs. De ijs laag is natuurlijk erg hard. Hierdoor zal de inhoud van de verpakking heel erg goed beschermt worden. Dit zal alleen zijn zolang het ijs nog niet gesmolten is, zodra het ijs zal gaan smelten zal deze harde wand vloeibaar worden en zal de beschermlaag ook weg zijn. Dan zal het karton de bescherming op zich moeten nemen. Daarbij zal het karton er dan ook voor moeten zorgen dat de verpakking niet zal gaan lekken.

Aspect 4, hoe makkelijk is de verpakking te maken?

Het enige verschil tussen de twee verpakkingen is de isolatielaag. Het hooi zal samengeperst worden en in een “netje/frame” geplaatst moeten worden zodat er een solide wand ontstaat. Er zal wel goed opgelet moeten worden dat er precies genoeg hooi in het “netje/frame” gedaan wordt anders zal deze of niet goed genoeg isoleren of bol gaan staan.

De ijsisolatie zal gemaakt worden doordat de polyethyleen zakjes gevuld zullen worden met water. Ook hier zal gelden dat er precies genoeg water in de zakjes gedaan moeten worden. Het vullen van de polyethyleen zakjes zal wel sneller gaan dan het maken van de hooi wand maar het zal wel een lange tijd duren voordat het water bevroren is.

Aspect 7, wat is het gewicht van de materialen?

Bij combinatie 1 zal het totale gewicht van de verpakking relatief laag zijn. Het karton zal niet veel wegen en daarbij zal ook het hooi niet veel extra gewicht toevoegen. Bij combinatie 2 zal daarentegen wel meer gewicht zitten in het isolatiemateriaal. Het volume van de isolatiewand zal het volgende zijn:

$$\begin{array}{r} 2 \times (0,15 \times 0,8 \times 3,1) = 0,744 \\ 2 \times (0,15 \times 0,8 \times 1,7) = 0,408 \\ 2 \times (0,15 \times 3,4 \times 2,0) = 2,04 \\ \hline 3,19 \text{ dm}^3 \end{array}$$

Dit betekent dat het gewicht van het isolatiemateriaal rond de 3,2 kg zal liggen. Dit valt nog binnen de gestelde marge van 3,5 kg.

Aspect 9, hoe goed kunnen de materialen gerecycled worden?

Bij de eerste combinatie zullen het karton en het hooi het te gebruiken zijn omdat het allebei natuurlijk materialen zijn. Het PE-folie zal daarentegen niet her te gebruiken zijn voor de consument.

Bij de tweede combinatie is ook weer het karton her te gebruiken. Daarnaast zal de consument de ijs “bak” ook her kunnen gebruiken door het voor een nieuwe doeleinde te gebruiken. De consument zal de ijs “bak” na bezorging in de vriezer kunnen plaatsen zodat deze het ijs kan gebruiken als ijsklontjes.

Voor- en nadelen

Na het bekijken van de verschillende aspecten bij de verschillende combinaties kunnen de voor- en nadelen voor de verschillende materiaalcombinaties bekeken worden.

Combinatie 1: karton, hooi en PE-folie.

Voordelen:

- De verpakking zal een laag gewicht hebben.
- Het materiaal zal de inhoud goed beschermen tegen stootgevaar.
- Twee van de drie materialen zijn her te gebruiken.

Nadelen:

- De opwarmtijd van de inhoud is heel erg kort.
- Er zijn veel handelingen nodig om deze verpakking in elkaar te zetten.
- De hooi wanden zullen lastig te produceren zijn. Daarbij zal het ook moeilijk zijn om precies de juiste hoeveelheid hooi in een “netje/frame” te stoppen.
- De kosten zullen hoger zijn dan de verpakking met de andere materiaalcombinatie.

Combinatie 2: karton en ijs.

Voordelen:

- De opwarmtijd van de inhoud is heel erg lang.
- Er zijn maar weinig handelingen nodig om de verpakking in elkaar te zetten.
- Het is makkelijk om de isolatiewanden te maken.
- De inhoud van de verpakking zal goed beschermt zijn.
- De consument zal de verpakking 100% kunnen her gebruiken voor andere doeleinden.
- De kosten zullen minimaal zijn.

Nadelen:

- De verpakking zal zwaarder zijn dan de andere verpakking, maar nog wel binnen de gestelde marge blijven.
- Het duurt lang om het water te laten bevriezen.
- Er is eventueel lek gevaar.
- De niet gekoelde producten koelen ook af.

5.2 Uiteindelijk keuze

Nu alle voor en nadelen op een rijtje gezet zijn kan er een uiteindelijke keuze gemaakt worden.

Deze keuze is uiteindelijk gevallen op de materiaal combinatie van karton en ijs.
Deze keuze is zo gemaakt omdat een aantal voor- of nadelen zwaarder meewogen dan anderen. Dit zal hier toegelicht worden.

Het voordeel bij combinatie 2 dat de opwarmtijd heel erg lang is heeft bijvoorbeeld een zware weging. Dit is een van de belangrijkste eisen geweest in het maken van deze nieuwe verpakking en door een te korte opwarmtijd zou de hele verpakking niet kunnen functioneren. Dit betekent dus ook dat het nadeel van de opwarmtijd bij combinatie 1 zeer zwaar meetelt.

Een ander nadeel van combinatie 1 dat zwaar meetelt is dat de verpakking meer handelingen nodig heeft om in elkaar te zetten dan de andere combinatie. Er is in een eis gesteld dat de verpakking in een zo kort mogelijke tijd en op een zo makkelijk mogelijke manier in elkaar gezet moet kunnen worden. Omdat het zo belangrijk is dat de verpakking zo efficiënt mogelijk in elkaar gezet wordt, weegt dit nadeel zo zwaar mee.

Ook telt het voordeel bij combinatie 2 dat de kosten minimaal zullen zijn zwaar mee. Uiteindelijk wil Johma een verpakking gaan produceren die voor een zo goedkoop mogelijke prijs gemaakt zal kunnen worden.

De overige voor- en nadelen zijn allemaal ook meegenomen in het maken van de keuze, maar de uiteindelijk keuze voor het materiaal is vooral gebaseerd op de punten die hierboven zijn genoemd. Omdat de opwarmtijd en de maakbaarheid de belangrijkste aspecten zijn bij deze verpakking is vooral hier naar gekeken.

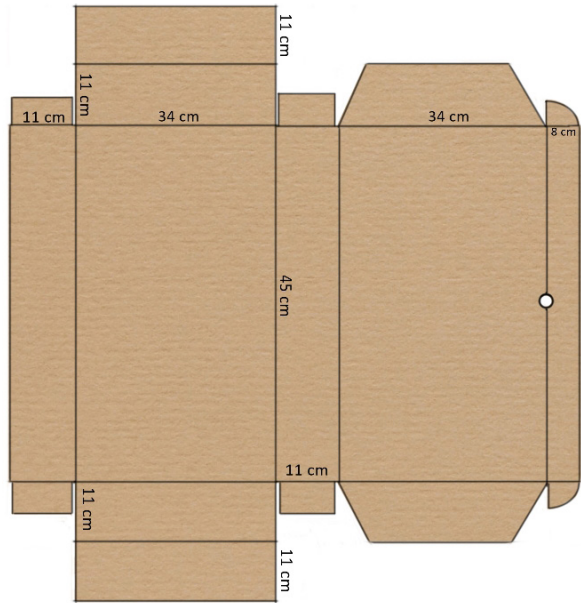
De uiteindelijk verpakking zal dus een stevige kartonnen verpakking worden met daarin een koelvak geïsoleerd met ijs. De details van het ontwerp zullen in het volgende hoofdstuk besproken worden.

6. Ontwerpvoorstel

Verpakking van karton met ijs als isolatiemateriaal.

De verpakking met het ijs zal uit vier verschillende onderdelen bestaan. Ten eerste de kartonnen buitenverpakking. Ten tweede de laag isolatie, namelijk het ijs, ten derde de kartonnen binnen verpakking en tot slot het kartonnen tussenschot.

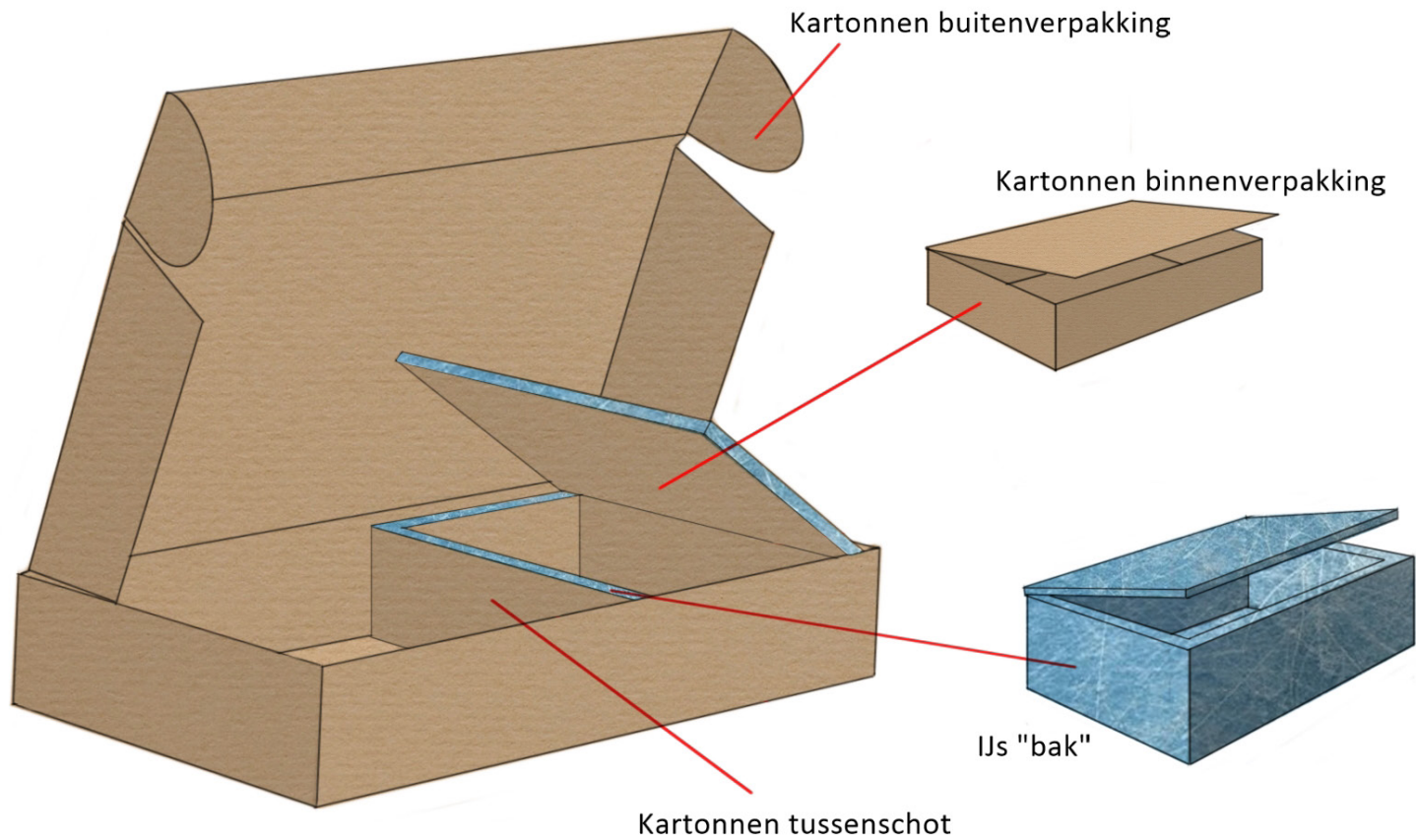
De buitenverpakking is dus gemaakt van karton waarvan de uitslag te zien is in figuur 30.



Figuur 30. Uitslag van de verpakking

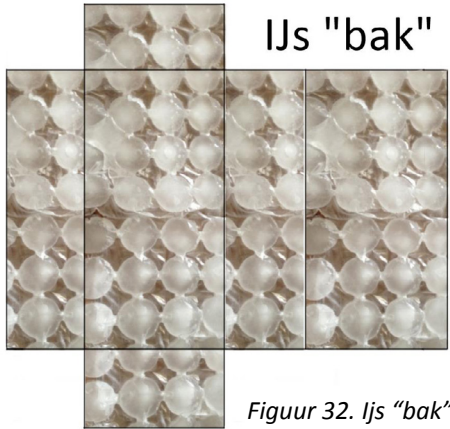
In deze verpakking zit een dikke laag isolatie. De ijslaag zal een dikte hebben van 1,5 cm. Het ijs moet natuurlijk bij elkaar gehouden worden. Dit wordt gedaan door zakjes van heel dun polyethyleen (62). Als het ijs in de verpakking zijn geplaatst zal er aan de binnenkant nog een laag karton komen.

In de figuur 31 is te zien hoe het eruit komt te zien als al deze onderdelen in elkaar zitten.



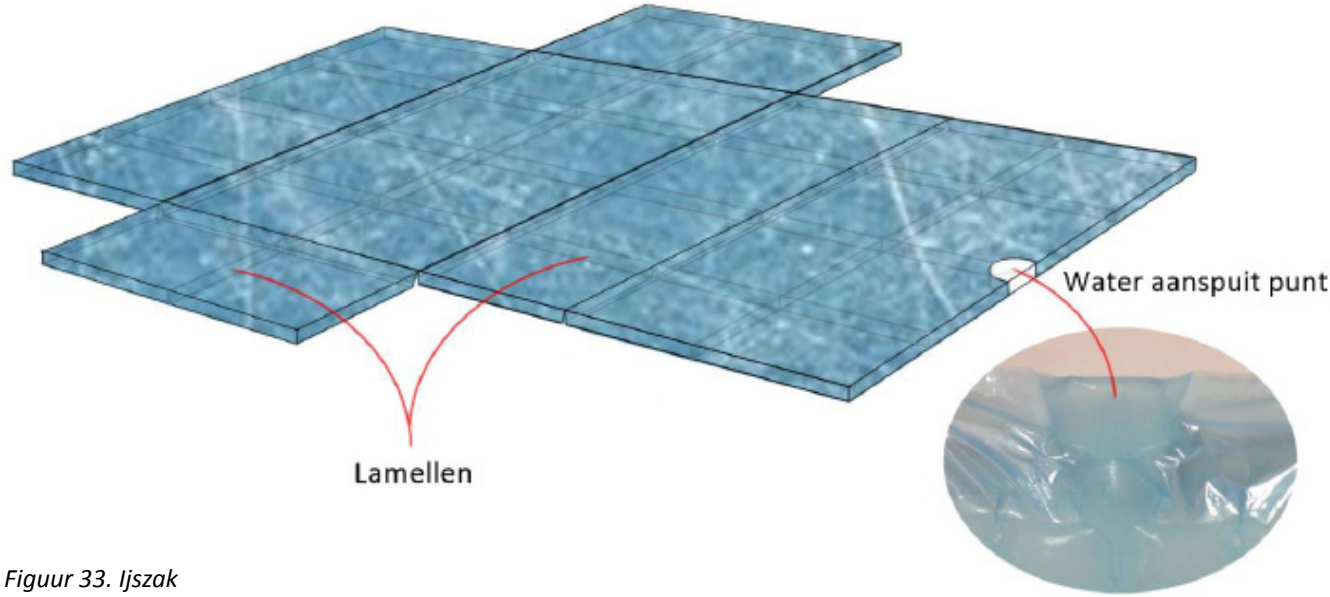
Figuur 31. Totale verpakking

De 4 onderdelen komen allemaal zo compact mogelijk aan in de verpakkingpunt-hub. De buitenste verpakking zal als uitslag aangeleverd worden. De waterzakjes zullen leeg aangeleverd worden en zullen eerst nog moeten worden gevuld en bevroren in de vriezer. Deze zakjes plat zijn als deze gevuld moeten worden met water, hierdoor zullen ze makkelijker in te vriezen zijn. Ze zullen uit de vriezer komen zoals in figuur 32 is weergegeven.



De ijs wand zal alleen goed isoleren als de ijs “bak” overal gevuld is en overal dezelfde dikte heeft. Om dit te realiseren is een ijs “zak” ontworpen die er als volgt uitziet:

In de zak zitten allemaal lamellen die ervoor zorgen dat de ijszak niet uitzet als er water in de zak wordt gegoten. Hierdoor zal de ijszak een constante dikte behouden. Daarnaast zal er een tuitje zitten waar het water in gegoten wordt. Als de zak verder gevuld wordt zal dit tuitje zich opblazen met lucht waardoor het water er niet meer uitkan lopen en er niet meer water dan nodig in de zak zal worden gegoten. In de figuur 33 is de ijszak te zien.

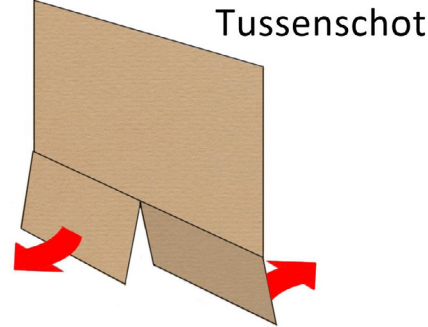
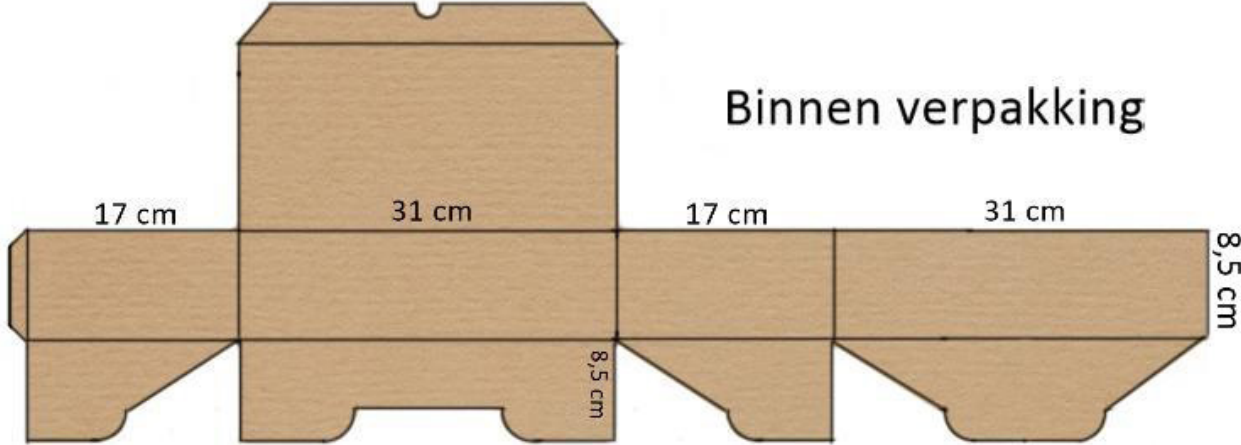


Figuur 33. Ijszak

De binnenverpakking zal ook als uitslag aangeleverd worden zoals in de figuur 34 te zien is.

Het tussenschot wordt ook plat aangeleverd. Dus deze hoeft alleen maar uitgekapt te worden in figuur 35 te zien is.

Figuur 34. Binnen verpakking



Figuur 35. Tussenschot

Een ander onderdeel dat nog niet eerder is genoemd is een onderdeel dat ervoor zorgt dat de consument zeker weet dat de inhoud van zijn verpakking niet warmer is geweest dan 7 °C. Er zal in het koelvak een indicatiestrip geplaatst worden zodat de klant bij het openen van het koelvak kan zien of zijn bestelde eten nog wel betrouwbaar is om op te eten. Deze indicatiestrip zal een losse strip zijn die bovenop de producten ligt zodat het met 1 blik voor de gebruiker af te lezen is. De consument kan aan de kleur van de indicator strip zien of de temperatuur gewaarborgd is. Is dit niet zo, dan zal de kleur van de strip veranderd zijn van zijn originele kleur naar een nieuwe kleur.

De prijs van de uiteindelijke verpakking zal niet heel erg hoog zijn. Dit komt doordat de kosten van het isolatiemateriaal heel erg laag zijn gebleven.

Kosten van de uiteindelijke verpakking

De kosten van de verpakking zullen uit verschillende delen bestaan, het karton, het water, de polyethyleenzakjes en de temperatuur indicator strip.

De kosten van het water zijn als volgt berekend: Zoals eerder berekend zal de inhoud van de isolatie wand ongeveer 3,19 dm³ bedragen. Dus ruim genomen is er 3,5 liter aan water nodig per verpakking. In Nederland is de gemiddelde waterprijs € 0,30 / 200L (63). Dit betekend dat 1 liter water € 0,0015 kost. Voor de verpakking zal het dus betekenen dat de ijs isolatielaag € 0,00525 gaat kosten.

De kosten van de polyethyleenzakjes die om het ijs heen komen te zitten zijn op de volgende manier berekend: Deze zakjes zullen ongeveer € 0,0258 per stuk kosten (64). In deze zakjes zal ongeveer 1,5 liter kunnen dat betekend dat ruim genomen 3 zakjes nodig zijn per verpakking. Dit komt neer op een bedrag van ongeveer € 0,077. De isolatie zal in totaal dus € 0,08265 gaan kosten.

Dan zijn er ook nog de kosten van het karton. Voor de buitenverpakking is 0,8722 m² aan karton nodig, voor de binnenverpakking is er 0,47421 m² nodig en voor het tussenschot is er 0,0484 m² nodig.

Voor de buitenverpakking en het tussenschot zal er dikker karton gebruikt moeten worden dan nodig is voor de binnenverpakking. De buitenverpakking zal de verpakking en het isolatie materiaal moeten beschermen tegen stoten dus zal er dikker karton nodig zijn. Voor het tussen schot is er dik karton nodig omdat de niet gekoelde producten anders te dicht tegen het ijs aan liggen en er kans is dat de niet gekoelde producten teveel kou van het ijs opnemen. De binnenverpakking is van dunner karton omdat de ijsisolatie gemakkelijk de warmte

van de producten in de verpakking moet kunnen opnemen. Het karton dat gebruikt gaat worden voor de verpakking is een golfkarton met een EB-golf (29).

Er is dus 0,9206 m² aan dik karton nodig en 0,0484 m² aan dunner karton. Het is lastig te bepalen wat precies de prijs van karton is, maar uit vergelijkbare producten blijkt dat de prijs voor het dikkere karton over het algemeen rond de € 1,21 ligt (bij aankoop van meer dan 100 stuks) (65). Voor de binnenverpakking zal daar nog ongeveer 0,55 bijkomen (66). Voor het stukje karton voor het tussenschot zal dan ook nog € 0,20 gerekend worden en voor de bedrukking van de buitenverpakking nog € 0,10. De totale prijs van het karton zal dan uitkomen op een prijs van € 2,06.

De totale materiaalprijs van de verpakking met het isolatiemateriaal zal uiteindelijk dus € 2,14 zijn.

Tot slot zijn er nog de kosten van de temperatuur indicator. Er is eerder een grens gesteld dat de verpakking niet meer dan 3 à 4 euro mag gaan kosten, dit betekend dus dat de prijs van deze temperatuur indicator maximaal tussen de € 0,86 en de € 1,86 mag kosten.

7. Evaluatie

Het uiteindelijke ontwerpvoorstel zal getest worden aan de hand van de eisen en wensen van het programma van eisen.

Ten eerste heeft de nieuwe verpakking een formaat die in een pizzakoffer past. De afmetingen van 45 cm x 34 cm x 11 cm vallen binnen de maximaal gestelde afmetingen. Hierdoor is het zeker dat de verpakking altijd met een pizzascooter naar de consument gebracht zou kunnen worden.

Daarnaast zal de verpakking sterk genoeg zijn om het gestelde gewicht te dragen. Het isolatiemateriaal is sterk genoeg dat er meer dan 3,6 kg in de verpakking vervoerd kan worden. Ook zorgt dit isolatie materiaal ervoor dat de inhoud van de verpakking gedurende de 270 minuten onder de 7 graden blijft. Deze 270 minuten is heel veel meer dan de gestelde 105 minuten, maar hierdoor is er een grote buffer opgebouwd voor als het pakketje toch langer onderweg is dan 105 minuten. De consument kan er dus met zekerheid vanuit gaan dat wanneer het pakketje binnen de 270 minuten wordt bezorgt, de inhoud goed gekoeld aankomt.

De kosten van de nieuwe verpakking zullen rond de € 3 à € 4 komen te liggen. Dit is natuurlijk een schatting en daarom kan er ook nog niet precies gezegd worden of deze prijs ook daadwerkelijk gehaald worden. Om hier achter te komen zou er nog een preciezere kostenberekening gedaan moeten doen. Nu is deze prijs voor de verpakking zo bepaald zodat deze precies in de bandbreedte van 10% tot 20% van de totale pakketkosten zal blijven.

Ook moet de verpakking gemakkelijk en efficient, door de werknemers in de verpakkingshub, in elkaar gezet kunnen worden. Dit moet gebeuren met niet meer dan 5 handelingen. De nieuwe verpakking is zo ontworpen dat deze in 5 verschillende handelingen in elkaar gezet kan worden. De handelingen zullen alleen niet helemaal in de volgorde gaan zoals de werknemers zouden denken dat het moet gaan. Bij 1 handeling moet namelijk het zakje ijs gevuld worden en ingevroren worden. Dit zal veel tijd innemen en zal dus al veel eerder moeten gebeuren. Dit zou in werkelijkheid nog fout kunnen gaan. Dat de verpakking al in elkaar gezet wordt, maar dat het ijs nog niet bevroren is. Een oplossing zou zijn dat een aparte werknemer de ijszakjes vult en invriest en er dus voor zorgt dat deze altijd op voorraad zijn. Zodat de overige werknemers de verpakkingen in elkaar kunnen zetten en vullen.

Doordat er ijs is gebruikt als isolatie materiaal is er een erg harde wand gecreëerd die de inhoud ten eerste goed koel zal houden, maar ook de inhoud zal beschermen. Als de verpakking tijdens het transport ergens tegenaan stoot zal de inhoud niet snel kapot gaan door het harde ijs. Dit harde ijs zal gedurende het transport gaan smelten en dan is de inhoud kwetsbaarder en de isolatielaag zelf ook. Daarom zit er een stevige kartonnen laag omheen die voorkomt dat de isolatielaag eventueel kan gaan lekken. In de nieuwe verpakking zit de ijszak direct tegen het karton aan. Hierdoor zou het karton vochtig kunnen worden en zijn stevigheid verliezen. Dit zou opgelost kunnen worden met een coating aan de

binnenkant die waterbestendig is. Hierdoor zal het karton zijn stevigte behouden.

In de verpakking zijn geen materialen of koelementen te vinden die chemische bestanddelen bevatten. Hierdoor zou de verpakking makkelijk te recyclen zijn. Doordat het karton en het ijs allemaal los van elkaar zitten kunnen deze allemaal los van elkaar voor een nieuw doeleinde gebruikt worden. Zo zou de ijszak, die gebruikt is als isolatiwand, na levering aan de consument als zakje gebruikt kunnen worden waar ijsklontjes mee gemaakt kunnen worden. Wel zal de consument deze ijszak eerst opnieuw moeten invriezen aangezien het ijs tijdens het transport al voor een deel is gesmolten.

Omdat de verpakking geen onderdelen bevat die de service van Johma vaker wil gebruiken, zal de verpakking voor deze service eenmalig gebruikt worden.

8. Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusie

Na het doorlopen van dit hele proces kan er geconcludeerd worden dat het doel wat aan het begin van het proces gesteld werd is bereikt. De doelstelling die behaald diende te worden was om een materiaal te kiezen waarmee een verpakking gemaakt kan worden waarin bepaalde voedsel pakketten koel gehouden kunnen worden tijdens het transport. Tijdens dit proces is er door middel van analyses, marktonderzoek, materiaalonderzoek en experimenteren een verpakking ontworpen die aan de gestelde eisen voldoet.

Door onderzoek naar bestaande producten is er in eerste instantie gekeken welke materialen er zoal gebruikt worden in koelverpakkingen. Met deze informatie en CES-edupack als andere informatiebron zijn er vele verschillende materialen overwogen om in de verpakking te kunnen verwerken. Doormiddel van het combineren van eisen, wensen en verschillende aspecten zijn er gaandeweg materialen afgevallen waarbij er uiteindelijk een aantal materialen zijn overgebleven. Deze materialen zijn in verschillende experimenten getest waarbij er uiteindelijk 3 materialen zijn gekozen om te gaan combineren in de nieuwe verpakking.

De materialen die uiteindelijk gekozen zijn voor de nieuwe verpakking zijn karton, ijs en polyethyleen. De buitenkant van de verpakking zal gemaakt zijn van een dik en stevig karton. Daarin zullen twee compartimenten komen. Een compartiment voor ongekoelde producten en een koelvak voor gekoelde producten.

De wanden van dit koelvak zullen bestaan uit een wand van ijs met een dikte van 1,5 cm. Dit ijs zal in polyethyleenzakjes zitten zodat lekgevaar zal worden voorkomen. Aan de binnenkant van de ijswand zal nog een laagje dun karton komen zodat het eten niet direct in contact staat met het ijs. Ook zal dit laagje karton aan de binnenkant ervoor zorgen dat de producten, maar ook het isolatiemateriaal niet zullen beschadigen. Ondanks de verschillende onderdelen in deze verpakking is het aantal handelingen om de verpakking in elkaar te zetten toch zo laag mogelijk gehouden.

Een aspect en een van de eisen die in de materiaalkeuze is meegenomen is de prijs van de verschillende materialen. Het doel was om de kosten van de verpakking binnen een bandbreedte van 10% a 20% van de totale pakket kosten te houden. Er is gedefinieerd dat in de 10 tot 20 % ook de transportkosten zitten. Voor de verpakking is er daardoor uiteindelijk tussen de 3 en 4 euro overgebleven voor het materiaal van de verpakking.

Uiteindelijk zullen de kosten van de nieuwe verpakking ook rond deze € 3 à € 4 komen te liggen. De grootste “kostenpost” van deze verpakking is het karton. Dit zal ongeveer € 2,06 gaan kosten terwijl de prijs van het isolatiemateriaal doordat er gebruik gemaakt van ijs als isolatie veel lager zal liggen. De kosten voor het isolatiemateriaal zal namelijk maar € 0,08 zijn. Wel zal de prijs omhoog gaan doordat er een temperatuur indicator in de verpakking is toegevoegd.

8.2 Aanbevelingen

De verpakking voldoet aan de meeste eisen en wensen, maar er zijn nog een aantal punten waar nog beter naar gekeken zou moeten worden.

Zo zal er nog meer duidelijkheid moeten komen over de logistiek. Hoe zal het pakket nu eigenlijk getransporteerd worden, en een nog belangrijkere vraag, wat is een realistische tijd om onderweg te zijn met een pakketje.

Daarnaast zal er ook nog gekeken moeten worden of de isolatiwand niet toch nog iets dunner gemaakt zou kunnen worden waardoor het gewicht van het pakket zal afnemen. Hiervoor zouden weer nieuwe experimenten gedaan moeten worden.

Ook zouden er nog wat experimenten gedaan moeten worden met het karton en het ijs. Er zal gekeken moeten worden hoe goed het karton bestand is tegen de kou van het ijs. Het zou kunnen dat er nog een coating geplaatst moet worden over het karton zodat het waterafstotend gemaakt wordt.

Tot slot zal er ook nog iets beter gekeken moeten worden naar de kosten van de verpakking. Nu zijn de kosten nog een schatting, maar dit zou nog nieuwe berekeningen kunnen gebruiken voor een preciezere schatting.

9. Referenties

1. Jumbo. (2015). Klantenservice. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://hallo.jumbo.com/klantenservice/online-winkelen-bestellen/>
2. Albert Heijn. (z.d.). Online bestellen bij Albert Heijn. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.ah.nl/bestellen/methode>
3. Voedselbanken.nl Arnhem. (z.d.). Voedselpakket aanvragen. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.voedselbankarnhem.nl/voedselpakket-aanvragen/>
4. So Tasty. (2012). Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.sotasty.nl/>
5. Foodconnect. (z.d.). Hoe werkt het?. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://foodconnect.nl/voor-thuis/hoe-werkt-het/>
6. Zinner dinner. (2014). Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.zinnerdinner.nl/>
7. Hofwebwinkel.nl. (z.d.). Proef, Beleef & Ervaar. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <https://www.hofwebwinkel.nl/easyorder.b2c/index?b2c=VVE>
8. Ekonoom.nl. (2014). Je wil bij ons gaan bestellen. Goed idee, dat werkt hel eenvoudig. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.ekonoom.nl/hoe-werkt-het>
9. Beebox.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 8 april 2015, van <https://beebox.nl/>
10. Voedselkollektief Amersfoort. (z.d.). Over ons. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://voedselkollektief.nl/site/over-voedselkollektief-amersfoort/>
11. Beter Bio. (2013). Al je biologische boodschappen gratis thuisbezorgd. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://beterbio.nl/Pakketten/>
12. Hello Fresh. (2015). Originalbox. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <https://www.hellofresh.nl/boxen/classic-box/>
13. Streekbox. (z.d.). Reguliere Versboxen. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <http://www.streekbox.nl/winkel/>
14. De krat.nl. (2015). Eerlijk eten thuis gebracht. Geraadpleegd op 8 april 2015, van <https://www.dekrat.nl/nl/homePage>
15. Sofigram. (z.d.). Medtraveller: Een zuinige isothermische box. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.sofrigam.nl/medtraveller-een-zuinige-isothermische-box>
16. Temax. (z.d.). Bax in Box - geïsoleerde inlays voor dozen, flexibele recyclebare isolatie voor dozen. Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://www.krautz.org/dozen_isolatieleden.htm
17. Synprodo. (2013). Koelverpakkingen. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.synprodo.nl/verpakkingen/koelverpakkingen.aspx>
18. Rajapack. (z.d.). Isothermische dozen. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.rajapack.nl/kartonnen-dozen-verzenddozen-exportcontainers/isothermische-dozen.html>
19. Rajapack. (z.d.). Isothermische doos Cool. Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://www.rajapack.nl/kartonnen-dozen-verzenddozen-exportcontainers/isothermische-dozen/isothermische-doos-cool_PDT267580.html
20. Temax. (z.d.). Geïsoleerde draagtassen en inkooptassen voor koel vers en diepvries. Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://www.krautz.org/geïsoleerde_draagtassen.htm
21. RP verpakkingen. (2014). Coolbag met afsluitbare handgreep. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.rp-verpakkingen.nl/nl/polyetheen-tassen/koeltassen>
22. Bellatio koeltassenwinkel. (2015). Koeltassen winkel. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.koeltassenwinkel.nl/>
23. Temax. (z.d.). Koeltassen en geïsoleerde draagtassen Productie op maat - koel vers - diepvries. Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://www.krautz.org/koeltassen_en_draagtassen.htm
24. De Ridder, Packaging BV. (2015). Gel Packs voor koeltransport. Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://deridderpackaging.com/product/gel-pack/?utm_campaign=Ridder+Packaging+BV+De&utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_term=%2Bkoelementen&utm_content=909699x834337442470457340
25. ColdChain Technologies. (2015) Koolit Gel Packs. Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.coldchaintech.com/products/item/koolit-gel-packs/>
26. Cryopak. (z.d.). Geraadpleegd op 9 april 2015, van <http://www.cryopak.com/en/cold-chain-packaging/refrigerant-gel/ice-pak-0c-ice-pack/>
27. Beslist.nl. (2005). Geraadpleegd op 9 april 2015, van http://www.beslist.nl/products/sport_outdoor_vrije-tijd/sport_outdoor_vrije-tijd_484289_8305950/
28. Paardekooper verpakkingen en disposables. (2015). Isolatieverpakking. Geraadpleegd op 13 april 2015, van <http://www.paardekooper.nl/industrie/verzenderverpakkingen/isolatieverpakking>
29. Timmerman, Lisanne (2015). Verpakking voor het online verkopen van gekoeld voedsel. Bacheloreindopdracht Industrieel Ontwerpen, Universiteit Twente.
30. Hou het warm.nl. (z.d.). Isolatiewaarde van isolatiematerialen. Geraadpleegd op 15 april 2015, van <http://houhetwarm.nl/isolatie/isolatiewaarde-van-isolatiematerialen/>
31. Bestelisolatie.nl. (2010). Geraadpleegd op 16 april 2015, van <http://www.bestelisolatie.nl/>
32. Vibe. (z.d.). Isoleren met glaswol. Geraadpleegd op 16 april 2015, van <http://www.deskundig-isoleren.be/glaswol.html>
33. Duurzaam thuis. (z.d.). Isolatiemateriaal. Geraadpleegd op 16 april 2015, van <http://www.duurzaamthuis.nl/duurzaam-wonen/isolatiemateriaal>
34. Isolatiweetjes. (2015). Isolatiematerialen. Geraadpleegd op 16 april 2015, van <http://www.isolatie-weetjes.nl/isolatiematerialen/>
35. Resol hardschuim. (z.d.). Geraadpleegd op 16 april 2015, van http://www.joostdevree.nl/shtmls/resol_hardschuim.shtml
36. Fooddata.nl. (z.d.). Geraadpleegd op 18 mei 2015, van <http://old.fooddata.nl/Fooddata/index/voedingsmiddel.asp>
37. Bouwencyclopedie. (z.d.). Warmtestroom en warmteverlies. Geraadpleegd op 11 mei 2015, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtestroom.shtml>
38. ECO-Logisch. (z.d.). Kurkplaten isolatie. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.eco-logisch.nl/Qualy-Cork-Kurkplaten-isolatie-5888>
39. Kurk24. (2015). Kurk Akoestisch. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.kurk24.nl/a-39255391/kurk-isolatieplaten-geluid/kurk-akoestisch-60-x-30-cm-per-m2-6-mm-dik/>
40. Kurk24. (2015). Kurkplaat 1 mm dik. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.kurk24.nl/a-35965625/kurkplaten-industriekurk/3x-kurkplaat-1mm-dik-60x90-cm/>
41. RubberSheetRoll. (2015). Butyl Rubber. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.rubbersheetroll.com/butyl-rubber.htm>
42. Alibaba.com. (2015). Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.alibaba.com/showroom/pine-lumber-prices.html>
43. Online-bouwmaterialen.nl. (2015). TempexEPS 60. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.online-bouwmaterialen.nl/isolatiemateriaal/tempex-eps-polystyreen/tempex-eps-60.html>
44. Gamma. (2015). Polystyreen. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <https://www.gamma.nl/assortiment/gamma-isolatieplaat-polystyreen-100x50x5-cm-5-stuks/p/B134087>
45. Praxis. (2015). Isolatieplaat EPS 60. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <https://www.praxis.nl/bouwmaterialen/isolatie/isolatie/isolatieplaat-eps-60-100-x-50-x-3cm-8-stuks/5322570>
46. ECO-Logisch. (z.d.). Bamboe plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.eco-logisch.nl/producten-Bamboe-plaat-124>
47. Merrem kunststoffen. (z.d.). PP Plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.merrem-kunststoffen.nl/shop/articles.aspx?g=1003^20012^20014>
48. Polyshop.nl. (2014). PP Plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.polyshop.nl/p/kunststof/kunststof-platen-1/pp-plaat>
49. Houthandel van Loon. (z.d.). Prijslijst eikenhout. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.hardhouthandelvanloon.nl/prijslijsten/prijslijst-eikenhout/>
50. S-polytec polymertechnology. (z.d.). Koop ABS platen online op maat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.s-polytec.com/abs-platen.html>
51. Poly-service kunsthars technieken. (2015). PU Schuimplaat 4cm. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.polyservice.nl/P.U.-Schuimplaat-4-cm-p-16261.html>
52. Rubbermagazijn.nl. (z.d.). Polyurethaan plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van http://www.rubbermagazijn.nl/collectie/pakkingmateriaal/plaatrubber-polyurethaan-pu/6664_bruin_polyurethaan-plaat-2mm-90shore.html
53. Polyshop.nl. (2014). Polyester Plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.polyshop.nl/polyester-plaat-transparant-dikte-1-0-mm-per-m2>
54. FA.Duursma. (z.d.). Prijslijst. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.faduursma.nl/?p=5&d=product&cid=10>

55. Alibaba.com. (2015). Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://dutch.alibaba.com/product-gs/ethylene-vinyl-acetate-colorful-textured-eva-foam-sheet-2mm-1809702742.html>
56. Alibaba.com. (2015). Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://dutch.alibaba.com/product-gs/factory-price-ethylene-vinyl-acetate-colorful-textured-eva-foam-sheet-2mm-2004924156.html>
57. Formido deco bouwmarkt. (2015). Hout en Plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.formido.nl/bouwmaterialen/hout-plaat/plaatmateriaal/multiplex.html>
58. Kunststofshop. (2011). Geraadpleegd op 29 april 2015, van http://www.kunststofshop.nl/index.php?item=&action=page&group_id=10000092&lang=NL
59. Polyshop.nl. (2014). PE Plaat. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.polyshop.nl/p/kunststof/kunststof-platen-1/pe-plaat>
60. Groenebouwmaterialen.nl. (2015). Doscha Schapenwol Isolatie. Geraadpleegd op 29 april 2015, van <http://www.groenebouwmaterialen.nl/a-25161341/doscha-db-en-dw-schapenwol-isolatie/doscha-schapenwol-isolatie-db-140-mm-rc-4-rol-van-3-6-m2/>
61. Broekhuizen. (z.d.). Klein pakje hooi voor knaagdieren. Geraadpleegd op 8 juni 2015, van http://www.brekz.nl/konijnenvoer/klein-pakje-hooi-voor-knaagdieren.html?utm_source=beslistslimmershoppen&utm_medium=cpc&utm_campaign=beslist
62. InfoNu.nl. (2015). Verpakkingsmateriaal voor invriezen. Geraadpleegd op 21 juni 2015, van <http://eten-en-drinken.infoanu.nl/diversen/8182-verpakkingsmateriaal-voor-invriezen.html>
63. Wat weet jij van kraanwater. (z.d.). De prijs van water. Geraadpleegd op 24 juni 2015, via <http://www.kraanwater.nu/watweetjijvankraanwater/waterweetjes/prijs-van-water/Pages/default.aspx>
64. Albert heijn. (2015). AH Diepvrieszakjes met zippsluiting 1.5 L. Geraadpleegd op 24 juni 2015, via <http://www.ah.nl/producten/product/wi136148/ah-diepvrieszakjes-met-zippsluiting-1-5-l>

65. RajaPack. (z.d.). Kartonnen dozen Rigibox.Geraadplegd op 24 juni 2015, via http://www.rajapack.nl/kartonnen-dozen-verzenddozen-exportcontainers/postdozen-verzenddozen/kartonnen-dozen-rigibox_PDT00572.html?prixTTC=true&gclid=CKrk6MeyqsYCFsXHtAodacUCDg
66. Goedkoopste doos.nl. (z.d.). Postdoos wit. Geraadpleegd op 24 juni 2015, via <https://www.goedkoopstedoos.nl/producten/dozen-algemeen/enkele-golf/31x21x10-cm---postverzenddoos>
67. Duurzaam thuis. (z.d.) Papiervlokken (Cellulose). Geraadpleegd op 4 augustus 2015, via <http://www.duurzaamthuis.nl/duurzaam-wonen/isolatiemateriaal/papiervlokken-cellulose>

10. Bijlagen

Bijlage A

Plan van Aanpak

Opdrachtgever en belanghebbende
Het bedrijf waar de bachelor opdracht voor uitgevoerd gaat worden is Johma Salades B.V. Dit bedrijf is gespecialiseerd in het maken van verschillende soorten gekoelde salades. Voor klanten zijn deze salades te verkrijgen in de koelschappen van de supermarkt.

Maar tegenwoordig trekt de online markt steeds meer aan en wordt er steeds meer thuis besteld, waaronder ook voedsel. Zo bestaat de online bezorgservice van Albert Heijn (Albert) en de wekelijkse online voedsel service Hello Fresh. Alleen worden er nog niet vaak gekoelde producten online besteld. Het is dan ook het doel van Johma om hun gekoelde salades online aan hun klanten te kunnen aanbieden waarbij deze in een koelvers pakket worden gestopt die gekoppeld zijn aan een gebeurtenis. Zo kunnen voor deze verschillende gebeurtenissen ook verschillende pakketten worden besteld.

Andere betrokken partijen die samen met Johma dit doel willen bereiken zijn Salad Signature en Uber Nederland. Deze drie partijen hebben allemaal een eigen inbreng op dit doel te halen. Zo zullen Johma en Salad Signature zorgen voor de inhoud van de pakketten. Uber Nederland zal daarentegen zorgen voor de transport van de pakketten naar de klant. Deze drie partijen hebben allen belang bij het uitvoeren van dit idee, ze willen niet achterblijven bij andere online services.

Een andere belanghebbende is de consument. Het idee van de online service zal zijn dat een klant kan aangeven wanneer hij het pakket thuis wil laten bezorgen. Hij kan vlak van te voren aangeven wanneer hij thuis is en het pakket zal dan ook op die tijd bezorgt worden. De klant hoeft dus nooit meer bang te zijn dat hij niet thuis is en het pakket niet aan kan nemen. Daarnaast zal de consument die normaal de hele dag werkt, en geen tijd heeft om boodschappen te doen, en ‘s avonds nog iets ongezonds besteld, nu makkelijker een gezonde maaltijd kunnen bestellen. Het belang van de consument is dus dat het voedsel gemakkelijker te bestellen is en dat het gezonder is voor de consument.

Aanleiding voor de opdracht
Zoals eerder gezegd veranderend de markt volop met steeds nieuwe voedsel services, waarbij Johma niet achter wil blijven. Om met de andere online voedsel services mee te kunnen komen zal Johma ook met een nieuwe service moeten komen om de haar klanten tevreden te stellen. Daarbij worden tegenwoordig de salades van Johma nog indirect aan de klant verkocht. Dit wil zeggen dat Johma ze aan een bepaalde supermarkt verkoopt waarna deze ze weer aan de consument zal verkopen. Door de nieuwe online service zal Johma zijn gekoelde salades direct aan de klant kunnen verkopen en hier geld mee besparen. Op dit moment worden gekoelde producten vaak alleen in grote hoeveelheden in koelvrachtwagens bezorgd bij winkels of restaurants. Losse gekoelde pakketten worden daarentegen nauwelijks bezorgt vanwege de moeilijkheid en de inefficiëntie. Als een koelvrachtwagen zou moeten rijden voor maar een aantal pakketten zouden de kosten zeer hoog worden. De oplossing voor dit probleem zou kunnen zitten in het maken van een koelverpakking voor de pakketten. Deze verpakking zal van een bepaald materiaal gemaakt moeten zijn om de producten lang genoeg koel te houden, zodat deze nog gekoeld bij de consument afgeleverd kunnen worden. Johma schat zelf dat bij deze nieuwe service de kosten van de koeltas zelf binnen een bandbreedte van 10% a 20% van de totale pakket kosten zal zitten. Daarbij wordt ook gedacht dat de consument kan worden gevraagd om 10 % van de pakketwaarde te betalen. De overige kosten zullen gefinancierd moeten worden uit de marge van de producent. Aangezien de producent in het kader van dit project direct aan de consument zelf levert, zit er ruimte in de marge. Deze marge is nog niet bepaald en zal nader bepaald moeten worden. Deze marge kan ten goede komen aan het bekostigen van het transport en verpakking. Later zal dan ook blijken of met deze marge alleen geld bespaard wordt of dat er uiteindelijk ook winst gemaakt wordt.

Doelstelling
Het bedrijf Johma Salades B.V. wil samen met Salad Signature en Uber Nederland een nieuwe online voedsel service creëren. Het doel van deze opdracht is om een materiaal te kiezen waarmee een verpakking gemaakt kan worden waarin bepaalde voedsel pakketten koel gehouden kunnen worden tijdens het transport. Dit zal gedaan worden door een analyse te doen naar verschillende materiaalsoorten. Ook zal gekeken worden hoe deze verpakking tegen acceptabele kosten gemaakt kan worden, waarbij de kosten van de

verpakking binnen een bandbreedte van 10% a 20% van de totale pakket kosten moeten blijven.
De uitkomsten zullen gebruikt worden om een materiaalkeuze te kunnen maken waarna er een advies gegeven kan worden over de verpakking. Daarbij kunnen de uitkomsten er ook bij helpen om richtlijnen te geven over het ontwerp van de verpakking zelf.
Dit gehele project zal binnen een tijdbestek van drie maanden plaatsvinden.

Begripsbepaling
Gebeurtenis
Hiermee wordt bedoeld dat een specifieke salade in verschillende soorten pakketen kan zitten. Zo kan de consument bijvoorbeeld een ontbijt pakket bestellen, maar ook een BBQ pakket of een borrelpakket.

Koelvrachtwagens
Dit zijn de vrachtwagens die meestal gebruikt worden om gekoelde producten van de fabrikant naar de winkel te transporteren.
Verpakking
De verpakking die gemaakt zal worden zal een koeltas of koelbox zijn waarin verschillende soorten pakketten getransporteerd kunnen worden.

Vraagstelling met de bijbehorende strategieën en materialen
Om de doelstelling te halen, zijn er verschillende centrale vragen opgesteld met de daarbij behorende deelvragen. Om de verschillende vragen te kunnen beantwoorden zal er op verschillende manieren onderzoek gedaan moeten worden. In de tabel is te zien welke strategie daarvoor nodig is en welk materiaal daarbij gebruikt moet worden.

Welke aspecten zijn er vanuit Johma al vastgelegd?			
Vraag	Strategie	Materiaal	Bronnen
Welke ideeën zijn er al binnen het bedrijf over de verpakking?	Interview	Personen	Expert bij Johma
Welke eisen staan al vast voor de verpakking?	Interview	Personen	Expert bij Johma
Van welk soort materiaal zal de verpakking gemaakt moeten worden?			
Vraag	Strategie	Materiaal	Bronnen
Van wat soort materialen worden soortgelijke verpakkingen gemaakt?	Concurrentie onderzoek	Concurrerende producten	Diverse winkels
Wat is het maximale gewicht dat de verpakking moet kunnen dragen?	Markt onderzoek	Voedsel pakketen voor in de verpakking	Johma
Op welke minimale/maximale temperatuur moet de inhoud van de verpakking gehouden worden?	Interview	Personen	Experts bij Johma
Hoe lang duurt het voordat de verpakking bij de klant is?	Interview	Personen	Experts bij Johma
Zal het voedsel in de verpakking in direct contact komen met het materiaal?	Interview	Personen	Experts bij Johma

Welke richtlijnen zijn er voor materialen die in contact komen met voedsel?	Literatuur onderzoek	Literatuur en documenten	Overheid website
Welke materialen mogen er in contact komen met voedsel?	Literatuur onderzoek	Literatuur en documenten	Overheid website
Welke handelingen worden er met de verpakking uitgevoerd tijdens het transport?	Interview	Personen	Experts bij Johma
Welke materialen zijn geschikt voor de industriële productie?	Materiaal onderzoek	Materiaalgegevens	CES Edupack
Hoe vaak zal de verpakking hergebruikt moeten worden?	Interview	Personen	Experts bij Johma
Op welke manieren kan de verpakking eruit zien met het gekozen materiaal?	Ontwerpen	Geanalyseerde materiaal	

Op welke manier is het haalbaar om de verpakking te produceren?

Vraag	Strategie	Materiaal	Bronnen
Op welke manier zal deze verpakking geproduceerd kunnen worden?	Literatuur onderzoek en interviews	Literatuur en personen	Experts
Hoeveel verschillende gekozen materialen zijn er nodig voor één verpakking?	Interview	Personen	Experts bij Johma
Wat zijn de kosten van de mogelijke materialen?	Materiaal onderzoek	Materiaalgegevens	CES Edupack
Wat zijn de kosten van de gekozen materialen?	Materiaal onderzoek	Materiaalgegevens	CES Edupack
Hoeveel meer geld zijn mensen bereid te betalen om gebruik te maken van de service?	Interview / enquête	Personen	Toekomstige consumenten

Hoe kan de “life cycle” van de verpakking verlengd worden?

Vraag	Strategie	Materiaal	Bronnen
Welke materialen moeten er gebruikt worden om de life cycle te verlengen.	Materiaal onderzoek	Materiaalgegevens	CES Edupack
Vanaf welke kosten is het rendabel om de verpakking herbruikbaar te maken?	Kosten analyse	Documenten	Johma

Planning

Taak	Start	Eind	Duur	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6	Week 7	Week 8	Week 9	Week 10	Week 11	Week 12	Week 13	Week 14
Opstellen PvA	30-3-2015	2-4-2015	4 d														
Marktonderzoek	6-4-2015	10-4-2015	1 w														
Onderzoek doen naar de logistiek	13-4-2015	17-4-2015	1w														
Onderzoek doen naar de productie	13-4-2015	17-4-2015	1 w														
Eisen vastleggen	20-4-2015	24-4-2015	1 w														
Materialen onderzoek	20-4-2015	22-5-2015	5 w														
Kosten analyse	4-5-2015	29-5-2015	4 w														
Materialen testen	18-5-2015	29-5-2015	2 w														
Keuze maken voor materiaal	1-6-2015	12-6-2015	2 w														
Eisen opstellen n.a.v. materiaalkeuze	8-6-2015	19-6-2015	2 w														
Conclusies formuleren	22-6-2015	26-6-2015	1 w														
Verslaglegging	30-3-2015	3-7-2015	14 w														

Bijlage B

Toelichting van concurrerende bedrijven:

Jumbo(1)

Behalve dat de consument in de winkels van de Jumbo boodschappen kan doen, kan de consument ook online voedselproducten bestellen. Deze kan de consument vervolgens afhalen bij een pick-up point en zullen dus niet worden thuisbezorgd. De producten worden getransporteerd in een koelvrachtwagen en zal tijdens het wachten in het pick-up point ook gekoeld worden. De verpakking is een leverkrat waarvoor de consument statiegeld moet betalen. Verder liggen de bestelkosten tussen de 0 en de 3 euro en is er geen minimum om te kunnen bestellen.

AH.nl (2)

Net als bij de Jumbo kunnen hier consumenten ook naast het in de winkels van de Albert Heijn boodschappen doen ook online voedselproducten bestellen. Er kan voor gekozen worden om de producten thuis te laten bezorgen of het op te halen bij een pick up point.

Als ervoor wordt gekozen om de producten thuis te laten bezorgen zal de klant kunnen kiezen wanneer dit thuis afgeleverd zal moeten worden. Hierbij worden er service kosten gevraagd die afhangen van het bezorgmoment en of de producten gekoeld moeten worden. Wat een nadeel is, is dat er voor minimaal 70 euro aan producten besteld moet worden.

Als ervoor wordt gekozen om de producten op te halen bij een pick up point zal de consument ook online de boodschappen bestellen en zal de AH deze bij het gewenste pick up point afleveren. Vervolgens zullen de niet gekoelde producten in kratten en de gekoelde producten in koeltassen klaar staan. Wat het verschil is tussen deze service en de service die Johma wil bieden is dat bij deze AH-service de verpakkingen tussen het distributie centrum en het pick-up point



vervoerd worden met meerdere “pakketten” tegelijkertijd en dat dit gedaan wordt in een koelvrachtwagen. Bij de Johma bezorg service is het juist de bedoeling dat er gewoon een personen auto zal rondrijden die de pakketten rondbrengt.

Voedselbank (3)

De voedselbank is een organisatie die pakketten samenstelt voor mensen die onder de armoedegrens leven. Meestal bestaan de pakketten uit producten die bedrijven over hebben of die net over de datum zijn. De consument kan het pakket ophalen bij een lokale voedselbank. Hier zullen de pakketten in koelboxen staan, waarna de consument een pakket meeneemt in een zelf meegenomen tas.

So tasty (4)

Bij deze voedselservice kan de consument kiezen uit verschillende pakketten voor lunches, diners en barbecues, maar kan deze pakketten niet zelf samenstellen. Er moet hier voor minimaal €20,- besteld worden.

Waarna de pakketten op bepaalde locaties bezorgt worden die de consument eerder had aangewezen. Aangezien er ook producten in kunnen zitten die gekoeld moeten worden, worden deze pakketten waarschijnlijk geleverd met een koelvrachtwagen.

Foodconnect (5)

Dit is een bezorgservice waar losse producten, maar ook maaltijden besteld kunnen worden. In de webwinkel worden de maaltijden en verse producten gekozen waarna deze met een vrachtwagen bij de consument bezorgt worden. Er is geen minimum nodig om het eten te kunnen laten bezorgen en de bezorgkosten zijn ook laag. De kosten van de maaltijden zijn meestal onder de 10 euro.

Zinner dinner (6)

Bij deze service worden bij de klant producten bezorgd die bij voorkeur biologisch zijn. Deze producten worden iedere week bezorgt waarmee de gerechten bereid kunnen worden die op de website vermeld staan. De producten zitten allemaal bij elkaar in een kartonnen tas. Deze kartonnen tassen worden rondgebracht in auto's met een koelmechanisme, zodat de inhoud van deze



verpakkingen ook koel gehouden zal worden. De prijzen hangen af van de soort tas en voor hoeveel mensen deze is, maar ligt voor 1 persoon rond de 40 euro.

Hofwebwinkel (7)

De Hofwebwinkel is een biologische bezorg service in midden en zuid Nederland. De pakketten bestaan uit losse producten die de consument zelf kan kiezen. Daarbij kan de consument ook een recept kiezen. Door de consument kan er gekozen of het pakket thuisbezorgd moet worden of dat deze het pakket ergens ophaalt. Als de consument ervoor kiest om de producten thuis te laten bezorgen dan kost dit 5 euro extra, als de consument de producten op een afhaallocatie ophaalt kost dit 1,50 extra.

EKOnoom (8)

De service EKOnoom levert biologische producten aan de consument in heel Nederland. De consument kan zelf producten uitzoeken maar ook een standaard pakket kiezen. Wel moet de consument minimaal voor 25 euro producten bestellen. EKOnoom bezorgt zelf de producten in kratten, maar op sommige plekken worden de pakketten door PostNL bezorgd. Deze kratten moeten bij de volgende levering weer teruggegeven worden. Gekoelde producten worden koel gehouden door ze met koelelementen in isolatiemateriaal of isolatietassen te verpakken. Behalve de kratten moeten de koelelementen en het isolatiemateriaal ook weer worden teruggegeven aan EKOnoom.

BeeBox (9)

Beebox is een bezorgservice waarbij er uitsluitend biologische producten worden bezorgt. Deze bezorgservice is op basis van een abonnement en de box zal wekelijks bezorgt worden. Het bijzondere aan deze service is dat de boxen worden gedistribueerd door gewone mensen die een bepaalde regio vertegenwoordigen. Het is dus een heel persoonlijke service. Een Beebox kan niet zelf samengesteld worden, maar er zijn verschillende boxen te kiezen. Bijvoorbeeld de BOX, BOXL, BOXXL, en alle deze varianten ook koolhydraatarm.



De prijs van deze verschillende boxen variëren van de 25 tot 40 euro. De verpakking waarin de producten worden vervoerd zijn oranje kratten, omdat zij geen karton willen gebruiken volgens het “no waste” motto. De producten die koel moeten blijven zullen in het krat in een koelzak gedaan worden waar een koelelement bij geplaatst wordt.

Voedselcollectief (10)

Het voedselcollectief bezorgt biologische producten uit de streek. Het is een service waarvan je lid moet worden. Als lid kan er gekozen worden welk product gewenst is. De producten worden in kratten vervoerd en kunnen vervolgens opgehaald worden op donderdag en vrijdag in een daarvoor ingerichte locatie en worden overgeheveld naar een meegenomen tas. Het lid worden kost 20 euro en daarna moet er betaald worden voor de bestelde producten.

Beter Bio (11)

Beter bio is een service waar ook weer verschillende pakketten besteld kunnen worden. Zo zijn er verschillende groente boxen, maar ook maaltijdpakketten. Bijvoorbeeld de Bio-freshbox, de Bio-vegiebox en de Bio-streekbox. De boxen zijn al gevuld en de inhoud kan dus niet zelf samengesteld worden. De box is een klapkrat waar alle producten in gaan dit krat zal later ook meer aan de bezorger meegegeven worden. De producten die gekoeld moeten blijven worden niet apart gekoeld, dus zullen de boxen waarschijnlijk in een koelvrachtwagen rondgebracht worden.

Hello Fresh (12)

HelloFresh is een bekende voedsel bezorgservice. Zij bieden pakketten aan waarin producten zitten om een bepaalde maaltijd mee te maken. De consument kan niet zelf kiezen welk recept hij wil maken en welke ingrediënten daarin zitten, maar hij kan wel van te voren de recepten op internet bekijken. De pakketten worden thuis bezorgt en een eenpersoonspakket met producten voor drie maaltijden kost 34 euro. Verder moet de consument abonnee zijn van HelloFresh, waarbij de consument altijd minstens drie maaltijden moet bestellen. Er worden ook producten bezorgd die koel gehouden moeten worden, zoals vlees en vis. De kartonnen dozen worden waarschijnlijk in een koelvrachtwagen bezorgd bij de consumenten thuis.

Streekbox (13)

Streekbox levert voedselpakketten met producten die uit heel Nederland komen. De consument heeft hier een keus welk pakket hij besteld, hij heeft namelijk de keuze uit een vegetarisch of een vlees/vis pakket. De producten die erin zitten staan vast en dus kan de consument niet zijn eigen producten kiezen. De minimale pakketprijs is € 29,- en bevat 3 maaltijden voor 2 personen. Net als bij HelloFresh is dit op abonnee basis. De voedselpakketten worden bezorgd op donderdag of vrijdag bij de consument thuis en worden geleverd in een kartonnen doos.



De Krat (15)

De krat is een bezorgservice die elke week een nieuw krat samenstelt met eerlijke en goede producten. In de kratten zitten meestal groentes, vlees of vis, brood en eventuele andere extra's. De krat is een abonnementen systeem waarbij de consument kiest of het krat 1 keer per week, per 2 weken of per maand wordt bezorgd. Het eten wordt bezorgd in een “normaal” houten krat. Het is onduidelijk hoe nu eigenlijk de verse producten koel gehouden worden. Omdat de verpakking dit zelf niet kan zal het waarschijnlijk in een koelvrachtwagen getransporteerd worden.

Bijlage C

Kartonnen verpakkingen die getest zijn in het experiment:

- 3 Opties:
- Doos - Cilinder - 6-hoek

Doos:

- Lunch pakket:
1. 32 cm x 23,5 cm x 17 cm -> Past niet
2. 45 cm x 38,5 cm x 15 cm -> Te groot
3. 48,5 cm x 35 cm x 11 cm -> Bijna goed



- BBQ pakket:
1. 32 cm x 23,5 cm x 17 cm -> Te klein
3. 48,5 cm x 35 cm x 11 cm -> Iets te groot. Zou beter zijn als hij vierkant is of iets korter en breder.



- Borrel pakket:
1. 32 cm x 23,5 cm x 17 cm -> Iets breder en iets lager. Hierbij is maar een klein koelvak nodig.



- Uiteindelijk:
Lunch: 45 x 34 x 11 cm
Picknick: 45 x 34 x 11 cm
Borrel: 35 x 34 x 11 cm

Cilinder:

- Borrel pakket:
Diameter 20 cm
Hoogte 33 cm
- Picknick pakket:
Diameter 20 cm
Hoogte 33 cm -> Witte broodjes bovenop. Stuk waar je kunt stouwen.

6-Hoek:

- BBQ-pakket:
Diameter 30 cm
Zijvlakken 15 cm
Hoogte 32 cm
- Borrel pakket:
Diameter kan iets kleiner dan 30 cm
Zijvlakken 15 cm
Hoogte 32 cm
- Lunch pakket:
Diameter 30 cm
Zijvlakken 15 cm
Hoogte 27 cm
- Picknick pakket:
Diameter 30 cm
Zijvlakken 15 cm
Hoogte 24 cm



Borrel pakket



Picknick pakket



BBQ pakket



Borrel pakket



Lunch pakket



Picknick pakket

Bijlage D

Overzicht van de maatvoeringen van de verpakkingen.

	Doos (cm)	Cilinder (cm)	6-Hoek (cm)
BBQ			Verpakking: d = 30, h = 32, z = 15 Koelvak: h = 22, z = 15 Oppervlak: 0,24465 m²
Borrel	Verpakking: 35x34x11 Koelvak: 9x35x17,5 Oppervlak: 0,2170 m²	Verpakking: d = 20, h = 33 Koelvak: l = 17, h = 33 Oppervlak: 0,2075 m²	Verpakking: d < 30, h = 32, z = 15 Koelvak: h = 30, z = 15 Oppervlak: 0,2205 m²
Lunch	Verpakking: 45x34x11 Koelvak: 10x17x30 Oppervlak: 0,1960 m²		Verpakking: d = 30, h = 27, z = 15 Koelvak: h = 21, z = 15 Oppervlak: 0,1822 m²
Picknick	Verpakking: 45x34x11 Koelvak: 10x17x30 Oppervlak: 0,1960 m²	Verpakking: d = 20 Koelvak: l = 17, h = 33 Oppervlak: 0,2075 m²	Verpakking: d = 30, h = 24, z =15 Koelvak: h = 21, z = 15 Oppervlak: 0,1822 m²

Bijlage E

De 23 te onderzoeken materialen:

Cork

Density	120	-	240	kg/m^3
Price	2,01	-	10	EUR/kg
Date first used	-3000			
Young’s modulus	0,013	-	0,05	GPa
Shear modulus	0,0025	-	0,008	GPa
Bulk modulus	0,01	-	0,018	GPa
Poisson’s ratio	0,05	-	0,45	
Yield strength (elastic limit)	0,3	-	1,5	MPa
Tensile strength	0,5	-	2,5	MPa
Compressive strength	0,54	-	2	MPa
Elongation	20	-	80	% strain
Fatigue strength at 10^7 cycles	0,3	-	1,1	MPa
Fracture toughness	0,05	-	0,1	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,1	-	0,3	
Glass temperature	76,9	-	102	°C
Maximum service temperature	117	-	137	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,035	-	0,048	W/m.°C
Specific heat capacity	1,9e3	-	2,1e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	130	-	230	µstrain/°C
Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	1e9	-	1e11	µohm.cm
Dielectric constant	6	-	8	
Dissipation factor	0,02	-	0,05	
Dielectric strength	1	-	2	1000000 V/m

Embodied energy, primary production	3,8	-	4,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,181	-	0,2	kg/kg
Recycle	False			
Supporting information				
Design guidelines:	The compressibility and great stability of cork, both in water and in oil, make it attractive for bottle stoppers, for gaskets and for packaging. It is easily cut and its fine cellular structure makes allows it to be carved to intricate shapes. Its vibration damping and thermal insulation qualities, together with its warm color and attractive texture give cork and products made from in (cork board, linoleum) a large market in floor, wall and ceiling coverings.			
Technical notes:	Cork is used for stoppers and bungs for bottles; floats; life-belts; walls; flooring; insulation; shoes; packaging; fancy goods; decoration; gaskets; road surfaces; linoleum; polishing; brake pads; vibration damping.			
Typical uses:	Corks; stoppers; bungs for bottles; floats; lifebelts; walls; flooring; insulation; shoes; packaging; fancy goods; decoration; gaskets; road surfaces; linoleum; polishing; brake pads; vibration damping.			
Flexible Polymer Foam (VLD)				
Density	16	-	35	kg/m^3
Price	1,47	-	1,63	EUR/kg
Date first used	1947			
Young’s modulus	2,5e-4	-	0,001	GPa
Shear modulus	1e-4	-	5e-4	GPa
Bulk modulus	2,5e-4	-	0,001	GPa
Poisson’s ratio	0,23	-	0,3	
Yield strength (elastic limit)	0,01	-	0,12	MPa
Tensile strength	0,24	-	0,85	MPa
Compressive strength	0,01	-	0,12	MPa
Elongation	10	-	135	% strain
Hardness - Vickers	0,001	-	0,012	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	0,15	-	0,7	MPa
Fracture toughness	0,005	-	0,02	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,1	-	0,5	

Melting point	112	-	177	°C
Glass temperature	113	-	13,2	°C
Maximum service temperature	86,9	-	112	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,036	-	0,048	W/m.°C
Specific heat capacity	1,75e3	-	2,26e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	120	-	220	µstrain/°C
Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e20	-	1e23	µohm.cm
Dielectric constant	1,1	-	1,15	
Dissipation factor	5e-4	-	0,003	
Dielectric strength	4	-	6	1000000 V/m
Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	103	-	114	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	4,28	-	4,73	kg/kg
Recycle	False			
Supporting information				
Design guidelines:	Flexible foams have characteristics that suit them for cushioning and packaging of delicate objects. They are shaped by injecting or pouring a mix of polymer, catalyst and foaming agent into a mold where the agent evolves gas, expanding the foam. Expanding in a cold mold gives a solid surface skin. Closed cell foams float in water; open cell foams absorb liquids and act as sponges.			
Technical notes:	The properties of foams depend, most directly, on the material of which they are made and on the relative density (the fraction of the foam that is solid). Most commercial foams have a relative density between 1% and 30%. To a lesser extent, the properties depend on the size and the shape of the cells. Low density, closed cell, foams have exceptional low thermal conductivity. Skinned rigid foams have good bending stiffness and strength of low weight.			

Typical uses: Packaging, buoyancy, cushioning, sleeping mats, soft furnishings, artificial skin, sponges, carriers for inks and dyes.

Flexible Polymer Foam (LD)

Density	38	-	70	kg/m^3
Price	1,47	-	1,63	EUR/kg
Date first used	1947			

Young’s modulus	0,001	-	0,003	GPa
Shear modulus	4e-4	-	0,002	GPa
Bulk modulus	0,001	-	0,003	GPa
Poisson’s ratio	0,23	-	0,33	
Yield strength (elastic limit)	0,02	-	0,3	MPa
Tensile strength	0,24	-	2,35	MPa
Compressive strength	0,02	-	0,3	MPa
Elongation	10	-	175	% strain
Hardness - Vickers	0,002	-	0,03	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	0,2	-	2	MPa
Fracture toughness	0,015	-	0,05	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,1	-	0,5	

Melting point	112	-	177	°C
Glass temperature	113	-	13,2	°C
Maximum service temperature	82,9	-	112	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,04	-	0,059	W/m.°C
Specific heat capacity	1,75e3	-	2,26e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	115	-	220	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e20	-	1e23	µohm.cm
Dielectric constant	1,15	-	1,2	
Dissipation factor	5e-4	-	0,003	
Dielectric strength	4	-	7	1000000 V/m

Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	103	-	114	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	4,28	-	4,73	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Flexible foams have characteristics that suit them for cushioning and packaging of delicate objects. They are shaped by injecting or pouring a mix of polymer, catalyst and foaming agent into a mold where the agent evolves gas, expanding the foam. Expanding in a cold mold gives a solid surface skin. Closed cell foams float in water; open cell foams absorb liquids and act as sponges.

Technical notes: The properties of foams depend, most directly, on the material of which they are made and on the relative density (the fraction of the foam that is solid). Most commercial foams have a relative density between 1% and 30%. To a lesser extent, the properties depend on the size and the shape of the cells. Low density, closed cell, foams have exceptional low thermal conductivity. Skinned rigid foams have good bending stiffness and strength of low weight.

Typical uses: Packaging, buoyancy, cushioning, sleeping mats, soft furnishings, artificial skin, sponges, carriers for inks and dyes.

Flexible Polymer Foam (MD)

Density	70	-	115	kg/m^3
Price	2,33	-	2,49	EUR/kg
Date first used	1947			

Young’s modulus	0,004	-	0,012	GPa
Shear modulus	0,002	-	0,005	GPa
Bulk modulus	0,004	-	0,012	GPa
Poisson’s ratio	0,26	-	0,33	
Yield strength (elastic limit)	0,048	-	0,7	MPa
Tensile strength	0,43	-	2,95	MPa
Compressive strength	0,048	-	0,7	MPa
Elongation	9	-	115	% strain
Hardness - Vickers	0,0048	-	0,07	HV

Fatigue strength at 10^7 cycles	0,34	-	2,5	MPa
Fracture toughness	0,03	-	0,09	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,1	-	0,5	

Melting point	112	-	177	°C
Glass temperature	113	-	13,2	°C
Maximum service temperature	82,9	-	112	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,041	-	0,078	W/m.°C
Specific heat capacity	1,75e3	-	2,26e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	115	-	220	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e20	-	1e23	µohm.cm
Dielectric constant	1,2	-	1,3	
Dissipation factor	5e-4	-	0,003	
Dielectric strength	4	-	6	1000000 V/m

Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	100	-	111	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	3,43	-	3,79	kg/kg
Recycle	False			

Suporting information
Design guidelines: Flexible foams have characteristics that suit them for cushioning and packaging of delicate objects. They are shaped by injecting or pouring a mix of polymer, catalyst and foaming agent into a mold where the agent evolves gas, expanding the foam. Expanding in a cold mold gives a solid surface skin. Closed cell foams float in water; open cell foams absorb liquids and act as sponges.

Technical notes: The properties of foams depend, most directly, on the material of which they are made and on the relative density (the fraction of the foam that is solid). Most commercial foams have a relative density between 1% and 30%. To a lesser extent, the properties depend on the size and the shape of the cells. Low density, closed cell, foams have exceptional low thermal conductivity.

Skinned rigid foams have good bending stiffness and strength of low weight.
Typical uses: Packaging, buoyancy, cushioning, sleeping mats, soft furnishings, artificial skin, sponges, carriers for inks and dyes.

Paper and cardboard

Density	480	-	860	kg/m^3
Price	0,741	-	0,906	EUR/kg
Date first used	105			

Young’s modulus	3	-	8,9	GPa
Shear modulus	1	-	2	GPa
Bulk modulus	2	-	4	GPa
Poisson’s ratio	0,38	-	0,41	
Yield strength (elastic limit)	15	-	34	MPa
Tensile strength	23	-	51	MPa
Compressive strength	41	-	55	MPa
Elongation	0,75	-	2	% strain
Hardness - Vickers	4	-	9	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	13	-	24	MPa
Fracture toughness	6	-	10	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,05	-	0,2	

Glass temperature	47	-	67	°C
Maximum service temperature	77	-	130	°C
Minimum service temperature	273			°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,06	-	0,17	W/m.°C
Specific heat capacity	1,34e3	-	1,4e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	5	-	20	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e13	-	1e15	µohm.cm
Dielectric constant	2,5	-	6	
Dissipation factor	0,015	-	0,04	
Dielectric strength	0,2	-	0,3	1000000 V/m

Young's modulus	0,0014	-	0,004	GPa	Polystyrene (PS)	Density	1,04e3	-	1,05e3	kg/m^3
Shear modulus	4e-4	-	6e-4	GPa		Price	2,59	-	2,85	EUR/kg
Bulk modulus	1,45	-	1,55	GPa		Date first used	1937			
Poisson's ratio	0,499	-	0,5							
Yield strength (elastic limit)	20	-	25	MPa		Young's modulus	1,2	-	2,6	GPa
Tensile strength	20	-	25	MPa		Shear modulus	0,5	-	0,9	GPa
Compressive strength	23	-	25	MPa		Bulk modulus	2,9	-	3,1	GPa
Elongation	500	-	550	% strain		Poisson's ratio	0,383	-	0,403	
Fatigue strength at 10^7 cycles	3,45	-	7	MPa		Yield strength (elastic limit)	28,7	-	56,2	MPa
Fracture toughness	0,07	-	0,1	MPa.m^0.5		Tensile strength	35,9	-	56,5	MPa
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,82	-	2			Compressive strength	31,6	-	61,8	MPa
						Elongation	1,2	-	3,6	% strain
Glass temperature	83,2	-	78,2	°C		Hardness - Vickers	8,6	-	16,9	HV
Maximum service temperature	96,9	-	117	°C		Fatigue strength at 10^7 cycles	14,4	-	23	MPa
Minimum service temperature	53,2	-	43,2	°C		Fracture toughness	0,7	-	1,1	MPa.m^0.5
Thermal conductor or insulator?	Good insulator					Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,012	-	0,0175	
Thermal conductivity	0,08	-	0,14	W/m.°C		Glass temperature	73,9	-	110	°C
Specific heat capacity	1,8e3	-	2,5e3	J/kg.°C		Maximum service temperature	76,9	-	103	°C
Thermal expansion coefficient	150	-	450	µstrain/°C		Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Electrical conductor or insulator?	Good insulator					Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e15	-	1e16	µohm.cm		Thermal conductivity	0,121	-	0,131	W/m.°C
Dielectric constant	2,5	-	3			Specific heat capacity	1,69e3	-	1,76e3	J/kg.°C
Dissipation factor	2e-4	-	0,002			Thermal expansion coefficient	90	-	153	µstrain/°C
Dielectric strength	16	-	23	1000000 V/m		Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Transparency	Translucent					Electrical resistivity	1e25	-	1e27	µohm.cm
Refractive index	1,51	-	1,53			Dielectric constant	3	-	3,2	
Embodied energy, primary production	99,1	-	110	MJ/kg		Dissipation factor	0,001	-	0,003	
CO2 footprint, primary production	5,11	-	5,65	kg/kg		Dielectric strength	19,7	-	22,6	1000000 V/m
Recycle	False					Transparency	Optical Quality			
Supporting information						Refractive index	1,57	-	1,59	
Design guidelines: Isoprene has low hysteresis and high tear resistance, making it bouncy and tough.						Embodied energy, primary production	92,1	-	102	MJ/kg
Typical uses :Car tires and inner tubes, seals, belts, anti-vibration mounts, electrical insulation, tubing, rubber lining pipes and pumps, shoes.						CO2 footprint, primary production	3,61	-	3,99	kg/kg
						Recycle	True			

Supporting information						Natural rubber (NR)				
Design guidelines: PS comes in 3 guises: as the simple material ('general purpose PS'); as the high impact variant, blended with polybutadiene; and as polystyrene foam, the most familiar and cheapest of all polymer foams. All are FDA approved for use as food containers and packaging. General purpose PS is easy to mold. Its extreme clarity, ability to be colored, and high refractive index give it a glass-like sparkle, but it is brittle and cracks easily (think of CD cases). It is used when the optical attractiveness and the low cost are sought, and the mechanical loading is light: cosmetic compacts, transparent but disposable glasses, cassettes of all kinds. Medium and high impact polystyrenes trade their optical for their mechanical properties. Medium impact PS, translucent, appears in electrical switch gears and circuit breakers, coat hangers and combs. High impact PS - a blend of PPO and PS, is opaque, but is tough and copes better with low temperatures than most plastics; it is found in interiors of refrigerators and freezers, and in food trays such as those for margarine and yogurt. Other styrene blends, like Kraton, have low tensile strength and higher elongation than SBR or natural rubber. PS can be foamed to a very low density (roughly 1/3 of all polystyrene in foamed). These foams have low thermal conduction and are cheap, and so are used for house insulation, jackets for water boilers, insulation for disposable cups. They crush at loads that do not cause injury to delicate objects (such as TV sets or to the human body), making them good for packaging.						Density	920	-	930	kg/m^3
						Price	3,1	-	3,41	EUR/kg
						Date first used	1751			
						Young's modulus	0,0015	-	0,0025	GPa
						Shear modulus	6e-4	-	8e-4	GPa
						Bulk modulus	1,4	-	1,5	GPa
						Poisson's ratio	0,499	-	0,5	
						Yield strength (elastic limit)	20	-	30	MPa
						Tensile strength	22	-	32	MPa
						Compressive strength	22	-	33	MPa
						Elongation	500	-	800	% strain
						Fatigue strength at 10^7 cycles	4,2	-	4,5	MPa
						Fracture toughness	0,15	-	0,25	MPa.m^0.5
						Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,8	-	1,9	
						Glass temperature	78,2	-	63,2	°C
						Maximum service temperature	68,9	-	107	°C
						Minimum service temperature	56,2	-	43,2	°C
						Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
						Thermal conductivity	0,1	-	0,14	W/m.°C
						Specific heat capacity	1,8e3	-	2,5e3	J/kg.°C
						Thermal expansion coefficient	150	-	450	µstrain/°C
						Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
						Electrical resistivity	1e15	-	1e16	µohm.cm
						Dielectric constant	3	-	4,5	
						Dissipation factor	7e-4	-	0,003	
						Dielectric strength	16	-	23	1000000 V/m
						Transparency	Translucent			
						Embodied energy, primary production	64,2	-	71	MJ/kg
						CO2 footprint, primary production	1,97	-	2,18	kg/kg
						Recycle	False			

Supporting information

Design guidelines: Natural rubber is an excellent, cheap, general-purpose elastomer with large stretch capacity and useful properties from -50 C to 115 C, but with poor oil, oxidation, ozone and UV resistance. It has low hysteresis - and is thus very bouncy.

Typical uses: Gloves, Car tires, seals, belts, anti-vibration mounts, electrical insulation, tubing, rubber lining pipes and pumps.

Bamboo

Density	600	-	800	kg/m^3
Price	1	-	1,5	EUR/kg
Date first used	-5000			
Young's modulus	15	-	20	GPa
Shear modulus	0,8	-	1,36	GPa
Bulk modulus	0,77	-	1,1	GPa
Poisson's ratio	0,03	-	0,46	
Yield strength (elastic limit)	35	-	44	MPa
Tensile strength	36	-	45	MPa
Compressive strength	50	-	100	MPa
Elongation	2,88	-	5,5	% strain
Hardness - Vickers	2	-	12	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	25	-	35	MPa
Fracture toughness	5	-	7	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,012	-	0,022	

Glass temperature	76,9	-	102	°C
Maximum service temperature	117	-	137	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,1	-	0,18	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	2,6	-	10	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	6e13	-	7e14	µohm.cm

Dielectric constant	5	-	7	
Dissipation factor	0,07	-	0,1	
Dielectric strength	0,5	-	1	1000000 V/m

Transparency	Opaque			
--------------	--------	--	--	--

Embodied energy, primary production	4,1	-	6	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,299	-	0,33	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information

Design guidelines: The stems of bamboo are hollow and jointed, and have an extremely hard, durable, outer surface. Its natural tubular structure gives it excellent bending stiffness and strength at low weight. It is joined by binding; fasteners requiring holes must be avoided. The wood is visually appealing and hardwearing, making it attractive for flooring and furniture as well as its other diverse uses.

Technical notes: Bamboo is a grass, not a tree. It grows most commonly in Indonesia, The Philippines and Southern Asia where it is one of the principal structural materials.

Typical uses: Building & construction; scaffolding; furniture; pulp & paper making; ropes; reinforcement for concrete; frames for early aircraft, pipes, baskets, walking sticks, fishing poles, window blinds, mats, arrows and furniture.

Polypropylene (PP)

Density	890	-	910	kg/m^3
Price	1,19	-	1,41	EUR/kg
Date first used	1957			

Young's modulus	0,896	-	1,55	GPa
Shear modulus	0,316	-	0,548	GPa
Bulk modulus	2,5	-	2,6	GPa
Poisson's ratio	0,405	-	0,427	
Yield strength (elastic limit)	20,7	-	37,2	MPa
Tensile strength	27,6	-	41,4	MPa

Compressive strength	25,1	-	55,2	MPa
Elongation	100	-	600	% strain
Hardness - Vickers	6,2	-	11,2	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	11	-	16,6	MPa
Fracture toughness	3	-	4,5	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,0258	-	0,0446	
Melting point	150	-	175	°C
Glass temperature	25,2	-	15,2	°C
Maximum service temperature	100	-	115	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,113	-	0,167	W/m.°C
Specific heat capacity	1,87e3	-	1,96e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	122	-	180	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,3e22	-	3e23	µohm.cm
Dielectric constant	2,1	-	2,3	
Dissipation factor	3e-4	-	7e-4	
Dielectric strength	22,7	-	24,6	1000000 V/m

Transparency	Translucent			
--------------	-------------	--	--	--

Embodied energy, primary production	75,7	-	83,7	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,96	-	3,27	kg/kg
Recycle	True			

Supporting information

Design guidelines: Standard grade PP is inexpensive, light and ductile but it has low strength. It is more rigid than PE and can be used at higher temperatures. The properties of PP are similar to those of HDPE but it is stiffer and melts at a higher temperature (165 - 170 C). Stiffness and strength can be improved further by reinforcing with glass, chalk or talc. When drawn to fiber PP has exceptional strength and resilience; this, together with its resistance to water, makes it attractive for ropes and fabric. It is more easily molded than PE, has good transparency and can accept a wider, more vivid range of colors. PP is commonly produced as sheet, moldings fibers or it can be foamed. Advances in catalysis

promise new co-polymers of PP with more attractive combinations of toughness, stability and ease of processing. Mono-filaments fibers have high abrasion resistance and are almost twice as strong as PE fibers. Multi-filament yarn or rope does not absorb water, will float on water and dyes easily.

Technical notes: The many different grades of polypropylene fall into three basic groups: homopolymers (polypropylene, with a range of molecular weights and thus properties), co-polymers (made by co-Polymerization of propylene with other olefines such as ethylene, butylene or styrene) and composites (polypropylene reinforced with mica, talc, glass powder or fibers) that are stiffer and better able to resist heat than simple polypropylenes.

Typical uses: Ropes, general polymer engineering, automobile air ducting, parcel shelving and air-cleaners, garden furniture, washing machine tank, wet-cell battery cases, pipes and pipe fittings, beer bottle crates, chair shells, capacitor dielectrics, cable insulation, kitchen kettles, car bumpers, shatter proof glasses, crates, suitcases, artificial turf, thermal underwear.

Hardwood: oak, across grain

Density	850	-	1,13e3	kg/m^3
Price	0,494	-	0,547	EUR/kg
Date first used	-10000			

Young's modulus	4,5	-	5,8	GPa
Shear modulus	1,5	-	1,8	GPa
Bulk modulus	2,5	-	2,8	GPa
Poisson's ratio	0,02	-	0,04	
Yield strength (elastic limit)	4	-	5,9	MPa
Tensile strength	7,1	-	8,7	MPa
Compressive strength	12,7	-	15,6	MPa
Elongation	1	-	1,5	% strain
Hardness - Vickers	10	-	12	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	2,1	-	2,6	MPa
Fracture toughness	0,8	-	1	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,02	-	0,05	

Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	100	-	70	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,16	-	0,2	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	37	-	49	µstrain/°C
Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	2,1e14	-	7e14	µohm.cm
Dielectric constant	5	-	6	
Dissipation factor	0,1	-	0,15	
Dielectric strength	0,4	-	0,6	1000000 V/m
Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	9,82	-	10,9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,841	-	0,93	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information

Design guidelines: Wood offers a remarkable combination of properties. It is light, and, parallel to the grain, it is stiff, strong and tough - as good, per unit weight, as any man-made material except CFRP. It is cheap, it is renewable, and the fossil-fuel energy needed to cultivate and harvest it is outweighed by the energy it captures from the sun during growth. It is easily machined, carved and joined, and - when laminated - it can be molded to complex shapes. And it is aesthetically pleasing, warm both in color and feel, and with associations of craftsmanship and quality.

Technical notes: The values for the mechanical properties given for woods require explanation. Wood-science laboratories measure the mean properties of high-quality “clear” wood samples: small specimens with no knots or other defects; the data for woods in the Level 3 CES database is of this type. This is not, however, the data needed for design. All engineering materials have some variability in quality and properties. To allow for this design handbooks list “allowables” - property values that will be met or exceeded by, say, 99% of all samples (meaning the mean value minus 2.33 standard deviations). Natural materials like wood show greater variability than man-made materials like steel, with the result that the allowable

values for mechanical properties may be only 50% of the mean. There is a second problem: structures made of wood are much larger than the wood-science test samples. They contain knots, shakes and sloping grain, all of which degrade properties. To deal with this the wood is “stress-graded” by visual inspection or by automated methods, assigning each piece a stress grading G between 0 and 100: a grading of G means that properties are further knocked down by the factor G/100. Finally, in building construction, there is the usual requirement of sound practice - an overall safety factor, typically 2.25. The result is that the permitted stress for design may be as low as 20% of the value quoted in wood-science tabulations. The data in this record is for oak of medium density, and lists wood-science ranges for the properties of clear wood samples. Wood prices are quoted in Board Feet (BF). 1 BF is 144 cubic inches. Here we list prices in the usual \$/kg.

Cellulose polymers (CA)

Density	980	-	1,3e3	kg/m^3
Price	3,08	-	3,39	EUR/kg
Date first used	1894			

Mechanical properties

Young’s modulus		1,6	-	2	GPa
Shear modulus	0,146	-	1,47		GPa
Bulk modulus	3	-	3,2		GPa
Poisson’s ratio	0,383	-	0,438		
Yield strength (elastic limit)	25	-	45		MPa
Tensile strength	25	-	50		MPa
Compressive strength	27,5	-	49,5		MPa
Elongation	5	-	50		% strain
Hardness - Vickers	10	-	15		HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	10	-	20		MPa
Fracture toughness	1	-	2,5		MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,00976	-		0,0966	

Glass temperature	9,15	-	107	°C
Maximum service temperature	52,9	-	89,9	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C

Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,13	-	0,3	W/m.°C
Specific heat capacity	1,39e3	-	1,67e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	150	-	300	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e17	-	4,5e20	µohm.cm
Dielectric constant	3	-	5	
Dissipation factor	0,005	-	0,01	
Dielectric strength	12	-	18	1000000 V/m

Transparency	Optical Quality			
Embodied energy, primary production	85,4	-	94,4	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	3,62	-	4	kg/kg
Recycle	True			

Supporting information

Design guidelines: Cellulose materials have good optical transparency (up to 90%) and mechanical properties; they are often used in products where surface finish is important. They can be translucent, transparent or opaque and come in a range of colors including pearlescent, opaque or metallic. Cellulose materials are anti-static and so dust does not stick to the surface. They have glossy surfaces and a self-polishing effect that allows surface scratches to disappear with use. They can be formulated for outdoor use. Cellulose acetates have a high vapor permeability and limited heat resistance; their electrical insulation and dimensional stability are poor; water absorption is high compared with PVC. Compared with CA, CAB and CAP are slightly softer, of lower densities and heat distortion temperatures and they flow more easily. CAB and CAP have a wider operating temperature range (0 to 60 C). In bulk, cellulose acetate often has a light yellow-brown color but it can also attain water, white transparency. Cellulose is easily made into fibers, fabrics and films, known under the trade name of Rayon. It has excellent flow properties and so is well-suited to injection molding but the resin must be kept dry. Stiffer flow grades are available for extrusion to produce film and sheet. These polymers are also some of the best for cutting, turning and milling. CAB is well-suited for thermoforming.

Technical notes: Grades of cellulose materials are varied by increasing the level of acid-treatment or by adding plasticizers. Increasing the plasticizer increases flow and toughness but reduces the creep resistance. But this lack of creep resistance can be used to an advantage in molding where parts can be shot in without problems because the stresses will relax quite quickly.

Typical uses: Tool handles; panels for illuminated signs; steering wheels; bathroom fittings; decorative trim for cars and consumer durables; drawing stencils; pens; pneumatic system traps; blister packaging; laminating with aluminum foil; Spectacle frames; lenses; goggles; tool handles; covers for television screens; cutlery handles.

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

Density	1,01e3	-	1,21e3	kg/m^3
Price	1,96	-	2,16	EUR/kg
Date first used	1937			
Young’s modulus	1,1	-	2,9	GPa
Shear modulus	0,319	-	1,03	GPa
Bulk modulus	3,8	-	4	GPa
Poisson’s ratio	0,391	-	0,422	
Yield strength (elastic limit)	18,5	-	51	MPa
Tensile strength	27,6	-	55,2	MPa
Compressive strength	31	-	86,2	MPa
Elongation	1,5	-	100	% strain
Hardness - Vickers	5,6	-	15,3	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	11	-	22,1	MPa
Fracture toughness	1,19	-	4,29	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,0138	-	0,0446	

Glass temperature	87,9	-	128	°C
Maximum service temperature	61,9	-	76,9	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,188	-	0,335	W/m.°C
Specific heat capacity	1,39e3	-	1,92e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	84,6	-	234	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,3e21	-	3e22	μohm.cm
Dielectric constant	2,8	-	3,2	
Dissipation factor	0,003	-	0,007	
Dielectric strength	13,8	-	21,7	1000000 V/m
Transparency	Opaque			
Refractive index	1,53	-	1,54	
Embodied energy, primary production	90,3	-	99,9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	3,64	-	4,03	kg/kg
Recycle	True			

Supporting information

Design guidelines: ABS has the highest impact resistance of all polymers. It takes color well. Integral metallics are possible (as in GE Plastics’ Magix.) ABS is UV resistant for outdoor application if stabilizers are added. It is hygroscopic (may need to be oven dried before thermoforming) and can be damaged by petroleum-based machining oils. ASA (acrylic-styrene-acrylonitrile) has very high gloss; its natural color is off-white but others are available. It has good chemical and temperature resistance and high impact resistance at low temperatures. UL-approved grades are available. SAN (styrene-acrylonitrile) has the good processing attributes of polystyrene but greater strength, stiffness, toughness, and chemical and heat resistance. By adding glass fiber the rigidity can be increased dramatically. It is transparent (over 90% in the visible range but less for UV light) and has good color, depending on the amount of acrylonitrile that is added this can vary from water white to pale yellow, but without a protective coating, sunlight causes yellowing and loss of strength, slowed by UV stabilizers. All three can be extruded, compression molded or formed to sheet that is then vacuum thermo-formed. They can be joined by ultrasonic or hot-plate welding, or bonded with polyester, epoxy, isocyanate or nitrile-phenolic adhesives.

Technical notes: ABS is a terpolymer - one made by copolymerizing 3 monomers: acrylonitrile, butadiene and styrene. The acrylonitrile gives thermal and chemical resistance, rubber-like butadiene gives ductility and strength, the styrene gives a glossy surface, ease of machining and a lower cost. In ASA, the butadiene component (which gives poor UV resistance) is replaced by an acrylic ester. Without the addition of butyl, ABS becomes, SAN - a similar material with lower

impact resistance or toughness. It is the stiffest of the thermoplastics and has excellent resistance to acids, alkalis, salts and many solvents.

Typical uses: Safety helmets; camper tops; automotive instrument panels and other interior components; pipe fittings; home-security devices and housings for small appliances; communications equipment; business machines; plumbing hardware; automobile grilles; wheel covers; mirror housings; refrigerator liners; luggage shells; tote trays; mower shrouds; boat hulls; large components for recreational vehicles; weather seals; glass beading; refrigerator breaker strips; conduit; pipe for drain-waste-vent (DWV) systems.

Tradenames: Claradex, Comalloy, Cycogel, Cycolac, Hanalac, Lastilac, Lupos, Lustran ABS, Magnum, Multibase, Novodur, Polyfabs, Polylac, Porene, Ronfalin, Sinkral, Terluran, Toyolac, Tufrex, Ultrastyr

Ionomer (I)				
Density	930	-	960	kg/m^3
Price	2,4	-	3,14	EUR/kg
Date first used	1965			
Young’s modulus	0,2	-	0,424	GPa
Shear modulus	0,0485	-	0,147	GPa
Bulk modulus	1	-	1,3	GPa
Poisson’s ratio	0,436	-	0,453	
Yield strength (elastic limit)	8,27	-	15,9	MPa
Tensile strength	17,2	-	37,2	MPa
Compressive strength	9,1	-	17,5	MPa
Elongation	300	-	700	% strain
Hardness - Vickers	2,5	-	4,8	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	6,88	-	14,9	MPa
Fracture toughness	1,14	-	3,43	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,0943	-	0,286	
Melting point	80,9	-	95,9	°C
Glass temperature	30	-	64	°C
Maximum service temperature	48,9	-	61,9	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C

Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,239	-	0,276	W/m.°C
Specific heat capacity	1,81e3	-	1,89e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	180	-	306	μstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,3e21	-	3e22	μohm.cm
Dielectric constant	2,2	-	2,4	
Dissipation factor	0,00295	-	0,00305	
Dielectric strength	15,7	-	17,7	1000000 V/m

Transparency	Transparent			
Refractive index	1,5	-	1,52	

Embodied energy, primary production	102	-	112	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	3,96	-	4,37	kg/kg
Recycle	True			

Supporting information

Design guidelines: Ionomers are very tough, they have high tensile strength and excellent impact, tear, grease and abrasion resistance. Optical clarity is also quite high. They are most often produced as film. Ionomers have outstanding hot tack (10 times that of LDPE). Their resistance to weather is similar to that of PE, and like PE, they can be stabilized with the addition of carbon black. Permeability is also similar to that of PE, except for carbon dioxide where the permeability is lower. Low temperature flexibility is excellent but they should not be used at temperatures above 71 C. Because of the ionic nature of the molecules, ionomers have good adhesion to metal foil, nylon and other packaging films. Foil and extrusion coating are common. Ionomers have higher moisture vapor permeability (due to the low crystallinity) than polyethylene, are easily sealed by heat and retain their resilience over a wide temperature range.

Technical notes: Ionomers are co-polymers of ethylene and methacrylic acid. Some grades contain sodium and those have better optical properties and grease resistance; some contain zinc and have better adhesion. The ionic crosslinks are stable at room temperature, but break down upon heating above about 40 C. The advantages of crosslinking are seen in the room temperature toughness and

stiffness. At high temperatures the advantages of linear thermoplastics appear - ease of processing and recyclability.

Typical uses: Food packaging, athletic soles with metal inserts, ski boots, ice skate shells, wrestling mats, thermal pipe insulation, license plate holders, golf ball covers, automotive bumpers, snack food packaging, blister packs, bottles.

Softwood: pine, along grain				
Density	440	-	600	kg/m^3
Price	0,502	-	1	EUR/kg
Date first used	-10000			
Young’s modulus	8,4	-	10,3	GPa
Shear modulus	0,62	-	0,76	GPa
Bulk modulus	0,37	-	0,41	GPa
Poisson’s ratio	0,35	-	0,4	
Yield strength (elastic limit)	35	-	45	MPa
Tensile strength	60	-	100	MPa
Compressive strength	35	-	43	MPa
Elongation	1,99	-	2,43	% strain
Hardness - Vickers	3	-	4	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	19	-	23	MPa
Fracture toughness	3,4	-	4,1	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,007	-	0,01	
Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	100	-	70	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,22	-	0,3	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	2,5	-	9	μstrain/°C
Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	6e13	-	2e14	μohm.cm
Dielectric constant	5	-	6,2	
Dissipation factor	0,05	-	0,1	

Dielectric strength	0,4	-	0,6	1000000 V/m
Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	8,77	-	9,7	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,358	-	0,396	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Wood offers a remarkable combination of properties. It is light, and, parallel to the grain, it is stiff, strong and tough - as good, per unit weight, as any man-made material except CFRP. It is cheap, it is renewable, and the fossil-fuel energy needed to cultivate and harvest it is outweighed by the energy it captures from the sun during growth. It is easily machined, carved and joined, and - when laminated - it can be molded to complex shapes. And it is aesthetically pleasing, warm both in color and feel, and with associations of craftsmanship and quality.

Technical notes: The values for the mechanical properties given for woods require explanation. Wood-science laboratories measure the mean properties of high-quality “clear” wood samples: small specimens with no knots or other defects; the data for woods in the Level 3 CES database is of this type. This is not, however, the data needed for design. All engineering materials have some variability in quality and properties. To allow for this design handbooks list “allowables” - property values that will be met or exceeded by, say, 99% of all samples (meaning the mean value minus 2.33 standard deviations). Natural materials like wood show greater variability than man-made materials like steel, with the result that the allowable values for mechanical properties may be only 50% of the mean. There is a second problem: structures made of wood are much larger than the wood-science test samples. They contain knots, shakes and sloping grain, all of which degrade properties. To deal with this the wood is “stress-graded” by visual inspection or by automated methods, assigning each piece a stress grading G between 0 and 100: a grading of G means that properties are further knocked down by the factor G/100. Finally, in building construction, there is the usual requirement of sound practice - an overall safety factor, typically 2.25. The result is that the permitted stress for design may be as low as 20% of the value quoted in wood-science tabulations. The data in this record is for Scots pine of medium density, and lists wood-science ranges for the properties of clear wood samples.

Wood prices are quoted in Board Feet (BF). 1 BF is 144 cubic inches. Here we list prices in the usual \$/kg.

Typical uses: Flooring; furniture; containers; cooperage; sleepers (when treated); building construction; boxes; crates and pallets; planing-mill products; sub-flooring; sheathing and as the feedstock for plywood, particleboard and hardboard.

Polyurethane

Density	1,02e3	-	1,25e3	kg/m^3
Price	4,39	-	4,82	EUR/kg
Date first used	1941			

Young’s modulus	0,002	-	0,03	GPa
Shear modulus	7e-4	-	0,008	GPa
Bulk modulus	1,5	-	1,6	GPa
Poisson’s ratio	0,49	-	0,498	
Yield strength (elastic limit)	25	-	51	MPa
Tensile strength	25	-	51	MPa
Compressive strength	50	-	100	MPa
Elongation	380	-	720	% strain
Fatigue strength at 10^7 cycles	18,8	-	38,3	MPa
Fracture toughness	0,2	-	0,4	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,51	-	1,2	

Glass temperature	73,2	-	23,2	°C
Maximum service temperature	66,9	-	86,9	°C
Minimum service temperature	73,2	-	23,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,28	-	0,3	W/m.°C
Specific heat capacity	1,65e3	-	1,7e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	150	-	165	μstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	1e18	-	1e22	μohm.cm
Dielectric constant	5	-	9	
Dissipation factor	0,003	-	0,009	
Dielectric strength	16	-	22	1000000 V/m

Transparency	Translucent			
Embodied energy, primary production	82,7	-	91,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	3,52	-	3,89	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Urethanes have exceptional strength (up to 48 MPa) and abrasion resistance, low compression set and good fuel resistance. They have useful properties from -55 C to 90 C

Technical notes: Urethane elastomers (elPU) are co-polymers of diisocyanate and polyester.

Typical uses: Cushioning; packaging; shoe soles; tires; fuel hoses; gears; bearings; car bumpers; adhesives; fabric-coating.

Polyester

Density	1,04e3	-	1,4e3	kg/m^3
Price	1,72	-	1,89	EUR/kg
Date first used	1942			

Young’s modulus	2,07	-	4,41	GPa
Shear modulus	0,744	-	1,59	GPa
Bulk modulus	4,5	-	4,7	GPa
Poisson’s ratio	0,381	-	0,403	
Yield strength (elastic limit)	33	-	40	MPa
Tensile strength	41,4	-	89,6	MPa
Compressive strength	36,3	-	44	MPa
Elongation	2	-	2,6	% strain
Hardness - Vickers	9,9	-	21,5	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	16,6	-	35,8	MPa
Fracture toughness	1,09	-	1,69	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,00907	-	0,0193	

Glass temperature	147	-	207	°C
Maximum service temperature	130	-	150	°C

Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,287	-	0,299	W/m.°C
Specific heat capacity	1,51e3	-	1,57e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	99	-	180	μstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,3e18	-	3e19	μohm.cm
Dielectric constant	2,8	-	3,3	
Dissipation factor	0,001	-	0,03	
Dielectric strength	15	-	19,7	1000000 V/m

Transparency	Transparent			
Refractive index	1,54	-	1,57	

Embodied energy, primary production	67,7	-	74,9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,83	-	3,12	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Thermosetting polyesters are the cheapest resins for making glass or carbon fiber composites, but they have lower strength than epoxies. They can be formulated to cure at or above room temperature. Modifications can improve the chemical resistance, UV resistance and heat resistance without too much change in the ease of processing. Polyester elastomers have relatively high moduli and are stronger than polyurethanes. They have good melt flow properties, low shrinkage, good resistance to oils and fuels. Polyester can be made conductive by adding 30% carbon fiber. As a tape, Mylar is used for magnetic sound recording. Unfilled polyester thermosetting resins are normally used as surface coatings but they tend to be brittle. of Thermosetting polyester has a corroding influence on copper

Technical notes: Polyesters are made by a condensation reaction of an alcohol like ethyl alcohol (the one in beer) and an organic acid like acetic acid (the one in vinegar). The two react, releasing water, and forming an ester.

Typical uses: Laminated structures; Surface gel coatings; Liquid castings; Furniture products; Bowling balls; Simulated marble; Sewer pipe gaskets; Pistol grips; Television tube implosion barriers; Boats; Truck cabs; Concrete forms; Lamp housings; Skylights; Fishing rods.

Ethylene vinyl acetate (EVA)

Density	945	-	955	kg/m^3
Price	1,5	-	1,65	EUR/kg
Date first used	1972			

Young’s modulus	0,01	-	0,04	GPa
Shear modulus	0,008	-	0,01	GPa
Bulk modulus	1,3	-	1,4	GPa
Poisson’s ratio	0,47	-	0,49	
Yield strength (elastic limit)	12	-	18	MPa
Tensile strength	16	-	20	MPa
Compressive strength	13,2	-	19,8	MPa
Elongation	730	-	770	% strain
Fatigue strength at 10^7 cycles	12	-	12,8	MPa
Fracture toughness	0,5	-	0,7	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,34	-	0,83	

Glass temperature	73,2	-	23,2	°C
Maximum service temperature	46,9	-	51,9	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,3	-	0,4	W/m.°C
Specific heat capacity	2e3	-	2,2e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	160	-	190	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,16e21	-	1e22	µohm.cm
Dielectric constant	2,9	-	2,95	
Dissipation factor	0,005	-	0,022	
Dielectric strength	26,5	-	27	1000000 V/m

Transparency	Translucent			
Refractive index	1,48	-	1,49	
Embodied energy, primary production	75	-	82,8	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2	-	2,21	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: EVA is available in pastel or deep hues, it has good clarity and gloss. It has good barrier properties, little or no odor, is UV resistance and FDA-approval for direct food contact. The toughness and flexibility is retained even at low temperatures and it has good stress-crack resistance and good chemical resistance. EVA can be processed by most normal thermoplastic processes: co-extrusion for films, blow molding, rotational molding, injection molding and transfer molding.

Typical uses: Medical tubes, milk packaging, beer dispensing equipment, bags, shrink film, deep freeze bags, co-extruded and laminated film, closures, ice trays, gaskets, gloves, cable insulation, inflatable parts, running shoes.

Plywood

Density	700	-	800	kg/m^3
Price	0,412	-	0,457	EUR/kg
Date first used	1907			

Young’s modulus	6,9	-	13	GPa
Shear modulus	0,5	-	2	GPa
Bulk modulus	1,6	-	2,5	GPa
Poisson’s ratio	0,22	-	0,3	
Yield strength (elastic limit)	9	-	30	MPa
Tensile strength	10	-	44	MPa
Compressive strength	8	-	25	MPa
Elongation	2,4	-	3	% strain
Hardness - Vickers	3	-	9	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	7	-	16	MPa
Fracture toughness	1	-	1,8	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,008	-	0,11	

Glass temperature	120	-	140	°C
Maximum service temperature	100	-	130	°C
Minimum service temperature	100	-	70	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,3	-	0,5	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	6	-	8	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	6e13	-	2e14	µohm.cm
Dielectric constant	6	-	8	
Dissipation factor	0,05	-	0,09	
Dielectric strength	0,4	-	0,6	1000000 V/m

Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	13,8	-	15,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,786	-	0,869	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Plywoods offers high strength at low weight. Those for general construction are made from softwood plys, but the way in which plywood is made allows for great flexibility. For aesthetic purposes, hardwoods can be used for the outermost plys, giving “paneling plywoods” faced with walnut, mahogany or other expensive woods on a core of softwood. Those for ultra-light design have hardwood outer plys on a core of balsa. Metal-faced plywoods can be riveted. Curved moldings for furniture such as chairs are made by laying-up the unbonded plys in a shaped mold and curing the adhesive under pressure using an airbag or matching mold. Singly curved shapes are straightforward; double curvatures should be minimized or avoided.

Technical notes: Low cost plywoods are bonded with starch or animal glues and are not water resistant -- they are used for boxes and internal construction. Waterproof and marine plywoods are bonded with synthetic resin -- they are used for external paneling and general construction.

Typical uses: Furniture, building and construction, marine and boat building, packaging, transport and vehicles, musical instruments, aircraft, modeling.

Polyethylene (PE)

Density	939	-	960	kg/m^3
Price	1,32	-	1,45	EUR/kg
Date first used	1936			

Young’s modulus	0,621	-	0,896	GPa
Shear modulus	0,218	-	0,314	GPa
Bulk modulus	2,15	-	2,25	GPa
Poisson’s ratio	0,418	-	0,434	
Yield strength (elastic limit)	17,9	-	29	MPa
Tensile strength	20,7	-	44,8	MPa
Compressive strength	19,7	-	31,9	MPa
Elongation	200	-	800	% strain
Hardness - Vickers	5,4	-	8,7	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	21	-	23	MPa
Fracture toughness	1,44	-	1,72	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,0446	-	0,0644	

Melting point	125	-	132	°C
Glass temperature	25,2	-	15,2	°C
Maximum service temperature	90	-	110	°C
Minimum service temperature	123	-	73,2	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,403	-	0,435	W/m.°C
Specific heat capacity	1,81e3	-	1,88e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	126	-	198	µstrain/°C

Electrical conductor or insulator?	Good insulator			
Electrical resistivity	3,3e22	-	3e24	µohm.cm
Dielectric constant	2,2	-	2,4	
Dissipation factor	3e-4	-	6e-4	
Dielectric strength	17,7	-	19,7	1000000 V/m

Transparency	Translucent			
Refractive index	1,5	-	1,52	
Embodied energy, primary production	77	-	85,1	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,64	-	2,92	kg/kg
Recycle	True			

Supporting information
Design guidelines: PE is commercially produced as film, sheet, rod, foam and fiber. Drawn PE fiber has exceptional mechanical stiffness and strength, exploited in geo-textile and structural uses. PE is a good electrical insulator with low dielectric loss, so suitable for containers for microwave cooking. It has poor resistance to aromatics and chlorine; it is slow burning in fire. PE is cheap, easy to form, biologically inert and recyclable; it is one of the materials of the next 20 years.

Technical notes: Low density polyethylene (LDPE), used for film and packaging, has branched chains which do not pack well, making it less dense than water. Medium (MDPE) and High (HDPE) density polyethylenes have longer, less branched chains, making them stiffer and stronger; they are used for containers and pipes. Modern catalysis allows side-branching to be suppressed and molecular length to be controlled precisely, permitting precise tailoring both of the processing properties critical for drawing, blow molding, injection molding or extrusion and the use-properties of softening temperature, flexibility and toughness. Linear low-density polyethylene (LLPDE) is an example. In its pure form it is less resistant to organic solvents, but even this can be overcome by converting its surface to a fluoro-polymer by exposing it to fluorine gas. Treated in this way (when it is known as ‘Super PE’) it can be used for petrol tanks in cars and copes with oil, cleaning fluid, cosmetics and that most corrosive of substances: cola concentrate. Very low density polyethylene (VDLPE) is similar to EVA and plasticized PVC.

Typical uses: Oil container, street bollards, milk bottles, toys, beer crate, food packaging, shrink wrap, squeeze tubes, disposable clothing, plastic bags, paper coatings, cable insulation, artificial joints, and as fibers - low cost ropes and packing tape reinforcement.

Hardwood: oak, along grain				
Density	850	-	1,03e3	kg/m^3
Price	0,494	-	0,547	EUR/kg
Date first used	-10000			
Young’s modulus	20,6	-	25,2	GPa
Shear modulus	1,5	-	1,8	GPa
Bulk modulus	2,5	-	2,8	GPa
Poisson’s ratio	0,35	-	0,4	
Yield strength (elastic limit)	43	-	52	MPa
Tensile strength	132	-	162	MPa
Compressive strength	68	-	83	MPa
Elongation	1,7	-	2,1	% strain
Hardness - Vickers	13	-	15,8	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	42	-	52	MPa
Fracture toughness	9	-	10	MPa.m^0.5
Mechanical loss coefficient	0,005	-	0,009	
Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	100	-	70	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,41	-	0,5	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	2,5	-	9	µstrain/°C
Electrical conductor or insulator?	Poor insulator			
Electrical resistivity	6e13	-	2e14	µohm.cm
Dielectric constant	5	-	6	
Dissipation factor	0,1	-	0,15	
Dielectric strength	0,4	-	0,6	1000000 V/m
Transparency	Opaque			
Embodied energy, primary production	9,82	-	10,9	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,841	-	0,93	kg/kg
Recycle	False			

Supporting information
Design guidelines: Wood offers a remarkable combination of properties. It is light, and, parallel to the grain, it is stiff, strong and tough - as good, per unit weight, as any man-made material except CFRP. It is cheap, it is renewable, and the fossil-fuel energy needed to cultivate and harvest it is outweighed by the energy it captures from the sun during growth. It is easily machined, carved and joined, and - when laminated - it can be molded to complex shapes. And it is aesthetically pleasing, warm both in color and feel, and with associations of craftsmanship and quality.

Technical notes: The values for the mechanical properties given for woods require explanation. Wood-science laboratories measure the mean properties of high-quality “clear” wood samples: small specimens with no knots or other defects; the data for woods in the Level 3 CES database is of this type. This is not, however, the data needed for design. All engineering materials have some variability in quality and properties. To allow for this design handbooks list “allowables” - property values that will be met or exceeded by, say, 99% of all samples (meaning the mean value minus 2.33 standard deviations). Natural materials like wood show greater variability than man-made materials like steel, with the result that the allowable values for mechanical properties may be only 50% of the mean. There is a second problem: structures made of wood are much larger than the wood-science test samples. They contain knots, shakes and sloping grain, all of which degrade properties. To deal with this the wood is “stress-graded” by visual inspection or by automated methods, assigning each piece a stress grading G between 0 and 100: a grading of G means that properties are further knocked down by the factor G/100. Finally, in building construction, there is the usual requirement of sound practice - an overall safety factor, typically 2.25. The result is that the permitted stress for design may be as low as 20% of the value quoted in wood-science tabulations. The data in this record is for oak of medium density, and lists wood-science ranges for the properties of clear wood samples. Wood prices are quoted in Board Feet (BF). 1 BF is 144 cubic inches. Here we list prices in the usual \$/kg.

Typical uses: Flooring; stairways, furniture; handles; veneer; sculpture, wooden ware; sash; doors; general millwork; framing- but these are just a few. Almost every load-bearing and decorative object has, at one time or another, been made from wood.

Bijlage F

Soortelijke warmte van de verschillende producten in de verpakking:

Rauw Vlees	3600 J/kgK
Wit Brood	2722 - 2847 J/kgK
Goudse Kaas	3130 J/kgK
Appel	3800 J/kgK
Melk	3850 J/kgK
Hamburger	3480 J/kgK
Roomboter	2051 - 2135 J/kgK

Bijlage G

Tabel met R-waarden.

	BBQ 6-Hoek	Borrel Doos	Borrel Cilinder	Borrel 6-Hoek	Lunch Doos	Lunch 6-Hoek	Picknick Doos	Picknick Cilinder	Picknick 6-Hoek
Kurk	0,0044 0,0060	0,0039 0,0054	0,0037 0,0051	0,0040 0,0054	0,0035 0,0048	0,0033 0,0045	0,0035 0,0048	0,0037 0,0051	0,0033 0,0045
VLD	0,0045 0,0060	0,0040 0,0054	0,0038 0,0051	0,0041 0,0054	0,0036 0,0048	0,0034 0,0045	0,0036 0,0048	0,0038 0,0051	0,0034 0,0045
LD	0,0050 0,0074	0,0045 0,0066	0,0043 0,0063	0,0045 0,0067	0,0040 0,0060	0,0038 0,0055	0,0040 0,0060	0,0043 0,0063	0,0038 0,0055
MD	0,0051 0,0098	0,0046 0,0087	0,0044 0,0083	0,0047 0,0089	0,0041 0,0079	0,0038 0,0073	0,0041 0,0079	0,0044 0,0083	0,0038 0,0073
Papier	0,0076 0,0214	0,0067 0,0190	0,0064 0,0182	0,0068 0,0193	0,0061 0,0172	0,0056 0,0159	0,0061 0,0172	0,0064 0,0182	0,0056 0,0159
Butyl rubber	0,0101 0,0126	0,0089 0,0112	0,0085 0,0107	0,0091 0,0113	0,0081 0,0101	0,0075 0,0094	0,0081 0,0101	0,0085 0,0107	0,0075 0,0094
Softwood: across grain	0,0101 0,0176	0,0089 0,0156	0,0085 0,0150	0,0090 0,0159	0,0081 0,0141	0,0075 0,0131	0,0081 0,0141	0,0085 0,0150	0,0075 0,0131
Polyisopreen rubber	0,0101 0,0176	0,0089 0,0156	0,0085 0,0150	0,0091 0,0159	0,0081 0,0141	0,0075 0,0131	0,0081 0,0141	0,0085 0,0150	0,0075 0,0131
Polystyreen	0,0152 0,0165	0,0135 0,0146	0,0129 0,0140	0,0137 0,0149	0,0122 0,0132	0,0113 0,0123	0,0122 0,0132	0,0129 0,0140	0,0113 0,0123
Natuurlijk rubber	0,0126 0,0176	0,0112 0,0156	0,0107 0,0150	0,0114 0,0159	0,0101 0,0141	0,0094 0,0131	0,0101 0,0141	0,0107 0,0150	0,0094 0,0131
Bamboe	0,0126 0,0227	0,0112 0,0201	0,0107 0,0192	0,0114 0,0204	0,0101 0,0182	0,0094 0,0169	0,0101 0,0182	0,0107 0,0192	0,0094 0,0169
Polypropeen	0,0142 0,0210	0,0126 0,0187	0,0127 0,0178	0,0128 0,0190	0,0114 0,0169	0,0106 0,0157	0,0114 0,0169	0,0121 0,0178	0,0106 0,0157
Hardwood: across grain	0,0201 0,0252	0,0179 0,0223	0,0171 0,0213	0,0182 0,0227	0,0161 0,0202	0,0150 0,0188	0,0161 0,0202	0,0171 0,0214	0,0150 0,0188
Cellulose polymeren	0,0164 0,0378	0,0145 0,0335	0,0139 0,0320	0,0148 0,0341	0,0131 0,0303	0,0122 0,0281	0,0131 0,0303	0,0139 0,0320	0,0122 0,0281
Acrylonitriël butadiëen styreen	0,0237 0,0422	0,0210 0,0374	0,0201 0,0358	0,0213 0,0380	0,0190 0,0338	0,0176 0,0314	0,0190 0,0338	0,0201 0,0358	0,0176 0,0314

Vervolg tabel

	BBQ 6-Hoek	Borrel Doos	Borrel Cilinder	Borrel 6-Hoek	Lunch Doos	Lunch 6-Hoek	Picknick Doos	Picknick Cilinder	Picknick 6-Hoek
Ionomeer	0,0301 0,0347	0,0267 0,0308	0,0255 0,0295	0,0271 0,0313	0,0241 0,0278	0,0224 0,0259	0,0241 0,0278	0,0255 0,0295	0,0224 0,0259
Softwood: along grain	0,0277 0,0378	0,0246 0,0335	0,0235 0,0320	0,0250 0,0341	0,0222 0,0303	0,0206 0,0281	0,0222 0,0303	0,0235 0,0320	0,0206 0,0281
Polyurethaan	0,0353 0,0378	0,0313 0,0335	0,0299 0,0320	0,0318 0,0341	0,0283 0,0303	0,0263 0,0281	0,0283 0,0303	0,0299 0,0320	0,0263 0,0281
Polyester	0,0361 0,0376	0,0321 0,0334	0,0307 0,0319	0,0326 0,0339	0,0290 0,0302	0,0269 0,0280	0,0290 0,0302	0,0307 0,0319	0,0269 0,0280
Ethyleen Vinyl Acetaat	0,0378 0,0504	0,0335 0,0447	0,0320 0,0427	0,0341 0,0454	0,0303 0,0404	0,0281 0,0375	0,0303 0,0404	0,0320 0,0427	0,0281 0,0375
Plywood	0,0378 0,0630	0,0335 0,0559	0,0320 0,0534	0,0341 0,0568	0,0303 0,0505	0,0281 0,0469	0,0303 0,0505	0,0320 0,0534	0,0281 0,0469
Polyethyleen	0,0507 0,0548	0,0450 0,0486	0,0430 0,0465	0,0457 0,0494	0,0407 0,0439	0,0378 0,0408	0,0407 0,0439	0,0430 0,0465	0,0378 0,0408
Hardwood: along grain	0,0516 0,0630	0,0458 0,0559	0,0438 0,0534	0,0465 0,0568	0,0414 0,0505	0,0385 0,0469	0,0414 0,0505	0,0438 0,0534	0,0385 0,0469
Hennep	0,0050	0,0045	0,0043	0,0045	0,0040	0,0038	0,0040	0,0043	0,0038
Vlaswol	0,0048 0,0050	0,0042 0,0045	0,0041 0,0043	0,0043 0,0045	0,0038 0,0040	0,0036 0,0038	0,0038 0,0040	0,0041 0,0043	0,0036 0,0038
Katoen	0,0048	0,0042	0,0041	0,0043	0,0038	0,0036	0,0038	0,0041	0,0036
Schapenwol	0,0044	0,0039	0,0037	0,0040	0,0035	0,0033	0,0035	0,0037	0,0033
Glaswol	0,0040 0,0050	0,0036 0,0045	0,0034 0,0043	0,0036 0,0045	0,0032 0,0040	0,0030 0,0038	0,0032 0,0040	0,0034 0,0043	0,0030 0,0038
Steenwol	0,0040 0,0050	0,0036 0,0045	0,0034 0,0043	0,0036 0,0045	0,0032 0,0040	0,0030 0,0038	0,0032 0,0040	0,0034 0,0043	0,0030 0,0038

Bijlage H

Tabel met tijden dat de inhoud van de verpakking erover doet om 3 graden op te warmen:

Tijd (min)		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82			
Temp 1 (°C)	16 min	4	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9	6,2	6,6	7																																				
Temp 2 (°C)	44 min	4	4,2	4,45	4,6	4,8	4,96	5,08	5,2	5,32	5,44	5,56	5,68	5,8	5,92	6,04	6,16	6,28	6,4	6,52	6,64	6,76	6,88	7																						
Temp 3 (°C)	23 min	4	4,2	4,6	4,8	5,1	5,4	5,6	5,9	6,2	6,4	6,7	6,9																																	
Temp 4 (°C)	78 min	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,47	4,55	4,65	4,75	4,85	4,95	5,03	5,1	5,2	5,27	5,33	5,4	5,5	5,57	5,65	5,73	5,8	5,9	6	6,04	6,08	6,15	6,23	6,3	6,37	6,45	6,53	6,6	6,67	6,75	6,83	6,9	6,93	6,97	7					
Temp 5 (°C)	71 min	4	4,1	4,2	4,35	4,45	4,55	4,7	4,8	4,87	5	5,1	5,25	5,35	5,45	5,53	5,6	5,7	5,8	5,95	6,05	6,13	6,2	6,23	6,26	6,29	6,3	6,36	6,41	6,47	6,53	6,63	6,7	6,77	6,83	6,9	6,97									
Temp 6 (°C)	35 min	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,15	5,3	5,5	5,7	5,9	6	6,2	6,35	6,5	6,65	6,8	6,95																											
Temp 7 (°C)	82 min	4	4,1	4,17	4,23	4,3	4,4	4,47	4,53	4,6	4,7	4,8	4,87	4,93	5	5,1	5,2	5,27	5,33	5,4	5,5	5,57	5,63	5,7	5,77	5,83	5,9	5,97	6,03	6,1	6,2	6,27	6,33	6,4	6,47	6,53	6,6	6,67	6,73	6,8	6,87	6,93	7			
Temp 8 (°C)	270 min	4									4,2									4,4								4,6									4,8						enz.			

Temperatuur 1 = Temperatuurverloop van salade zonder isolatie.
Temperatuur 2 = Temperatuurverloop van de inhoud in een vierkante verpakking met Polystyreen als isolatie.
Temperatuur 3 = Temperatuurverloop van de inhoud in een 6-hoekige verpakking met Polystyreen als isolatie.
Temperatuur 4 = Temperatuurverloop van de inhoud in een vierkante verpakking met PE-folie als isolatie.
Temperatuur 5 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met Polystyreen als isolatie.
Temperatuur 6 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met PE-folie als isolatie.
Temperatuur 7 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met hooi als isolatiemateriaal.
Temperatuur 8 = Temperatuurverloop van de inhoud van een gekoelde vierkante verpakking met ijs als isolatiemateriaal.