



# BREPLA

Biobased fibre REinforced PLAstics

## Leverbaarheid 6.1.2 Kostprijsberekeningstools

Sirris | Wannes Lembrechts - Linde De Vriese  
[wannes.lembrechts@sirris.be](mailto:wannes.lembrechts@sirris.be) - [linde.devriese@sirris.be](mailto:linde.devriese@sirris.be)

Project: HBC.2020.2567 Biogebaseerde Vezelversterkte Kunststoffen

Projectpartners: Centexbel en Sirris

Collectief Onderzoek & Ontwikkeling en Collectieve Kennisverspreiding (COOCK) gesteund door Vlaio

1 januari 2021 - 31 december 2023



**sirris** innovation  
forward

## Lijst van figuren

Figuur 1: Verloop van de vastgelegde kosten tijdens de design- en productiefase, aangepast van [1].....	6
Figuur 2: Voorbeeld hoe het DeMaCo model de geometrische complexiteit en drapeerbaarheid van het materiaal in rekening neemt om tot een drapeertijdsfactor te komen waaraan tijd en kosten gerelateerd zijn .....	9
Figuur 3: Voorbeeldoverzicht processtappen, benodigdheden en activiteiten tijdens preform productie .....	10
Figuur 4: Voorbeeld van de injectiekostenmodule in de DeMaCo tool, deel 1 .....	11
Figuur 5: Voorbeeld van de injectiekostenmodule in de DeMaCo tool, deel 2 .....	12
Figuur 6: Resultaat van de kosteninschatting per kostencategorie voor de dakkoffer demonstrator .....	16
Figuur 7: Vergelijking resultaat van de kosteninschatting per kostencategorie voor de dienblad demonstrator geproduceerd met de hand lay-up en de vacuüminfusie methode .....	20
Figuur 8: Algemene informatie die wordt opgevraagd en is ingevuld voor de dienblad case in de DeMaCo tool .....	21
Figuur 9: DeMaCo - Voorvormkost opgedeeld in product-, project- en investeringskosten voor de dienblad case .....	22
Figuur 10: Richtlijn in de DeMaCo tool om de waarde voor oppervlaktecomplexiteit te bepalen.....	23
Figuur 11: Rekenmethode in de DeMaCo tool voor de berekening van de productkosten voor de voorvormstap [6] .....	23
Figuur 12: DeMaCo - Injectiekost opgedeeld in product-, project- en investeringskosten voor de dienblad case .....	24
Figuur 13: Guideline voor de waarden voor oppervlakte- en randcomplexiteit.....	25
Figuur 14: Formules achter de berekening van de product- en investeringskost [6] .....	25
Figuur 15: DeMaCo - Afwerkingskost opgedeeld in product- en investeringskosten voor de dienblad case.....	26
Figuur 16: Totaaloverzicht van de kostenberekening voor de dienblad case in de DeMaCo tool.....	27

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht van 8 kostprijsinschattingscategorieën volgens [3].....	7
Tabel 2: Scope van de kosteninschatting voor de dakkoffer demonstrator geproduceerd met een thermocompressie proces .....	14
Tabel 3: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van de dakkoffer demonstrator .....	14
Tabel 4: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materiaalprijs van de dakkoffer demonstrator .....	15
Tabel 5: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dakkoffer demonstrator .....	15
Tabel 6: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dakkoffer demonstrator .....	15
Tabel 7: Resultaat van de kosteninschatting van de dakkoffer demonstrator .....	16
Tabel 8: Scope van de kosteninschatting voor de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie .....	17
Tabel 9: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van een dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie .....	17
Tabel 10: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materiaalprijs van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie.....	17
Tabel 11: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie .....	18
Tabel 12: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie .....	18
Tabel 13: Scope van de kosteninschatting voor de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up.....	19
Tabel 14: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van een dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up .....	19
Tabel 15: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materiaalprijs van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up .....	19
Tabel 16: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up .....	19
Tabel 17: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up.....	20

## Inhoudstafel

Introductie.....	5
1 Overzicht kostberekeningstools .....	6
Overzicht van technieken voor kostprijnschattingen.....	6
1.1 Simpel CER model, ontwikkeld door Esawi & Ashby [4] .....	7
1.2 DeMaCo methode [5].....	8
1.3 SEER methode [7] .....	12
2 Voorbeeld cases: kosteninschatting van BREPLA demonstratoren.....	13
2.1 Case dakkoffer, Esawi & Ashby methode .....	13
2.2 Case dienblad, Esawi & Ashby methode.....	16
2.2.1 Vacuüminfusie methode – vlasweefsel + vlasnet .....	16
2.2.2 Hand lay-up – vlasnet .....	18
2.2.3 Overzicht Resultaten .....	20
2.3 Case dienblad, DeMaCo methode .....	21
3 Conclusie: .....	28
Referenties.....	29

## Introductie

In de designfase van een product wordt al een groot aandeel van de uiteindelijke productkost vastgelegd. Hierdoor is het belangrijk om tools te hebben die helpen bij een kosteninschatting van het product. Dit verslag geeft een overzicht van kosteninschatting methoden en gaat hierbij dieper in op 3 technieken. Zo wordt het eenvoudige model van Esawi en Ashby, het meer gedetailleerde DeMaCo model en het uitgebreid parametrisch SEER model uitgelegd en worden de voor- en nadelen van elk model aangehaald.

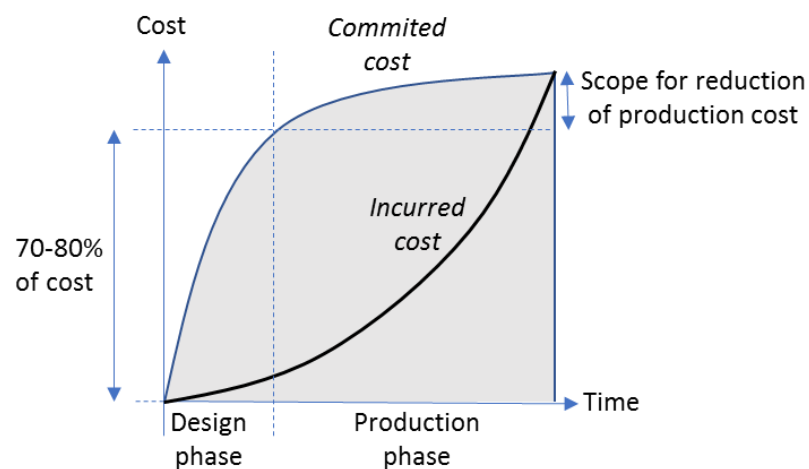
In het tweede deel van dit van verslag wordt het Esawi & Ashby model en DeMaCo model gedemonstreerd aan de hand van 3 voorbeeldcases die zijn uitgewerkt rond de dienblad en dakkoffer demonstrator van het BREPLA project.

## 1 Overzicht kostberekeningstools

### Belang van kostprijsinschatting

De materiaalprijs van biocomposiet materialen kan hoger zijn dan die van fossiel gebaseerde composiet materialen. Het is hierdoor belangrijk om de productie- en materiaalkosten goed te kunnen inschatten alvorens de beslissing valt om een product in biocomposiet te produceren en op de markt te brengen.

De vroege designfase heeft de grootste impact op de kosten. Over het algemeen worden hierin al 70-80% van de productkosten bepaald. Figuur 1 toont een beeld van de tijdslijn waarin over het algemeen de productkosten bepaald worden 'de cost commitment curve'.



Figuur 1: Verloop van de vastgelegde kosten tijdens de design- en productiefase, aangepast van [1]

### Overzicht van technieken voor kostprijsinschattingen

Er bestaan verschillende technieken en verschillende opdelingen om kostprijsinschattingen te doen.

#### Insteek 1 [2]

De kostprijsinschattingen kan je opdelen in kwalitatieve technieken en kwantitatieve technieken. Kwalitatieve technieken zijn gebaseerd op een vergelijking tussen de kosten van eerdere producten en processen. De berekeningen zijn hierbij gebaseerd op vroegere ervaringen en berekeningen. Kwalitatieve technieken kunnen verder opgedeeld worden in intuïtieve en analoge technieken, beiden hebben hun voor- en nadelen.

Hiernaast bekijken de kwantitatieve technieken de volledige procesketen van het product. De belangrijkste kosten worden hierbij aangeduid en wiskundige modellen worden gebruikt om een zo goed mogelijke inschatting te doen. Hierbij heb je analytische en parametrische technieken.

## Insteek 2 [3]

Een licht andere insteek verdeelt de kostprijsinschattingstechnieken op in 8 categorieën. Elke categorie heeft zijn voordelen en limitaties, Tabel 1 geeft hier een overzicht van.

Tabel 1: Overzicht van 8 kostprijsinschattingscategorieën volgens [3]

MODEL CATEGORY	DESCRIPTION	ADVANTAGES	LIMITATIONS
<b>Guessing</b>	Off-the-cuff estimates	Quick	No basis or substantiation. No Process. Usually wrong.
<b>Analogy</b>	Compare project with similar projects from the past.	Estimates are based on actual experience.	Truly similar projects must exist.
<b>Expert judgment</b>	Consult one or more experts.	Little or no historical data is needed; good for new or unique projects.	Experts tend to be biased; knowledge level is sometimes questionable; may not be consistent.
<b>Top-down estimation</b>	A hierarchical decomposition of the system into progressively smaller components.	Provides an estimate linked to requirements.	Needs valid requirements. Engineering bias may lead to underestimation.
<b>Bottom-up estimation</b>	Divides the problem into the lowest items. Estimate each item... sum the parts.	Complete work breakdown structures (WBS) can be estimated.	Costs can occur in items that are not considered in the WBS.
<b>Design to cost</b>	Uses expert judgment to determine how much functionality can be provided for given budget.	Estimate always lower than given budget.	Little or no engineering basis. Only valid in combination with another model.
<b>Simple Cost estimation relationships (CERs)</b>	Equation with one or more unknowns that provides cost estimates.	Cost based on actual data.	Simple relationships may not tell the whole story. Historical data may not tell the whole story.
<b>Comprehensive parametric models</b>	Perform overall estimate using design parameters and mathematical algorithms.	Models are usually fast and easy to use, and useful early in a program; they are also objective and repeatable.	Models can be inaccurate if not properly calibrated and validated; historical data may not be relevant to new programs; optimism in parameters may lead to underestimation.

## Dit verslag

Dit verslag gaat verder in op twee modellen gebaseerd op simpele relaties in kosteninschatting (CER) en één uitgebreid parametrisch model:

- Een simpel CER model gebaseerd op het werk van Esawi and Ashby, [4]
- Een meer gedetailleerd CER model, DeMaCo model, waarin verschillende processtappen in de productie en nabewerking van thermohardende composieten reeds verwerkt zijn. Dit model gebruikt complexiteit coëfficiënten om de geometrische complexiteit mee in rekening te nemen. Hiernaast schat het model ook de tooling kosten op basis van grootte, complexiteit, proces en materiaal.
- Een uitgebreid parametrisch model, SEER model, dit model is ontwikkeld en commercieel verdeeld door Galorath Incorporated.

### 1.1 Simpel CER model, ontwikkeld door Esawi & Ashby [4]

Een vereenvoudigde aanpak voor het modelleren van proceskosten is ontwikkeld door Esawi en Ashby [4].

In het artikel "Cost estimates to guide pre-selection of processes" beschrijven Esawi en Ashby volgende formule om de productiekosten van een processtap te berekenen:

$$C = \left[ \frac{mC_m}{1-f} \right] + \frac{C_t}{n} \left[ \text{ceiling} \left\{ \frac{n}{n_t} \right\} \right] + \frac{1}{\dot{n}} \left[ \frac{C_c}{L \times t_{wo}} + \dot{C}_{oh} \right]$$

waarbij de materiaalbijdrage  $\left[ \frac{mC_m}{1-f} \right]$  bestaat uit massa  $m$ , materiaalkosten  $C_m$  [€/kg] en een uitvalfractie  $f$ . De tooling bijdrage  $\frac{C_t}{n} \left[ \text{ceiling} \left\{ \frac{n}{n_t} \right\} \right]$  bestaat uit de toolingskosten  $C_t$  [€], de productiehoeveelheid  $n$ , het maximaal aantal onderdelen tot wanneer de tooling aan vervanging is  $n_t$  waarbij de verhouding  $\left\{ \frac{n}{n_t} \right\}$  steeds naar boven wordt afgerond. De derde term omvat de overheadkosten  $\frac{1}{\dot{n}} \left[ \frac{C_c}{L \times t_{wo}} + \dot{C}_{oh} \right]$ , met hierbij productiesnelheid  $\dot{n}$  [per uur], materiaalkosten  $C_c$ , een belastingsfactor  $L$  [-], afschrijvingstijd  $t_{wo}$  [uur] en overhead  $\dot{C}_{oh}$  [€/uur].

Voor deze formule te gebruiken, is het belangrijk om een overzicht te maken van het volledige productieproces en zo gedetailleerd mogelijk neer te schrijven waar tijd, materiaal en geld in kruipt gedurende het productieproces (bv. tooling, voorbereiding, nabewerking, productiefase 1, productiefase 2, ...).

Deze formule kan toegepast worden op elke productiefase, deze tussenuitkomsten kunnen vervolgens opgeteld worden om zo tot de totale kost te komen.

Het voordeel van dit eerste model is de eenvoud en de mogelijkheid om het aan te passen aan een groot aantal fabricageprocessen. Voor composietproductieprocessen wordt voor de materiaalkosten  $C_m$  typisch alleen de (samengestelde) grondstoffen gebruikt. Gelcoats, lossingsmiddelen, verbruiksartikelen zoals slangen, emmers, kleppen, enz. neemt dit eenvoudige model typisch niet mee in rekening. Het is echter mogelijk om dit model aan te passen en het zo meer gedetailleerd en op maat te maken voor specifieke processen.

Wat dit eenvoudige model ook niet in beschouwing neemt is de complexiteit van de geometrie. De verwerkings- en voorbereidingstijd kan namelijk sterk afhankelijk zijn van de grootte en de complexiteit van het onderdeel. Hierdoor kan het zijn dat, zonder op maat gemaakte uitbreiding, dit model niet nauwkeurig genoeg is.

## 1.2 DeMaCo methode [5]

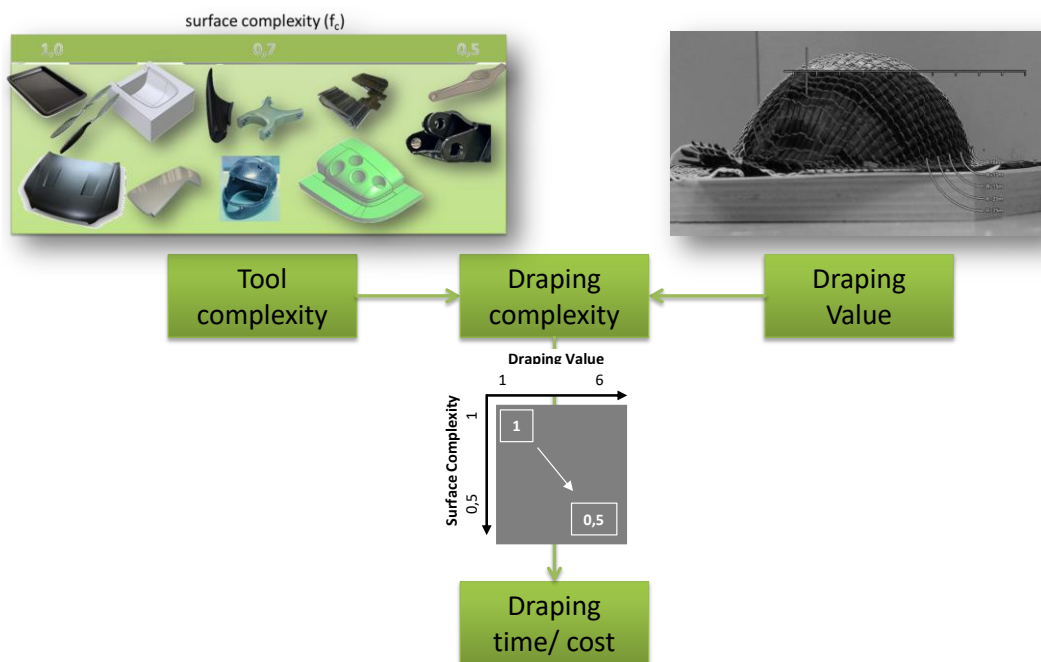
Een manier om de procestijd en hieraan gerelateerde kosten nauwkeuriger in te schatten is de DeMaCo methode. De DeMaCo methode is in 2013 ontwikkeld in het Europese project Design for Manufacture of Composites (DeMaCo) en is een kosteninschattingmodel geschikt voor thermohardende composiet productieprocessen, vacuüm infusie (VARI), RTM (resin transfer moulding) en RTM-light. Het model is zo opgebouwd dat niet enkel composiet experts hiermee kunnen werken.



De DeMaCo methode is een meer gedetailleerd CER model dat verschillende processtappen in de productie en nabewerking mee in rekening neemt. Zo worden in dit model de kosten gescheiden op basis van materiaal, vormvormen, injecteren en nabewerking. Hiernaast maakt dit model gebruik van geometrische complexiteitscoëfficiënten om de procestijd in te schatten en schat dit model ook de tooling kosten op basis van grootte, complexiteit, proces en materiaal.

### Voorbeeld gebruik DeMaCo methode

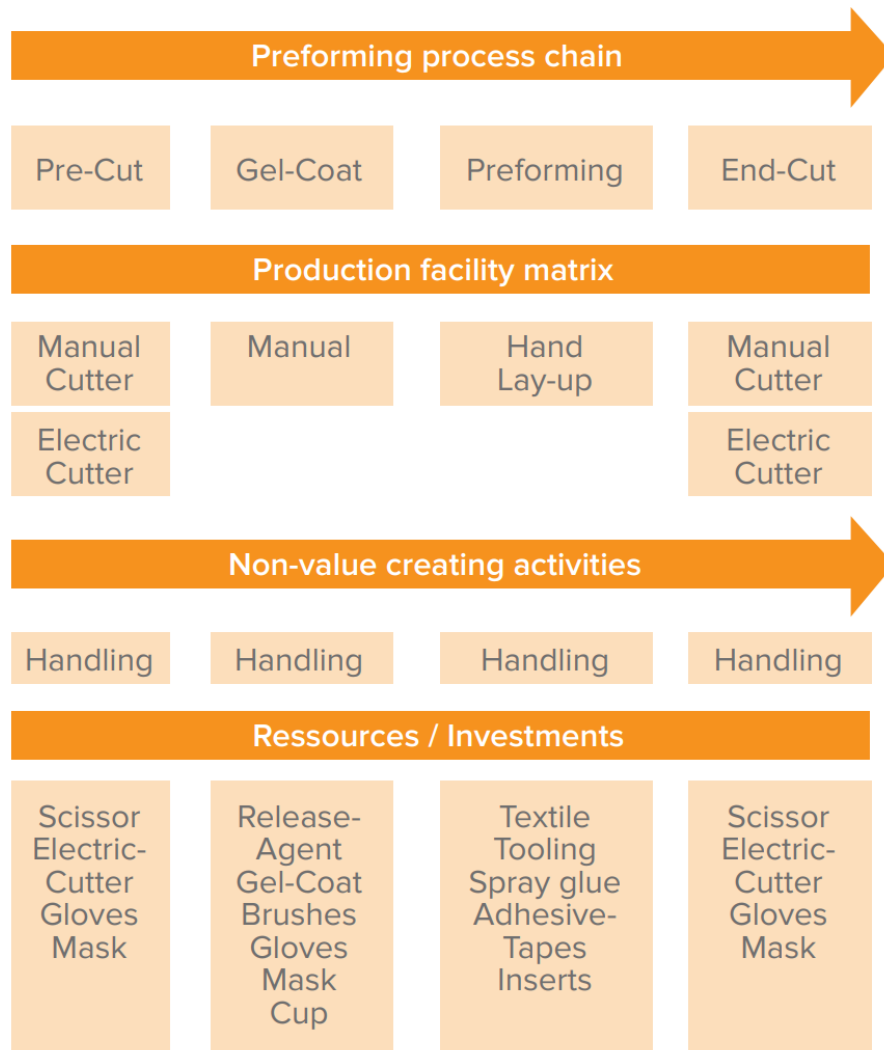
Enkele voorbeelden, variërend van enkelvoudige kromming/ondiepe componenten tot dubbel gekromde componenten met diepe geometrische kenmerken, worden hieronder getoond in Figuur 2. Hierin worden complexiteitscoëfficiënten uit een voorbeeldatabase gekoppeld aan de nodige arbeidstijd en de hieraan gekoppelde kosten tijdens het klaarmaken van de preform.



Figuur 2: Voorbeeld hoe het DeMaCo model de geometrische complexiteit en drapeerbaarheid van het materiaal in rekening neemt om tot een drapeertijdsfactor te komen waaraan tijd en kosten gerelateerd zijn

Figuur 3 toont een voorbeeldoverzicht waarin de processtappen en de benodigdheden voor het preform proces worden opgelijst.

Eerst werden de processen opgedeeld in processtappen die een belangrijk aandeel hebben in de kosten of tijd. Voor het maken van een preform zijn dit: voorsnijden, aanbrengen van een gelcoat, aanbrengen van het materiaal in de mal en snijafwerking. Hierna is opgelijst welke handelingen, apparaten en verbruiksproducten hiervoor nodig zijn.



Figuur 3: Voorbeeldoverzicht processtappen, benodigheden en activiteiten tijdens preform productie

De verzamelde feedback en experimenten binnen het project dienden als basis voor dit kwantitatieve kostenmodel. Elke processtap werd onderverdeeld in product-, project- en investeringskosten. Deze individuele kostenaandelen werden als volgt gedefinieerd:

- **Productkosten:** omvatten alle middelen die nodig zijn op componentniveau, zoals vezellagen, gelcoat, afdichtband, lossingsmiddel, ... .
- **Projectkosten:** omvatten alle productiemiddelen op projectniveau, zoals gereedschappen en mallen. Dit model bestaat uit de kosten van het materiaal (staal, aluminium, composiet) en de freeskosten.
- **Investeringskosten:** omvatten apparatuur en machines die over meerdere projecten worden afgeschreven over een periode van meestal vijf jaar, zoals injectieapparatuur, persen, uithardingsovens, freesmachines, ... .

Bij het opstellen van dit model werden generieke gegevens verzameld voor materiaalkosten, processnelheid (gemiddelde snijsnelheid, draperingsnelheid, aanbrenge van gelcoatings, ...) en apparatuur (typische kosten van uithardingsovens, warmtepompen, injectiepompen, freesmachines, ...). Specifieke materiaaleigenschappen of apparatuur kunnen handmatig worden ingevoerd door de gebruiker. De tool werd

ontwikkeld in Visual Basic for Applications en Microsoft Excel en gevalideerd aan de hand van drie demonstratiecases. Om een beeld te geven hoe de tool is opgebouwd, tonen Figuur 4 en 5 de injectiekostenmodule in de Excel tool.

Het voordeel aan de DeMaCo tool is dat algemene expertise reeds in de tool verwerkt zit. Hierdoor is het programma toegankelijker om een snelle inschatting te maken en kunnen ook mensen met weinig ervaring in composietproductie hier gebruik van maken. Een nadeel is dat formules en gegevens waarmee de tool werkt niet bewerkbaar en niet gedocumenteerd zijn. De tool kan dus niet aangepast worden om een nauwkeurigere inschatting te maken voor een specifieke case en het is niet altijd duidelijk op welke veronderstellingen de uitkomst is gebaseerd.

Hoe de tool werkt en waar de formules vandaan komen wordt meer uitgebreid uitgelegd in een voorbeeld case in Sectie 2.3 van dit verslag. Ook bestaat over de tool een publicatie die tijdens het DeMaCo-project is gepubliceerd genaamd 'Design for manufacture for liquid composite molding [6] .

**Injection cost**      Selected Injection Process    ?     VARI     RTM-light     RTM

Product cost		Project cost	
Resin system:	? Polyester resin (UP)_	Primary tooling material:	? Aluminium
Resin density in g/cm <sup>3</sup> :	1.2	Surface Complexity (f <sub>c</sub> ):	? 0.9
Resin cost in €/kg:	5	edge complexity (f <sub>g</sub> ):	? 0.9
Labour rate in €/h:	? 50	<input type="button" value="Clear Data for Project Costs"/> <input type="button" value="Calculate Project Costs"/>	
Unit cost		Unit cost	
Setup cost in €/unit:	1.56	Tooling cost in €/unit:	0.74
Resin cost in €/unit:	1.3	Mould cost in €/unit:	0.06
Labour cost in €/unit:	9.75	Mock-Up cost in €/unit:	0.09
Total product cost in €/unit:	12.61	Total project cost in €/unit:	0.89
Injection Process Time in min:	11.7		

Figuur 4: Voorbeeld van de injectiekostenmodule in de DeMaCo tool, deel 1

Investment cost						
<input type="radio"/> Include in Calculation <input type="radio"/> Do not include <input type="button" value="?"/>						
	Name: <input type="button" value="?"/>	Investment cost in €:	Quantity per hour: <input type="button" value="?"/>	Utility Factor in %: <input type="button" value="?"/>	Depreciation Time [years]: <input type="button" value="?"/>	Overhead in €/h: <input type="button" value="?"/>
Machine 1	Vacuum System_	8000	1	60	5	70
Machine 2	Mold Heating_	7000	1	60	5	50
Machine 3						
Machine 4						
Machine 5						
Machine 6						
Machine 7						
Machine 8						

Result	
Investment cost in €/unit:	0

<input type="button" value="Calculate total Injection Costs"/>	Total Injection cost in €/unit:	13.5
	Total Injection cost of the lot in €:	67500

Figuur 5: Voorbeeld van de injectiekostenmodule in de DeMaCo tool, deel 2

### 1.3 SEER methode [7]

De laatste methode die dit verslag bespreekt, is een uitgebreid parametrisch model, namelijk de SEER methode (Software for Estimation and Evaluation of Resources). Dit is een commercieel verkrijgbare software en is ontwikkeld door Galorath Incorporated. Deze methode biedt een systematische en gegevensgestuurde aanpak voor kostenschatting, en inschatting van de nodige arbeid en middelen die nodig zijn voor de productie van composietmaterialen. De software is vooral geschikt voor complexe projecten zodat werknemers nauwkeurige kostenramingen kunnen maken die kunnen dienen voor besluitvorming, projectplanning en budgettering voor de complexe projecten. Naast composietprocessen bevat deze software ook een breed scala aan metaal verwerkingsprocessen.

Een van de belangrijkste functies van deze SEER for manufacturing software is parametrische schatting. Via deze parametrische modellen kunnen werknemers fabricageprocessen en trade-offs modelleren en testen in een vroeg ontwerpstadium wanneer weinig details bekend zijn. Hierbij gebruikt de software wiskundige modellen en statistische analyse om relaties te leggen tussen verschillende projectparameters en de verwachte kosten. Voor de productie van composietmaterialen kunnen deze parameters zijn:

- Materiaaleigenschappen: gebruikte materialen en de bijbehorende kosten.
- Ontwerp en specificaties: productgeometrie, -complexiteit en toleranties.
- Productieprocessen: gebruikte productieproces, afwerking, inspectie
- Arbeid en vaardigheidsniveaus: Het aantal en de nodige expertise van het personeel
- Gereedschap en apparatuur: kosten en bezetting van matrijzen, machines en andere apparatuur.

- Doorlooptijden en projectplanning: De duur van het project en de invloed op de kosten van arbeid en middelen.

De parametrische modellen zijn opgebouwd uit reeksen wiskundige vergelijkingen. Al deze modellen zijn gemaakt met behulp van actuele, industriële gegevens. Sommige modellen zijn geschreven in samenwerking met productiebedrijven en zijn gebaseerd op onderliggende procesmodellen. De wiskundige relaties tussen invoer- en uitvoergegevens worden kostenramingsrelaties (CER) genoemd.

In tegenstelling tot de vereenvoudigde CER van de eerder gepresenteerde kostenmodellen, zijn er veel meer invoergegevens mogelijk (en vereist) voor deze methode.

Naast de verschillende inputparameters laat de SEER software ook toe om een risicoanalysecomponent te integreren en zo rekening te houden met onzekerheden in het project. Voorbeelden van te integreren risico's zijn: vertragingen in planning, schommelingen in materiaalprijzen en productieproblemen. Dit kan helpen bij het ontwikkelen van noodplannen en het effectief beheren van risico's.

Het werken met deze software is vanwege de nodige invoergegevens minder eenvoudig en meer tijdsintensief dan de vorige twee modellen. Hierdoor wordt aangeraden om dit model enkel te raadplegen voor complexe en uitgebreide kosteninschattingen waarbij het niet mogelijk is om een eenvoudig model te gebruiken.

## 2 Voorbeeld cases: kosteninschatting van BREPLA demonstratoren

Als test en verduidelijking van de verschillende methodes zijn in dit project drie voorbeeldcases uitgewerkt met een kosteninschatting van de demonstratoren. Zo is voor de Esawi & Ashby methode een voorbeeld case uitgewerkt voor de dienblad en dakkoffer demonstrator en met de DeMaCo methode een voorbeeld case uitgewerkt voor de dienblad demonstrator. Dit hoofdstuk overloopt de uitwerking en het resultaat van deze voorbeeld cases.

### 2.1 Case dakkoffer, Esawi & Ashby methode

Bij het begin van een kosteninschatting is het belangrijk om de scope van de inschatting te bepalen. Van welk product (welke afmetingen, wanddiktes, materialen, ... ) wordt juist de inschatting gemaakt? Wat is het productie-aantal waar de berekening op wordt afgestemd? Welke processtappen worden gebruikt in de berekening?

Tabel 2 toont de veronderstellingen die gemaakt zijn om de scope van deze berekening te bepalen. Zo wordt bijvoorbeeld een relatief kleine dakkoffer beschouwd uit vlas-PLA non-woven materiaal met een 50/50 gewichtsverhouding en een productie-aantal van 1000 stuks. De dakkoffer demonstrator wordt in het BREPLA-project geproduceerd met een thermocompressie proces. Tabel 3 geeft een oplisting weer van de processtappen met hierbij steeds een inschatting voor de hoeveelheid arbeidstijd en welke benodigdheden voor elke stap vereist zijn. Volgens deze inschatting komt de totale arbeidstijd bijvoorbeeld uit op 69 minuten.

Tabel 2: Scope van de kosteninschatting voor de dakkoffer demonstrator geproduceerd met een thermocompressie proces

Scope	Kleine dakkoffer: lengte 1,2 m x breedte 0,5 m x hoogte 30 cm	
Energiekost niet meegerekend		
Productieaantal	1000	stuks
Oppervlakte per product	2,4	m <sup>2</sup>
totaal gewicht	7200	g
Vlasnet gewichtsfractie	0,5	
PLA gewichtsfractie	0,5	
Arbeidstijd per stuk	69	min
Arbeidstijd per stuk	1,15	uur/stuk
Stuks per uur	0,87	stuks/uur

Tabel 3: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van de dakkoffer demonstrator

Processtappen	Arbeidstijd/stuk (min)	Benodigdheden	
1 Productie non-woven mat	/	/	
2 Voorknippen materiaal		5 Snijmachine	Manueel met snijmachine
3 Voordrogen		0 Oven	
4 Consolidatie		10 Dubbele band pers of multi day-light pers	
5 Installatie in klemsysteem		5 Klemsysteem	
6 Voorverwarming		2 Infraroodinstallatie	
7 Persen		2 Pers, mal	
8 Randafwerking		15 Handfrees	Manueel met handfrees
9 Afwerking		30 Afwerkingsmateriaal	
Totaal	69		

Tabel 4, 5 en 6 tonen vervolgens de kostencontributie vanuit het materiaal, tooling & consumables en equipment. Belangrijk te vermelden hierbij is dat veel getallen ruwe inschattingen zijn. Hiernaast zijn veel prijzen sterk situatie-afhankelijk. Het is hierdoor niet de bedoeling van dit verslag om te focussen op de exacte getallen, maar wel op de methode en de ruwe verhoudingen.

De berekening van de materiaalkosten gebeurt relatief eenvoudig door de materiaalkosten per kg te vermenigvuldigen met het gebruikte gewicht. Hierbij wordt ook rekening gehouden met het productie-afval  $\gamma_f$ , wat voor het thermocompressie proces typisch relatief hoog ligt. Ook de berekening van tooling en equipment gebeurt relatief eenvoudig. Zo wordt op alle tools een kost en een levensduur en voor de consumables enkel de kost ingeschat.

De contributie voor de equipment kosten wordt berekend aan de hand van een ingeschatte kost, loadfactor en afschrijvingstijd. De afschrijvingstijd van al de investeringen in machines die nodig zijn om dit te produceren is in deze case vastgelegd op 10 jaar waarbij verondersteld wordt dat de machines 220 dagen per jaar 8 uur per dag draaien. Verder is de loadfactor het omgekeerde van de fractie van de tijd waarbij de machines draaien voor dit product. Als een machine bijvoorbeeld voor de helft van de tijd moet draaien voor dit product, telt de kost van deze machine in dit model ook voor de helft mee aangezien deze machine nog voor andere producten kan ingezet worden. Dit kan eenvoudig aangepast worden wanneer dit anders loopt.

Tabel 4: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materiaalsprijs van de dakkoffer demonstrator

Materiaalsprijs		
Prijs vlas	2 euro/kg	Inschatting via non-woven producent
Prijs PLA	4 euro/kg	Inschatting via non-woven producent
Productieprijs non woven	3 euro/kg non-woven	Inschatting via non-woven producent
Scrap rate f	30 %	verloren materiaal tijdens productie
<b>Totale materiaalsprijs</b>	<b>61,7 euro/stuk</b>	

Tabel 5: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dakkoffer demonstrator

Tooling en Consumables kost		
Prijs dubbele mal C_t1	50000 euro	Inschatting
Prijs afwerkingsmateriaal C_t2	20 euro/stuk	Inschatting
Levensduur mal	1000 stuks	Inschatting
Afronding levensduur mal/productieaantal	1	
<b>Tooling kost C_t</b>	<b>70 euro/stuk</b>	

Tabel 6: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dakkoffer demonstrator

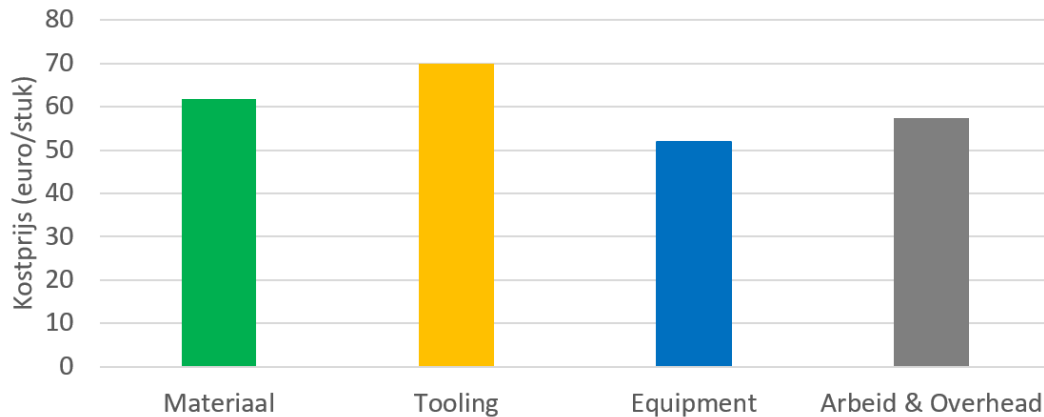
Equipment kost		
Prijs Snijmachine C_c1	1000 euro	<a href="https://www.confectiemachinesmaes.be/">https://www.confectiemachinesmaes.be/</a>
Prijs Oven C_c2	19500 euro	<a href="https://www.leasametric.com/catalogue/">https://www.leasametric.com/catalogue/</a>
Prijs dubbele band/multi day-light pers C_c3	500000 euro	Inschatting
Prijs klemsysteem C_c4	1000 euro	Inschatting
Prijs infraroodinstallatie C_c5	50000 euro	Inschatting
Prijs pers C_c6	500000 euro	Inschatting
Prijs Handfrees C_c7	250 euro	<a href="https://www.manutan.be/nl/mab/">https://www.manutan.be/nl/mab/</a>
Loadfactor Snijmachine L_c1	4	
Loadfactor Oven L_c2	1	
Loadfactor dubbele band/multi day-light pers L_c3	1	
Loadfactor klemsysteem L_c4	2	
Loadfactor infraroodinstallatie L_c5	2	
Loadfactor pers L_c6	2	
Loadfactor Handfrees L_c7	4	
Afschrijvingstijd equipment	17600 uur	10 jaar
<b>Equipment kost</b>	<b>51,97 euro/stuk</b>	

Tabel 7 en Figuur 6 tonen de resultaten van deze ruwe kosteninschatting met zowel de contributie van het materiaal, tooling, equipment en arbeid & overhead. Hierbij wordt voor arbeid & overhead gerekend met een kost van 50 euro/uur. De contributie van materiaal-, tooling - en arbeid & overhead kost hebben een vergelijkbare grootte.

Tijdens de designfase van een product kan deze ruwe prijsinschatting een startpunt zijn. Ook al is de inschatting ruw, dit soort inschatting maakt het mogelijk om aan te voelen welke aandachtspunten belangrijk zijn en wat een grote invloed heeft in het totale kostenplaatje van een product. En waar bijvoorbeeld moet gekeken worden om aanpassingen of besparingen door te voeren in de scope, design, materialen, ... . Deze berekeningen zijn aanpasbaar en kunnen bijvoorbeeld bijgewerkt worden wanneer het ontwerpproces concreter wordt om zo naar een finale berekening te streven.

Tabel 7: Resultaat van de kosteninschatting van de dakkoffer demonstrator

	Persproces vlas-PLA		Percentage t.o.v. totaal	
Materiaal	61,71	euro	25,59	%
Tooling	70,00	euro	29,02	%
Equipment	51,97	euro	21,55	%
Arbeid & Overhead	57,50	euro	23,84	%
<b>Kostprijs totaal</b>	<b>241,18</b>	<b>euro</b>		



Figuur 6: Resultaat van de kosteninschatting per kostencategorie voor de dakkoffer demonstrator

## 2.2 Case dienblad, Esawi & Ashby methode

Naast de dakkoffer case is met de Esawi & Ashby methode ook een kosteninschatting gemaakt voor de dienblad demonstrator. Deze demonstrator heeft in het project twee designs met telkens een andere productiemethode. Zo is een dienblad geproduceerd met een vacuüminfusie methode dat bestaat uit zowel een vlasnet als een vlasweefsel en is een dienblad geproduceerd met een hand lay-up methode dat enkel bestaat uit een vlasnet. Deze sectie overloopt beide designs.

### 2.2.1 Vacuüminfusie methode – vlasweefsel + vlasnet

Tabel 8 en 9 tonen de scope, processtappen, arbeidstijd en benodigdheden waarop de berekeningen gebaseerd zijn. Zo wordt een dienblad van 26 x 31 cm beschouwd dat bestaat uit vlasvezels (vlasnet + vlasweefsel) en bio-epoxy (Greenpoxy). De gewichtsfracties zijn ingeschat aan de hand van labotesten. De ingeschatte arbeidstijd voor alle processtappen samen bedraagt 83,5 minuten per stuk.

Tabel 10, 11 en 12 tonen verder welke veronderstellingen en inschattingen gemaakt zijn als ruwe kosteninschatting. Buiten dat in deze case een afschrijvingstijd van 5 jaar wordt gebruikt voor de equipment kosten, is de berekeningsmethode dezelfde als in Sectie 2.1. Hierdoor gaat dit verslag hier niet verder op in.



Tabel 8: Scope van de kosteninschatting voor de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie

Scope	Dienblad met vlasnet+weefsel greenpoxy geproduceerd met vacuüm infusie	
Energiekost niet meegerekend		
Productie aantal	1000	stuks
Oppervlakte per product	0,104	m <sup>2</sup> 31 cm lengte, 26 cm breedte
totaal gewicht	231,5	g
Vlasweefsel gewichtsfractie	0,11	
Vlasnet gewichtsfractie	0,21	
Hars gewichtsfractie	0,50	
Uitharder gewichtsfractie	0,18	
Arbeidstijd per stuk	83,5	min
Arbeidstijd per stuk	1,39	uur/stuk
Stuks per uur	0,72	stuks/uur

Tabel 9: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van een dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie

	Processtappen	Arbeidstijd/stuk (min)	Benodigdheden	
1	Voorknippen materiaal	1,5	Snijmachine	Manueel met snijmachine
2	Voordrogen	0	Oven	
3	Lay-up	5	mal	
4	Installatie vacuümzak	45	Vacuüminstallatie, Vacuümzak, peelply, vacuümkanaal, flowmesh, tape	
5	Preparatie hars	10	Hars + uitharder	
6	Infusie	10	/	
7	Uitharden in oven	2	Oven	
8	Ontmallen	5	/	
9	Randafwerking	5	Handfrees	Manueel met handfrees
	<b>Totaal</b>	<b>83,5</b>		

Tabel 10: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materialprijs van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie

Materiaalprijs			
Massa vlasweefsel	25,465	g	per stuk
Massa vlasnet	48,615	g	per stuk
Massa Greenpoxy hars	114,92	g	per stuk
Massa Greenpoxy hardener	42,50	g	per stuk
Prijs vlasweefsel	51,75	euro/kg	<a href="https://www.easycomposites.eu/200g-22-twill-flax-fibre-cloth">https://www.easycomposites.eu/200g-22-twill-flax-fibre-cloth</a>
Prijs vlasnet	103,5	euro/kg	Veronderstelling prijs van vlasweefsel*2
Prijs Greenpoxy hars	27	euro/kg	Via Sicomin
Prijs Greenpoxy hardener	23,7	euro/kg	Via Sicomin
Scrap rate f	5	%	verloren materiaal tijdens productie
<b>Totale materialprijs</b>	<b>11,0</b>	<b>euro/stuk</b>	

Tabel 11: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie

Tooling en Consumables kost			
Prijs mal C_t1	500	euro	glasvezel-polyester materiaal + werkuren
Prijs Vacuümzak C_t2	1	euro/stuk	inschatting
Prijs Peelply C_t3	1	euro/stuk	inschatting
Prijs Vacuümkanaal C_t4	1,2	euro/stuk	inschatting
Prijs Flowmesh C_t5	0,5	euro/stuk	inschatting
Prijs Tape C_t6	1,4	euro/stuk	inschatting
Levensduur mal	1000	stuks	inschatting
Afronding levensduurmal/productieaantal	1		
Tooling kost C_t	5,6	euro/stuk	

Tabel 12: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met vacuüminfusie

Equipment kost			
Prijs Snijmachine C_c1	1000	euro	<a href="https://www.confectiemachinesmaes.be/">https://www.confectiemachinesmaes.be/</a>
Prijs Oven C_c2	1250	euro	<a href="https://www.quirumed.com/be_nl/">https://www.quirumed.com/be_nl/</a>
Prijs Vacuüminstallatie C_c3	500	euro	<a href="https://polyestershoppen.be/vacuuummaterialen/">https://polyestershoppen.be/vacuuummaterialen/</a>
Prijs Handfrees C_c4	250	euro	<a href="https://www.manutan.be/nl/mab/">https://www.manutan.be/nl/mab/</a>
Loadfactor Snijmachine L_c1	10		
Loadfactor Oven L_c2	1		
Loadfactor Vacuüminstallatie L_c3	1,25		
Loadfactor Handfrees L_c4	10		
Afschrijvingstijd equipment	8800	uur	5 jaar
Equipment kost	0,3	euro/stuk	

### 2.2.2 Hand lay-up – vlasnet

Tabel 13 en 14 tonen de scope, processtappen, arbeidstijd en benodigdheden waarop de berekeningen gebaseerd zijn. Zo wordt een dienblad van 26 x 31 cm beschouwd dat bestaat vlasvezels (enkel vlasnet) en bioepoxy (Greenpoxy). De gewichtsfracties zijn ingeschat aan de hand van labotesten. De ingeschatte arbeidstijd voor alle processtappen samen bedraagt 83,5 minuten per stuk.

Tabel 15, 16 en 17 tonen verder welke veronderstellingen en inschattingen gemaakt zijn als ruwe kosteninschatting. Buiten dat in deze case een afschrijvingstijd van 5 jaar wordt gebruikt voor de equipment kosten, is de berekeningsmethode dezelfde als in Sectie 2.1. Hierdoor gaat dit verslag hier niet verder op in.

Tabel 13: Scope van de kosteninschatting voor de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up

Scope	Dienblad met vlasnet greenpoxy geproduceerd handlay-up		
Energiekost niet meegerekend			
Productie aantal	1000	stuks	
Arbeidstijd per stuk	29,5	min	
Arbeidstijd per stuk	0,49	uur/stuk	
Stuks per uur	2,03	stuks/uur	
Oppervlakte per product	0,1044	m <sup>2</sup>	31 cm lengte, 26 cm breedte
totaal gewicht	150	g	
Vlasnet gewichtsfractie	0,254		
Hars gewichtsfractie	0,545		
Uitharder gewichtsfractie	0,201		

Tabel 14: Inschatting processtappen, arbeidstijd per processtap en benodigdheden voor het thermocompressie proces bij de productie van een dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up

	Processtappen	Arbeidstijd/stuk (min)	Benodigdheden	
1	Voorknippen materiaal	1,5	Snijmachine	Manueel met snijmachine
2	Voordrogen	0	Oven	
3	Preparatie hars	10	Hars + uitharder	
4	Hand lay-up	10	mal + roller	
5	Uitharden in oven	2	Oven	
6	Ontmallen	1		
7	Randafwerking	5	Handfrees	Manueel met handfrees
	<b>Totaal</b>	<b>29,5</b>		

Tabel 15: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de materiaalprijs van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up

Materiaalprijs			
Massa vlasnet	38,1	g	per stuk
Massa Greenpoxy hars	81,69	g	per stuk
Massa Greenpoxy hardener	30,21	g	per stuk
Prijs vlasnet	103,5	euro/kg	Veronderstelling prijs van vlasweefsel*2
Prijs Greenpoxy hars	27	euro/kg	Via Sicomin
Prijs Greenpoxy hardener	23,7	euro/kg	Via Sicomin
Scrap rate f	5	%	verloren materiaal tijdens productie
<b>Totale materiaalprijs</b>	<b>7,23</b>	<b>euro/stuk</b>	

Tabel 16: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de tooling en consumables kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up

Tooling en Consumables kost			
Prijs mal C_t1	1000	euro	glasvezel-polyester materiaal + werkuren
Prijs Roller C_t2	2	euro/stuk	<a href="https://www.manutan.be/nl/mab/">https://www.manutan.be/nl/mab/</a>
Levensduur mal	1000	stuks	
Afronding levensduurmal/productieaantal	1		
<b>Tooling kost C_t</b>	<b>3</b>	<b>euro/stuk</b>	

Tabel 17: Oplijsting inschattingen voor de berekening van de equipment kost van de dienblad demonstrator geproduceerd met hand lay-up

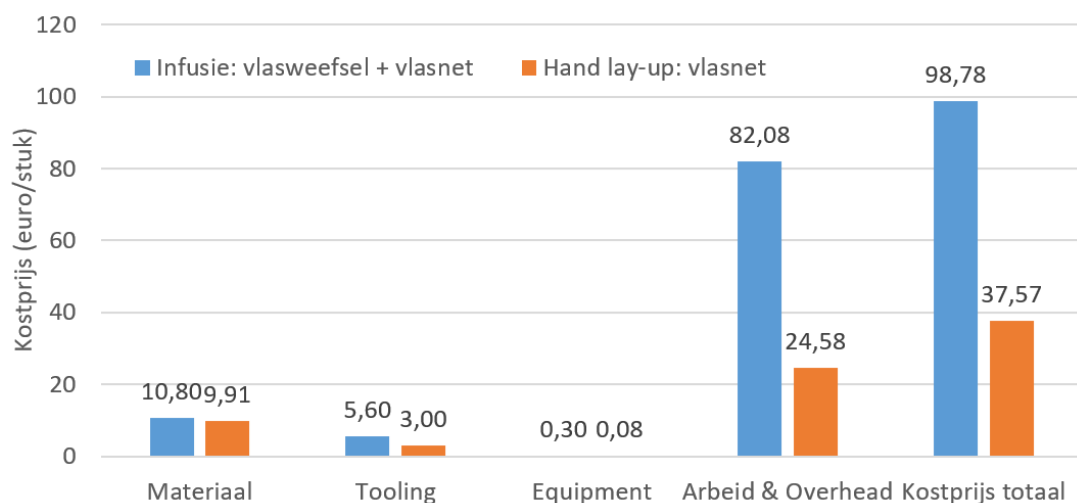
Equipment kost			
Prijs Snijmachine C_c1	1000	euro	<a href="https://www.confectiemachinesmaes.be/">https://www.confectiemachinesmaes.be/</a>
Prijs Oven C_c2	1250	euro	<a href="https://www.quirumed.com/be_nl/">https://www.quirumed.com/be_nl/</a>
Prijs Handfreezes C_c3	250	euro	<a href="https://www.manutan.be/nl/mab/">https://www.manutan.be/nl/mab/</a>
Loadfactor Snijmachine L_c1	10		
Loadfactor Oven L_c2	1		
Loadfactor Handfreezes L_c3	10		
Afschrijvingstijd equipment	8800	uur	5 jaar
Equipment kost	0,08	euro/stuk	

### 2.2.3 Overzicht Resultaten

Figuur 7 toont een overzicht van de resultaten voor zowel de infusiemethode als de hand lay-up methode. Het is belangrijk om te herhalen dat dit ruwe cijfers zijn vanwege veel onzekerheden en inschattingen. Wat wel duidelijk te zien is, is dat voor deze processen de arbeidstijd cruciaal is tegenover de totale kostprijs. Zo heeft de hand lay-up methode een veel lagere totaalkost als resultaat en komt dit hoofdzakelijk door de lagere arbeidstijd. Door dit resultaat zou bij een verdere uitwerking van deze demonstrator de focus deels gelegd kunnen worden op een vermindering van de arbeidstijd.

Op vlak van materiaalprijs is het mogelijks opvallend hoe vergelijkbaar beide methodes zijn, ondanks dat bij de infusiemethode een vlasweefsel is toegevoegd. Dit komt doordat de vacuümdruk overvloedig hars uit de vezels drukt in het infusieproces, wat niet het geval is bij de hand lay-up methode. Hierdoor bevindt er zich heel wat minder hars in het vlasweefsel + vlasnet product en wordt de kost hierdoor gedrukt.

Deze berekeningen zijn aanpasbaar en kunnen bijvoorbeeld bijgewerkt worden wanneer het ontwerpproces concreter wordt om zo naar een finale berekening te streven.



Figuur 7: Vergelijking resultaat van de kosteninschatting per kostencategorie voor de dienblad demonstrator geproduceerd met de hand lay-up - en de vacuüminfusie methode

### 2.3 Case dienblad, DeMaCo methode

Naast de voorbeeldcases met de Esawi & Ashby methode is ook één voorbeeld case uitgewerkt met de DeMaCo methode. Dit DeMaCo model is geschikt om te gebruiken bij een vacuüminfusie, RTM en RTM-light proces. Hierdoor is de voorbeeldcase uitgewerkt voor de dienblad demonstrator geproduceerd via vacuüminfusie. De inputinformatie die gebruikt is in dit voorbeeld is steeds zo goed mogelijk gelijk gehouden met de dienblad case voor de Esawi & Ashby berekening uitgewerkt in Sectie 2.2.

Zoals eerder vermeld in Sectie 1.2, zit algemene expertise reeds verwerkt in de DeMaCo tool. Dat maakt het programma toegankelijker voor een snelle inschatting, maar maakt het ook minder bewerkbaar en hierbij is niet gedocumenteerd welke formules juist gebruikt worden. Dit zal verder naar voor komen in dit voorbeeld.

Figuur 8 toont de algemene materiaal- en productinformatie die wordt opgevraagd als startpunt voor de berekening. Hierbij is weer een producthoeveelheid van 1000 stuks verondersteld en is uitgegaan van een dienblad met een oppervlak van 29 x 36 cm. Het gewicht en de prijs van het vlasweefsel en -net is gebaseerd op de waarden van Tabel 8 en 10. Als materiaalfamilie zijn glasvezels geselecteerd aangezien de tool niet aangepast is aan natuurvezels en enkel glas of koolstofvezel te selecteren zijn. De invloed hiervan is niet expliciet gedocumenteerd in het model.

#### General Data

Total part quantity:		1000
Material family:	?	Glass
Geometry definition of the part:		
<input checked="" type="radio"/> by Surface <input type="radio"/> by Mass (A layup is needed for the calculation of the part geometry by		
surface in m <sup>2</sup> :	?	0.1044
mass in g:	?	2000

Layup			
<input type="checkbox"/> 1. Use this layup to define the geometry by Mass and/or to calculate Injection Costs			?
<input checked="" type="checkbox"/> 2. Use this layup to calculate preforming cost			
Fabric type	Fabric weight in g/m <sup>2</sup>	Cost in €/m <sup>2</sup>	Number of layers
<input checked="" type="checkbox"/> Vlasweefsel	243.9	12.6	1
<input checked="" type="checkbox"/> Vlasnet	465.7	48.2	1
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<b>Total</b>	709.6	60.8	2
Clear Values		Confirm Values	
Show expert settings		Next Step: Preforming ->	

Figuur 8: Algemene informatie die wordt opgevraagd en is ingevuld voor de dienblad case in de DeMaCo tool

Figuur 9 toont hoe de voorvormkosten worden berekend in de DeMaCo tool. Deze kosten worden opgedeeld in productkosten, projectkosten en investeringskosten. Productkosten

zijn kosten die vaststaan per product, hierbij wordt o.a. als input gevraagd wat de drapeerbaarheid en oppervlaktecomplexiteit is. Figuur 10 toont de richtlijn om de oppervlaktecomplexiteitswaarde te bepalen. Uit de input voor productkosten berekent de DeMaCo tool materiaalkosten (o.a. rekening gehouden met afvalfractie), drapeerkosten (arbeidskosten) en kosten voor het voorsnijden van het materiaal (arbeidskosten). Figuur 11 toont de formules hierachter. De waarden achter deze formules zijn echter niet gedocumenteerd in het DeMaCo model.

Verder komt in deze berekening voor de voorvormstap geen projectkost aan bod en wordt als investering de kosten voor een snijmachine gerekend.

### Preforming cost

Product cost	
simple draping value: ?	1
Surface complexity: ?	1
Circumference in m: ?	1.30
Gelcoat: ?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
<input type="button" value="Clear Data for Product Costs"/> <input type="button" value="Calculate Product Costs"/>	
Unit cost	
Material cost in €/unit:	8.25
Draping cost in €/unit:	1.61
Cutting cost in €/unit:	9.1
Total product cost in €/unit:	18.96
Preforming Process Time in min:	2.13

Project cost <input checked="" type="checkbox"/> Include in calculation	
Tool Cost in €: ?	0
<input type="button" value="Clear Data for Project Costs"/> <input type="button" value="Calculate Project Costs"/>	
Project cost in €/unit:	0

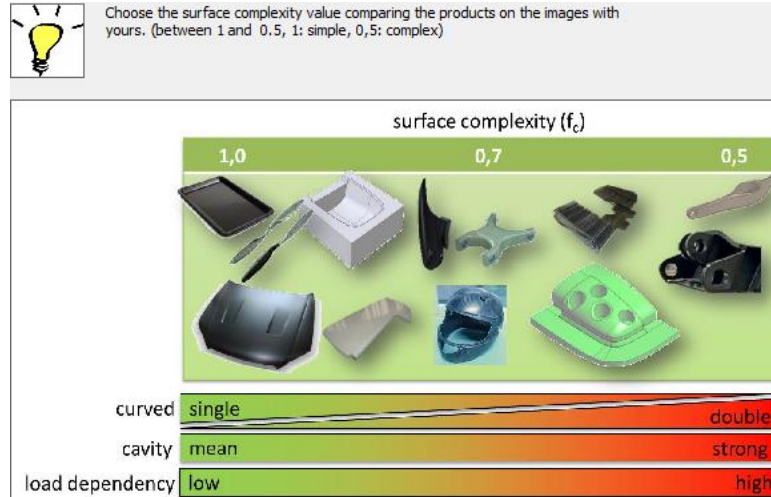
Investment cost <input checked="" type="radio"/> Include in Calculation <input type="radio"/> Do not include ?						
	Equipment type: ?	Investment cost in €:	Quantity per hour: ?	Utility Factor in %: ?	Depreciation time [years]: ?	Overhead in €/h: ?
<input checked="" type="checkbox"/> Machine 1	Oven	1250	60	100	5	50
<input type="checkbox"/> Machine 2						
<input type="checkbox"/> Machine 3						
<input type="checkbox"/> Machine 4						
<input type="checkbox"/> Machine 5						
<input type="checkbox"/> Machine 6						
<input type="checkbox"/> Machine 7						
<input type="checkbox"/> Machine 8						
<input type="button" value="Clear Data for Investment Costs"/> <input type="button" value="Calculate Investment Costs"/>						
Result						
Investment cost in €/unit:		0.83				

<input type="button" value="Calculate total preforming cost"/>	Total Preforming cost in €/unit:	20.29
Total Preforming cost of the lot in €:		20290

Figuur 9: DeMaCo - Voorvormkost opgedeeld in product-, project- en investeringskosten voor de dienblad case



Figuur 10: Richtlijn in de DeMaCo tool om de waarde voor oppervlaktecomplexiteit te bepalen

$$C_{preforming} = C_{material} + C_{cutting} + C_{draping}$$

$$\text{with } C_{cutting} = \frac{n L_i}{V_{cutting}} \cdot C_{lab}$$

$$\text{and } C_{draping} = \frac{1}{K_{draping} \cdot K_{surface}} \cdot \frac{n A_{part}}{V_{draping}} \cdot r_{lab}$$

where  $C_{material}$  is the cost for textiles including a scrap ratio,  $C_{cutting}$  is the cost for cutting ( $n$  being the number of plies,  $L_i$  the circumference of the plies,  $V_{cutting}$  the cutter speed and  $r_{lab}$  the labor rate);  $C_{draping}$  is the cost for draping,  $K_{draping}$  being the draping coefficient of the textile,  $K_{surface}$  the surface complexity of the part,  $A_{part}$  the ply surface, and  $V_{draping}$  a nominal draping speed.

Figuur 11: Rekenmethode in de DeMaCo tool voor de berekening van de productkosten voor de voorvormstap [6]

De volgende stap in de kostenberekening volgens de DeMaCo methode is de berekening van de kosten van de injectiefase, getoond door Figuur 12. Een beperking in deze berekening is dat enkel standaard epoxy, polyester en polyurethaan harsen in deze tool zijn opgenomen met hieraan vaste materiaaleigenschappen zoals volumefractie per proces en viscositeit aan gelinkt. Het is niet gedocumenteerd met welke formules en met welke veronderstellingen de productkosten in deze stap zijn berekend. Voor de projectkosten wordt de keuze gegeven of met een mal uit aluminium, staal of uit gereedschapsschuim wordt gewerkt. In deze voorbeeldcase is aluminium gekozen omdat de prijs hiervoor in het DeMaCo model het meest aanleunt tegenover de prijs van de reële composieten mal. Voor de berekening van de projectkosten van deze stap vraagt het model een oppervlakte- en randcomplexiteit mee te geven. Hiervoor wordt in het model een guideline meegegeven, die getoond wordt door Figuur 13, vanwege het eenvoudige dienbladmodel is hiervoor waarde '1' gebruikt in de voorbeeldcase.

Als investeringskost is voor deze fase de kost voor het vacuümsysteem meegenomen. Hierbij zijn de veronderstellingen van Tabel 12 gevolgd en is een gebruiksduur van 65 minuten verondersteld (stap 4 + 5 + 6 uit Tabel 9).

Figuur 14 toont de formules achter de berekening van de project- en investeringskost per product.

## Injection cost

Selected Injection Process ?  VARI  RTM-light  RTM

Product cost	
Resin system:	? Epoxide resin_
Resin density in g/cm <sup>3</sup> :	1,15
Resin cost in €/kg:	26.1
Labour rate in €/h:	? 50
<input type="button" value="Clear Data for Product Costs"/> <input type="button" value="Calculate Product Costs"/>	
Unit cost	
Setup cost in €/unit:	0.81
Resin cost in €/unit:	0.77
Labour cost in €/unit:	12.21
Total product cost in €/unit:	13.8
Injection Process Time in min:	14.66

Project cost	
Primary tooling material:	? Aluminium
Surface Complexity (f <sub>c</sub> ):	? 1
edge complexity (f <sub>g</sub> ):	? 1
<input type="button" value="Clear Data for Project Costs"/> <input type="button" value="Calculate Project Costs"/>	
Unit cost	
Tooling cost in €/unit:	0.52
Mould cost in €/unit:	0.1
Mock-Up cost in €/unit:	0
Total project cost in €/unit:	0.62

Investment cost							
<input checked="" type="radio"/> Include in Calculation <input type="radio"/> Do not include           ?							
	Name: ?	Investment cost in €:	Quantity per hour: ?	Utility Factor in %: ?	Depreciation Time [years]: ?	Overhead in €/h: ?	
<input checked="" type="checkbox"/>	Machine 1	Vacuum System_	500	0.92	80	5	50
<input type="checkbox"/>	Machine 2						
<input type="checkbox"/>	Machine 3						
<input type="checkbox"/>	Machine 4						
<input type="checkbox"/>	Machine 5						
<input type="checkbox"/>	Machine 6						
<input type="checkbox"/>	Machine 7						
<input type="checkbox"/>	Machine 8						
<input type="button" value="Clear Data for Investment Costs"/> <input type="button" value="Calculate Investment Costs"/>							
Result							
Investment cost in €/unit:		54.36					

<input type="button" value="Calculate total Injection Costs"/>	Total Injection cost in €/unit:	68.78
	Total Injection cost of the lot in €:	68780

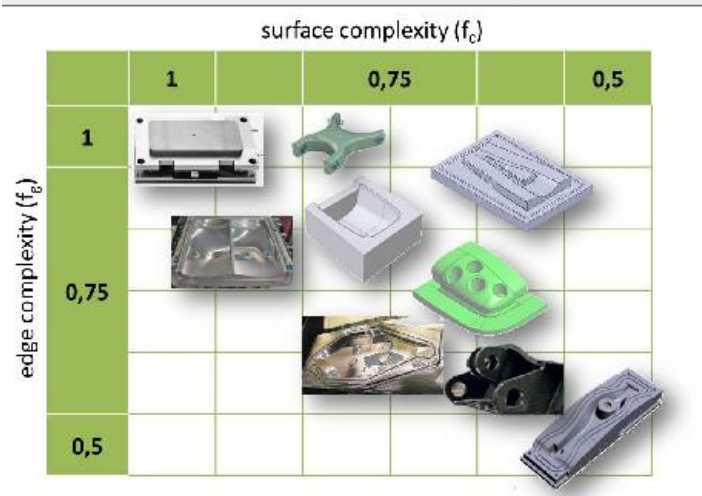
Figuur 12: DeMaCo - Injectiekost opgedeeld in product-, project- en investeringskosten voor de dienblad case





Choose the surface complexity factor  $f_c$  and the edge complexity factor  $f_e$  comparing the products on the photos with yours and enter the value into the field. (between 1 and 0,5, 1: simple, 0,5: complex)

Note that the edge complexity factor is the same as in the preforming section.



Figuur 13: Guideline voor de waarden voor oppervlakte- en randcomplexiteit

$$C_{tooling} = \frac{1}{n_{lot}} \cdot \left( A C_{mockup} \frac{1}{K_{surface} \cdot K_{edge}} + C_{mold} + C_{countermold} \right)$$

where  $n_{lot}$  is the number of produced parts,  $C_{mockup}$  is a nominal cost for a mockup of 1 m<sup>2</sup>,  $K_{surface}$  and  $K_{edge}$  are complexity factors for surface and mold periphery, and  $C_{mold}$  and  $C_{countermold}$  are the cost for the actual mold fabrication, and

$$C_{investment} = \frac{1}{r_{production}} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C_{equipment,i}}{t_{depreciation,i}} \cdot F_{load,i} + r_{overhead,i} \right]$$

where  $r_{production}$  is the production rate,  $C_{equipment,i}$  is the purchase cost of equipment  $i$ ,  $t_{depreciation}$  is the depreciation time,  $F_{load}$  is a load factor – the fraction of time for which the equipment is productive. The overhead rate  $r_{overhead}$ , finally, consists of cost for administration, rent, R&D, etc.

Figuur 14: Formules achter de berekening van de product- en investeringskost [6]

Als laatste stap wordt in de DeMaCo tool de afwerkingskost berekend, getoond door Figuur 15. In deze stap is het mogelijk om voor verschillende afwerkingshandelingen (frezen, boren, polijsten, ...) met een minimale input een afwerkingskost te berekenen per product. In het voorbeeld voor de dienbladcase is hierbij verondersteld dat de dienbladranden worden afgewerkt met behulp van een CNC 3 axiale freesmachine. Hoe de kost hiervan is berekend in de tool is niet gedocumenteerd.

Als investeringskost is voor deze fase de kost van een freesmachine meegenomen, hierbij zijn de veronderstellingen van Tabel 12 gevolgd en is, zoals in Tabel 9, uitgegaan van een freesduur van 5 minuten.

### Finishing cost

Product cost			
<b>Milling/ Trimming</b> <input checked="" type="checkbox"/> Include in Calculation		<b>Drilling</b> <input type="checkbox"/> Include in Calculation	
Process:	<input type="text" value="?"/> CNC 3 Axis	Process:	CNC 3 Axis
Number of setups:	<input type="text" value="?"/> 1	Quantity:	<input type="text" value="?"/>
Serie:	<input type="text" value="?"/> 1000	Number of setups:	1
Fixture/jig:	<input type="text" value="?"/> <input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	Serie:	<input type="text" value="?"/>
Length in mm:	<input type="text" value="?"/> 1300	L/D:	<input type="text" value="?"/>
<b>Pockets</b> <input type="checkbox"/> Include in Calculation		<b>Polishing</b> <input type="checkbox"/> Include in Calculation	
Process:	CNC 3 Axis	Number of setups:	1
Number of setups:	1	Surface:	<input type="text" value="?"/>
Serie:	1000	Complexity:	<input type="text" value="?"/> Flat
Mold:	<input type="text" value="?"/> <input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		
Volume in mm <sup>3</sup> :	<input type="text" value="?"/> 300		
<b>Threading</b> <input type="checkbox"/> Include in Calculation		<b>Deburring</b> <input type="checkbox"/> Include in Calculation	
Quantity:	<input type="text" value="?"/>	Serie:	<input type="text" value="?"/>
Serie:	<input type="text" value="?"/>	Number of Holes:	<input type="text" value="?"/>
L/D:	<input type="text" value="?"/>	Length in mm:	<input type="text" value="?"/>
Clear Data for Product Costs		Calculate Product Costs	
	Machining time in min	Total process time in min	cost in €/ unit
Milling/Trimming	<input type="text" value="4.33"/>	<input type="text" value="6.97"/>	<input type="text" value="6.97"/>
Pocket	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Drilling	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Finishing	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Threading	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Deburring	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
<b>Total:</b>	<input type="text" value="4.33"/>	<input type="text" value="6.97"/>	<input type="text" value="6.97"/>

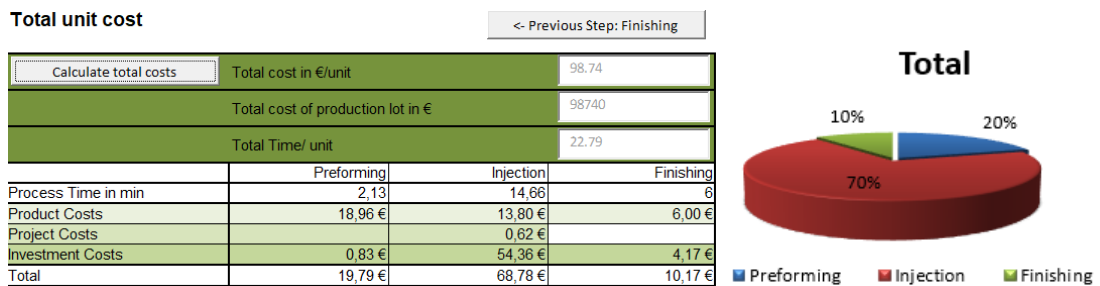
Investment cost <input checked="" type="checkbox"/> Include in Calculation <input type="checkbox"/> Do not include <input type="text" value="?"/>						
	Name:	Investment cost in €:	Quantity per hour:	Utility Factor in %:	Depreciation Time [years]:	Overhead in €/h:
<input checked="" type="checkbox"/> Machine 1	Milling 3 Axis_	250	12	10	5	50
<input type="checkbox"/> Machine 2						
<input type="checkbox"/> Machine 3						
<input type="checkbox"/> Machine 4						
<input type="checkbox"/> Machine 5						
<input type="checkbox"/> Machine 6						
<input type="checkbox"/> Machine 7						
<input type="checkbox"/> Machine 8						
Clear Data for Investment Costs		Calculate Investment Costs				
<b>Results:</b>						
Investment cost in €/unit:		<input type="text" value="4.17"/>				

Calculate total Finishing Costs	Total Finishing cost in €/unit:	<input type="text" value="10.17"/>
		Total Finishing cost of the Lot in €:
		<input type="text" value="10170"/>

Figuur 15: DeMaCo - Afwerkingskost opgedeeld in product- en investeringskosten voor de dienbladcase

Figuur 16 toont het totaaloverzicht van de kostenberekening voor de dienbladcase met hierbij een taartdiagram dat de verdeling weergeeft tussen de voorvorm-, injectie- en afwerkingskosten. Sectie 2.2 toonde eerder dat voor dit productieproces het aandeel in arbeidskosten zeer groot is. Deze arbeidskosten zitten in deze berekening vooral in het aandeel van de injectiefase, hierdoor heeft deze fase de grootste contributie in de berekening. De totale kost van een product komt in deze berekening neer op 98,74 euro. Dit is zo goed als gelijk als de uitkomst van de berekening met de Esawi & Ashby methode van Sectie 2.2, wat 98,78 euro was. Deze overeenkomst is toeval, aangezien de berekeningsmethoden sterk verschillen.

Veel formules en gebruikte veronderstellingen zijn in de DeMaCo tool niet gedocumenteerd en kunnen dus sterk verschillen van de berekening in Sectie 2.2. De tool is echter gebruiksvriendelijk, snel en leidt tot een uitkomst. Het is aangeraden om de expertinstellingen aan te passen om deze tool, gemaakt door RWTH Aachen, TU Clausthal en Sirris in 2013, vandaag te gebruiken voor prijsberekeningen van (bio)composieten producten. Indien u deze tool met expertinstellingen wilt gebruiken, kan u contact opnemen met [innovation@sirris.be](mailto:innovation@sirris.be), met vermelding van 'CO Cornet Design for manufacture of composite'.



Figuur 16: Totaaloverzicht van de kostenberekening voor de dienblad case in de DeMaCo tool

### 3 Conclusie:

Dit verslag toont het belang van kosteninschatting tijdens de designfase en geeft een overzicht van technieken om een kosteninschatting te doen. 3 modellen worden besproken:

- Een simpel CER model gebaseerd op het werk van Esawi en Ashby. De eenvoud en flexibiliteit van dit model is een groot voordeel. Ook meer gedetailleerde en op maat gemaakte berekeningen zijn mogelijk met dit model, dit vergt echter expertise van de gebruiker.
- Een meer gedetailleerd CER model, DeMaCo-model, waarin verschillende processtappen in de productie en nabewerking van thermohardende composieten reeds verwerkt zijn. Het voordeel aan de DeMaCo tool is dat algemene expertise in de tool verwerkt zit. Hierdoor is het programma toegankelijk om een snelle inschatting te maken en kunnen ook mensen met weinig ervaring in composietproductie hier gebruik van maken. Een nadeel is dat formules en gegevens waarmee de tool werkt niet bewerkbaar en niet gedocumenteerd zijn.
- Een uitgebreid parametrisch model, het SEER model. Dit model is ontwikkeld en commercieel verdeeld door Galorath Incorporated. Deze software is vanwege de nodige invoergegevens minder eenvoudig en meer tijdsintensief om te gebruiken dan de vorige twee modellen. Hierdoor wordt aangeraden om dit model enkel te raadplegen voor complexe en uitgebreide kosteninschattingen waarbij het niet mogelijk is om een eenvoudig model te gebruiken.

Als test en verduidelijking van de verschillende methodes zijn in dit verslag drie voorbeeldcases uitgewerkt met een kosteninschatting van de demonstratoren. Zo is voor de Esawi & Ashby methode een voorbeeldcase uitgewerkt voor de dienblad en dakkoffer demonstrator en met de DeMaCo methode een voorbeeldcase uitgewerkt voor de dienblad demonstrator. Deze voorbeeldcases zijn ruwe prijsinschattingen. Tijdens de designfase zorgt dit toch voor extra voeling met wat de belangrijke aandachtspunten zijn voor het totale kostenplaatje van een product. Deze berekeningen kunnen dienen als een startpunt, zijn aanpasbaar en kunnen bijvoorbeeld bijgewerkt worden wanneer het ontwerpproces concreter wordt om zo naar een finale berekening te streven.

Het resultaat van de dakkoffer demonstrator toont een vergelijkbare contributie van materiaal-, tooling- en arbeid & overhead kost. Naast de dakkoffercase is met de Esawi & Ashby methode ook een kosteninschatting gemaakt voor de dienblad demonstrator. De resultaten hiervan tonen dat arbeidskost duidelijk het grootste aandeel heeft in de totaalkost. Vanwege de lagere arbeidstijd en -kost voor dit product geeft de hand lay-up productiemethode een lagere totaalkost per product dan de vacuüminfusie methode.

Van de dienblad demonstrator is ook met het DeMaCo model een prijsinschatting gemaakt. De totaalkost per product is zo goed als gelijk als de uitkomst van de berekening met de Esawi & Ashby methode. Aangezien de gebruikte formules en veronderstellingen in de DeMaCo tool niet gedocumenteerd zijn, zegt deze uitkomst relatief weinig. Zicht op en de mogelijkheid om de expertinstellingen aan te passen is aangeraden om deze tool, gemaakt in 2013, vandaag te gebruiken voor prijsberekeningen van (bio)composieten producten.

## Referenties

- [1] D. G. Ullman, *The mechanical design process*, Boston: McGraw-Hill, 2010.
- [2] A. Niazi, J. S. Dai, S. Balabani en L. Seneviratne, „Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, London, 2006.
- [3] G. D., „Why Can't People Estimate: Estimation Bias and Strategic Mis-Estimation,” in *Webinar*, 2014.
- [4] A. Esawi en M. Ashby, „Cost estimates to guide pre-selection of processes,” in *Materials & Design*, Elsevier, 2003, pp. 605-616.
- [5] M. Kaufmann, „Design for Manufacture of Composites, Final Report,” Leuven, 2013.
- [6] M. Kaufmann, D. C. Berg, C. Greb, M. Cetin, B. Waeyenbergh en T. Jacobs, „Design for manufacture for liquid composite molding,” *Composites Week @ Leuven and TexComp-11 conference*, Leuven, 2013.
- [7] Galorath, „Gain Deeper Insights To Optimize Your Profit Margin,” [Online]. Available: <https://galorath.com/products/seer-for-manufacturing/>.