

**PROBLEEMOPLOSSEN EN ONTWERPEN, DEEL 3**

***MECHB5***

*Stijn Sillen  
Wouter Theetaert  
Benoît Trigaux  
Wannes Van Beneden  
Dimitri Van Camp  
Ruben Vancoillie*

**Ontwikkeling van een eenvoudige  
myo-elektrische handprothese**

EINDVERSLAG

Co-titularis

Prof. Dominiek Reynaerts  
Prof. Jos Van der Sloten

Begeleider(s)

P. Goethals  
E. Forausbergher

# Ontwikkeling van een eenvoudige myo-elektrische handprothese

Team MECHB5

Eindverslag



# Inhoudsopgave

<b>1 Doel</b>	<b>6</b>
<b>2 Opsplitsen van het probleem</b>	<b>6</b>
2.1 Functie . . . . .	6
2.2 Beweging van de vingers . . . . .	6
2.3 Beweging van de pols . . . . .	6
2.4 Stevigheid . . . . .	7
2.5 Esthetiek . . . . .	7
2.6 Externe omstandigheden . . . . .	7
2.7 Betrouwbaarheid . . . . .	7
<b>3 Ontwerp</b>	<b>8</b>
3.1 Model 1 . . . . .	8
3.1.1 Een korte beschrijving . . . . .	8
3.1.2 Samenvatting . . . . .	10
3.1.3 Pro's en contra's . . . . .	10
3.2 Model 2 . . . . .	11
3.2.1 Een korte beschrijving . . . . .	11
3.2.2 Samenvatting . . . . .	11
3.2.3 Pro's en contra's . . . . .	12
3.3 Besluit . . . . .	12
<b>4 Motorkeuze</b>	<b>13</b>
4.1 Soorten motoren . . . . .	13
4.2 Pols . . . . .	13
4.3 Vingers . . . . .	13
<b>5 Materiaalkeuze</b>	<b>15</b>
5.1 Globale keuzes . . . . .	15
5.2 Diepere studie Aluminium - Staal . . . . .	15
<b>6 Sturing</b>	<b>16</b>
<b>7 Berekeningen</b>	<b>17</b>
7.1 Mechanisch . . . . .	17
7.2 Thermodynamisch . . . . .	19
<b>8 Vakintegratie</b>	<b>20</b>
<b>9 Kostenanalyse</b>	<b>21</b>
9.1 Ontwikkelingskost . . . . .	21
9.1.1 Lonen . . . . .	21
9.1.2 Materiaal . . . . .	21

9.2 Productiekost . . . . .	22
<b>10 Besluit</b>	<b>23</b>
<b>A Functionele decompositie</b>	<b>24</b>
<b>B Waardenanalyse van de motoren</b>	<b>25</b>
<b>C Sturing</b>	<b>27</b>
<b>D Technische fiche</b>	<b>28</b>

## Inleiding

Het ontwerp van een eenvoudige myo-elektrische handprothese is, in tegenstelling tot wat de naam doet vermoeden, een complex probleem.

Het is van belang dat het probleem bekeken wordt vanuit zijn verschillende deelproblemen of componenten. Zo krijgt men een aanschouwelijker opdracht (waarbij natuurlijk nooit het globale project uit het oog verloren mag worden).

Bij elk deelprobleem dient de ontwerper verschillende keuzes te maken, hierbij rekening houdend met het budget en de vereisten van het ontwerp. Sommige keuzes liggen voor de hand, andere vereisen een diepere studie. Verderop in dit verslag staan alle gemaakte keuzes met hun verantwoording uitgewerkt.

Later volgt de eigenlijke bouw: de theorie wordt in de praktijk omgezet. Wat tot nu toe enkel op papier stond krijgt eindelijk weerslag in de realiteit.

Zo ontstaat uiteindelijk het finale product: misschien exact de weergave van de begindoelstellingen, maar wel het resultaat van een lang denk- en werkproces en bovendien een resultaat dat voldoet aan de opgave...

## 1 Doel

De minimale vereiste van het ontwerp is dat de handprothese een licht cilindervormig voorwerp kan verplaatsen en dat de pols kan roteren. Het was voor ons belangrijk dat de prothese zo goed mogelijk een echte hand zou benaderen, zeker visueel. Daar deze opdracht menig aspecten heeft is een concreter beeld nodig. Het opsplitsen van het globale beeld in verschillende componenten is hier de oplossing voor.

## 2 Opsplitsen van het probleem

Vooraleer het probleem uit te werken dient het opgesplitst te worden in zijn verschillende componenten.

### 2.1 Functie

De hoofdfunctie van de handprothese is het opnemen en verplaatsen van een cilindervormig voorwerp. De keuze viel op een drankblikje (standaard blik van 33cl) of een glas (eenvoudig cilindervormig model). Het model zal vanzelfsprekend hieraan aangepast worden (bijvoorbeeld bij het bepalen van de kromming van de vingers, zie verder). Verder moet de pols kunnen roteren in beide draaizinnen.

### 2.2 Beweging van de vingers

Het minimale ontwerp bestaat uit twee vingers die naar elkaar toe bewegen en op die manier het voorwerp omklemmen. Het kan echter iets geavanceerder, met name het gebruik van drie (om de driepuntsgreep te verwezenlijken) plus twee (voor het uitzicht, een echte hand heeft 5 vingers) vingers. Dit verhoogt ook het comfort van de patiënt.

Het gebruik van vingers die uit aparte onderdelen bestaan (om zodus de grijpfunctie en het comfort van de patiënt nog verder te verbeteren) zou een surplus betekenen.

### 2.3 Beweging van de pols

De beweging van de pols behoeft niet veel uitleg: enkel een rotatie in beide draaizinnen is vereist. Een rotatie van ongeveer  $180^\circ$  is een mooi richtgetal, daar dit bij een echte pols ook ongeveer zo is. Bovendien moet de pols een vrij groot koppel hebben om zwaardere dingen te kunnen roteren.

## 2.4 Stevigheid

Het is belangrijk dat de prothese stevig is: ze mag niet plooiën onder het gewicht dat wordt opgelegd. Verondersteld wordt dat de maximale belasting 1 kg is. De prothese zelf heeft een eigengewicht van 0.820 kg. Voorts moet de prothese tegen een stootje kunnen (huis-, tuin- en keukengebruik) en de vitale onderdelen van de prothese dienen beschermd te zijn.

## 2.5 Esthetiek

De prothese moet eruit zien als een echte hand en ze moet er zich ook naar gedragen. Concreet betekent dit dat ze visueel amper te onderscheiden<sup>1</sup> mag zijn van een werkelijke hand en dat er geen storende factoren aanwezig zijn (geluiden en dergelijke).

## 2.6 Externe omstandigheden

Het is belangrijk dat de prothese uit roestvrij materiaal wordt gemaakt, om alle ongemakken die met oxidatie gepaard kunnen gaan te voorkomen. Verder moet de prothese ook temperatuursbestendig zijn, in een zelf vastgelegd interval van  $[-25,50]^{\circ}\text{C}$  (eventuele uitzonderingen, bijvoorbeeld voor personen die beroepshalve met extreme temperaturen in contact komen, kunnen afzonderlijk bepaald worden).

## 2.7 Betrouwbaarheid

De prothese moet haar taak op een kwalitatieve manier gedurende een lange periode vervullen. Het is immers niet de bedoeling de prothese jaarlijks te vervangen. . .

---

<sup>1</sup>Het spreekt vanzelf dat dit voor dit project niet haalbaar is, wegens geen tijd en middelen

## 3 Ontwerp

Uit de bovenstaande voorwaarden voor de beweging van de vingers komen twee mogelijke modellen voort. Een beknopte beschrijving van beide is hieronder te vinden.

### 3.1 Model 1

#### 3.1.1 Een korte beschrijving

Bij dit model bestaat elke vinger uit één stuk materiaal, gekromd naar de vorm van een echte vinger. De vinger kan enkel in zijn geheel bewegen. Een afbeelding van het model kan gevonden worden in figuur 1.

Bij het ontwerp van dit model werden vooral echte maten van de hand gebruikt, om ons doel - zo goed mogelijk de hand te benaderen - te bereiken. Hier werd bewust gekozen voor het esthetische, maar het praktische blijft ook behouden door de goede vorm van de vingertoppen.

#### **Grijpgedeelte (de hand)**

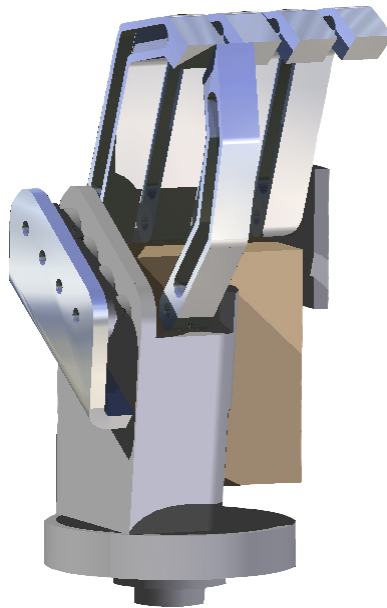
Het gedeelte van de hand dat de grijpfunctie vertegenwoordigt bestaat uit 5 vingers, zoals een echte hand. De wijs-, middel-, ringvinger en pink staan allen vastgeschroefd op een enkele as, zodat deze 4 vingers simultaan open en dicht bewegen. De duim staat op een afzonderlijke as. Bij de hand is bewust gekozen voor 1 motor die de twee asjes, van respectievelijk duim en wijsvinger, aandrijft. Deze keuze staat hier terug volledig in het kader van onze vooropgestelde doelen: de hand zo compact en licht mogelijk maken.

De beweging van de motor wordt overgebracht door gebruik te maken van tandwielen want die zijn heel betrouwbaar en compact. Daarnaast is er ook meer vrijheid om een bepaalde opstelling te realiseren, wat bijvoorbeeld met een riemoverbrenging niet het geval is. De vingers, asjes, motor en tandwielen zullen op hun plaats gehouden worden door hen te bevestigen op een aluminium omhulsel, vervaardigd uit een plaat van 4 mm dikte. Het gebruik van de plaat is hier ook een bewuste keuze om het gewicht en de ruimte te reduceren.

Op figuur 1 is te zien dat de vingers uitgehold worden tot men een soort H-profiel verkrijgt, om het gewicht te verminderen terwijl de sterkte behouden blijft. Eens al deze stukken gemaakt zijn, kunnen ze aan elkaar en aan de pols gelast worden.

Een afbeelding van de hand kan gevonden worden op figuur 1.





Figuur 1: Afbeelding van model 1

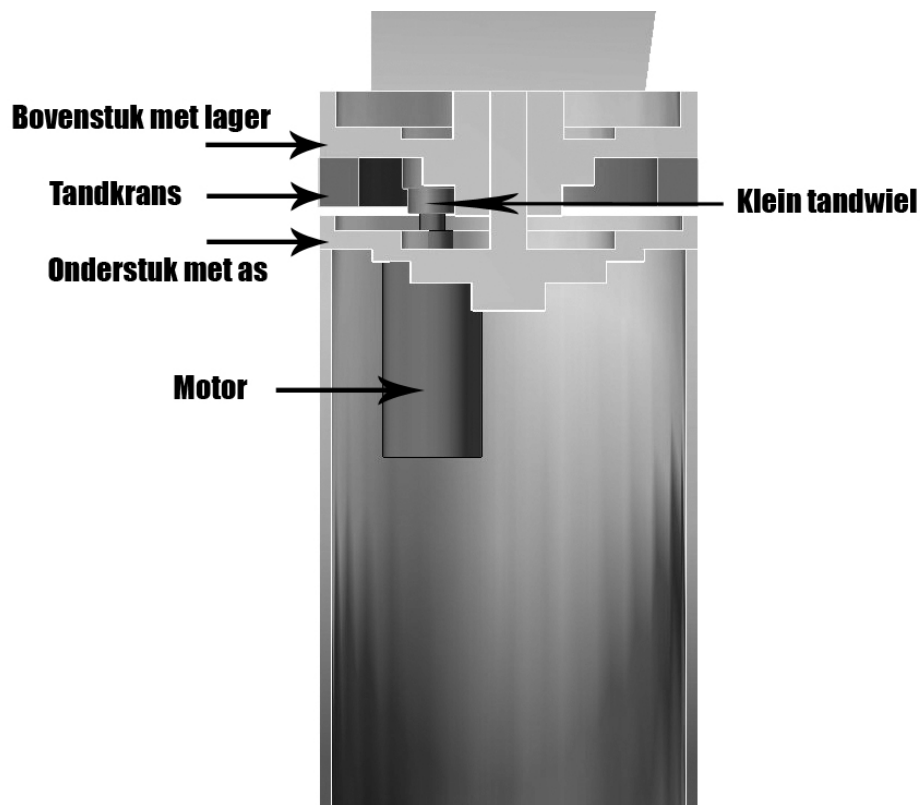
### **De pols**

De ronde vorm van de pols werd gekozen om de hand terug zo goed mogelijk te doen lijken op de hand van een mens. Het mechanisme van de pols is echter eenvoudig: het bestaat uit twee cilindervormige stukken. Op het ene stuk zit een as ingebed en op het andere een lager, zodat beide mooi in elkaar passen en goed kunnen roteren ten opzichte van elkaar.

De pols mag natuurlijk niet uit elkaar vallen wanneer de patiënt zijn hand naar beneden draait; daarom wordt een busje op het uitstekend gedeelte van de as gemonteerd (wanneer de twee cilindervormige stukken van de pols in elkaar geschoven zijn). Voor de rotatie van de pols werd gekozen voor een binnentandkrans en een tandwiel. De tandkrans wordt op het stuk met de lager gemonteerd. Op het stuk met de as wordt de motor dan vastgezet en het kleine tandwiel wordt op de as van de motor gemonteerd.

Om een stuk arm te creëren maakt men gebruik van een holle aluminium buis, waar later de sturing en de batterijen ook in geplaatst kunnen worden om de hand zo autonoom mogelijk te maken.

Een afbeelding van de pols kan gevonden worden in figuur 2.



Figuur 2: De pols van model 1

### 3.1.2 Samenvatting

Item	Inhoud
Vingers	Niet plooibaar, uit één stuk
Aandrijving	Eén motor voor vingers en duim samen
Polsbeweging	Eén motor

### 3.1.3 Pro's en contra's

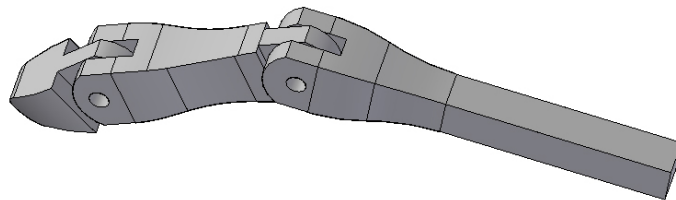
- Pro
  - Meest eenvoudige model
    - \* Eenvoudig te ontwerpen
    - \* Eenvoudig te produceren
  - Quasi zeker dat het werkt
  - Er moet minder materiaal bewerkt worden
  - Gebruik van motoren en volle stukken metaal
    - \* Geen rubber

- \* Weinig schroeven en bouten nodig
- Goedkoper
- Contra
  - Niet echt realistisch (sterk vereenvoudigd)
  - Minder vrijheidsgraden
  - Cilindrisch voorwerp kan niet helemaal omklemd worden (vingers niet zo beweeglijk)
  - Minder mogelijkheden dan met het tweede model

## 3.2 Model 2

### 3.2.1 Een korte beschrijving

Bij dit model bestaat elke vinger uit drie delen, die met scharnieren aan elkaar verbonden zijn. In de vingers zit een gleuf met daarin een elastiek, die verbonden is met een motor. Bij het aanzetten van de motor verkort de elastiek en plooit de vinger. Door de elastiek kan de vinger kracht blijven uitoefenen zonder dat de motor draait. Aan de bovenkant van de vinger zit een veer die zorgt dat de vinger terug in zijn oorspronkelijke positie komt indien de motor in de omgekeerde richting draait. Een afbeelding van de vinger van dit model kan gevonden worden in figuur 3.



Figuur 3: Afbeelding van een vinger van model 2

### 3.2.2 Samenvatting

Item	Inhoud
Vingers	Plooibaar, uit verschillende delen
Plooien van vingers	Gebruik maken van elastiek (voor contractie) en veer (voor ontspanning)
Aandrijving	Aparte motor voor elke vinger
Polsbeweging	Eén motor

### 3.2.3 Pro's en contra's

- Pro
  - De vingers zijn opgedeeld in stukken
    - \* Veel meer bewegingsmogelijkheden
    - \* Meer vrijheidsgraden
    - \* Voorwerp kan beter omklemd worden
  - Ontwerp is realistischer
  - Uitbreidbaarheid
    - \* Mogelijkheid om meerdere vingers toe te voegen
  - Esthetischer
- Contra
  - Moeilijker ontwerp
    - \* Meer materiaal nodig (elastiek en veer!)
    - \* Metaal moet bewerkt worden
    - \* Hoe controleren we de beweging?
  - Duurder
  - Groot moment nodig
  - Praktisch gezien niet haalbaar

### 3.3 Besluit

Model 2 lijkt veel aantrekkelijker (meer mogelijkheden, mooier, eigenlijk gewoon beter) maar de laatste contra weegt loodzwaar: het model is praktisch gezien niet uit te voeren. We kiezen dus voor het eerste model. Een afbeelding van dit model kan gevonden worden op figuur 1.

## 4 Motorkeuze

### 4.1 Soorten motoren

De motoren die tot de mogelijkheden behoren zijn een DC-motor, een stappenmotor, een servomotor en een transmissiemotor. Onderstaande lijst beschrijft de gelijkenissen en verschillen hiertussen.

- **DC-motor**

Een DC-motor draait in het algemeen vrij snel, waarbij de snelheid afhankelijk is van de aangelegde spanning. Bij lage snelheid heeft een DC-motor niet veel kracht indien er geen reductie-overbrenging aanwezig is.

- **Stappenmotor**

Met een stappenmotor is positiebepaling mogelijk. Hij kan traag draaien maar de kracht is vrij beperkt.

- **Servo**

Een servo is een DC-motor met tandwieloverbrenging, een positiesensor en wat elektronica. Het sturen van de positie is mogelijk, voor de snelheidsregeling is echter een complexe sturing nodig.

- **Transmissiemotor**

Een transmissiemotor is een DC-motor met een tandwielkast.

### 4.2 Pols

De enige vereiste voor de pols is dat ze in beide draaizinnen kan roteren. Er is niet veel controle nodig. Uit de algemene waardenanalyse (appendix B, deel 1) blijkt dat voor de pols een DC-motor het meest geschikt is.

Het gamma van *Conrad* biedt enkele mogelijke DC-motors waarvan de waardenanalyse voor de pols in appendix B, deel 2 staat. Deze toont dat de motor van het type *LA16G-324SA* (gekocht in *Teleshop* te Roeselare) de beste eigenschappen heeft. Merk op dat deze motor ook een tandwielkast heeft en dus in feite een transmissiemotor is.

### 4.3 Vingers

Uit de algemene waardenanalyse (appendix B, deel 1) blijkt dat voor de vingers best voor een servomotor wordt geselecteerd. Enkele potentiële kandidaten uit het gamma van *Conrad* ondergingen dan ook een waardenanalyse: appendix B, deel 3.

Echter, een servomotor voldoet niet aan de vooropgestelde vereisten: de

kracht die uitgeoefend wordt kan men niet bepalen. Dit probleem lost zich op door over te schakelen op een DC-motor, die in de algemene waardenanalyse voor de vingers als tweede eindigde. De bijhorende waardenanalyse staat in appendix B, deel 4. Type *2406-13* van *Conrad* komt als winnaar uit de bus. Een tandwielkast vervolledigt de opstelling, zodat het eigenlijk een transmissiemotor is die de vingers aandrijft.

## 5 Materiaalkeuze

### 5.1 Globale keuzes

Een belangrijk deel van het ontwerp is de keuze van de juiste materialen. Verschillende materialen werden aan een kritische blik onderworpen om op die manier tot het beste materiaal te komen. Volgende materialen vielen af:

- Hout (brandgevaar, rotten)
- Plastiek (smeltgevaar bij hoge temperatuur)
- Zamac (slecht bewerkbaar)
- Composiet (meer onderzoek nodig)
- Polyester (te duur)

### 5.2 Diepere studie Aluminium - Staal

Uiteindelijk bleven Aluminium en Staal over. Een korte vergelijkende studie:

- Aluminium
  - Licht ( $2700 \text{ kg/m}^3$ )
  - Sterk
  - Weerbestendig, geen roestvorming dankzij beschermende oxide-laag
  - Goed bewerkbaar
  - Niet giftig
  - Duur (in vergelijking met Staal)
- Staal
  - Zwaar ( $7800 \text{ kg/m}^3$ )
  - Zeer sterk
  - Snellere corrosie in vergelijking met aluminium
  - Goed bewerkbaar
  - Niet giftig
  - Goedkoop

Aangezien het gewicht in ons ontwerp de belangrijkste factor is, werd voor Aluminium gekozen. Het spreekt vanzelf dat andere keuzes te verantwoorden geweest zouden zijn.

## 6 Sturing

Bij het ontwerpen van de sturing is gepoogd een echte hand na te bootsen, vooral op het vlak van de spierwerking. Het is de bedoeling dat de potentiometers die als simulatie van de spiersignalen dienen kunnen vervangen worden door de echte spiersignalen, mits versterking en linearisering van de signalen. Een gedetailleerde uitwerking van de sturing staat in appendix C.

De complexe spanning van de spieren wordt bij de prothese vervangen door twee potentiometers, die een lineair spanningssignaal uitsturen. Twee tegenwerkende signalen (vb. hand openen en hand sluiten) worden met elkaar vergeleken en het hoogste van beide bepaalt de draairichting.

Elders wordt het verschil tussen de spiersignalen berekend. Beide signalen worden enerzijds van elkaar afgetrokken en anderzijds bij elkaar opgeteld. Op deze manier ontstaat op de ene plaats de som van beide, en op de andere een nulspanning (negatieve spanning bestaat niet). Beide optellen geeft het absoluut verschil tussen de signalen dat gebruikt wordt voor de aansturing van de motor.

De spanning uit vorige alinea regelt de pulsbreedte van een PWM-signaal (wat overigens vaak gebruikt wordt voor de aansturing van gelijkstroommotoren) dat, evenals de draairichting, naar de H-brug en daarna naar de motor gestuurd wordt. Het voordeel van deze werkwijze is dat de elektronica zelf slechts zeer weinig energie verbruikt, wat toch zeker belangrijk is bij een draagbaar 'apparaat'.

Als uitbreiding zou ook nog een feedback van de uitgeoefende kracht kunnen gerealiseerd worden. Deze kracht kan worden afgeleid uit het vermogen dat de motor verbruikt. De feedback zou kunnen bestaan uit elektrodes die bepaalde zenuwen stimuleren.



## 7 Berekeningen

### 7.1 Mechanisch

Om het voorwerp op te tillen is een bepaald koppel nodig. Een vereiste is dat de hand een onvervormbare cilindervormige massa van één kilogram kan opheffen en vasthouden. Om de grip zo groot mogelijk te maken worden de vingers met rubber bedekt. De wrijvingscoëfficiënten tussen rubber (aan de hand) en aluminium (van het blikje) is ongeveer 0.65, wat vrij hoog is. Dit betekent dat er een grote wrijvingskracht tussen de twee voorwerpen heerst.

Uit de waardenanalyse is de beste motor naar voor gekomen. Deze heeft een koppel van  $0.6Nm$ . Dit koppel moet aangepast worden aan het hogere koppel dat nodig is om het voorwerp op te heffen. Dat doet men door de snelheid te reduceren. Wanneer men dan het nodige koppel deelt door het koppel van de motor bekomt men de overbrengingsfactor. Deze geeft aan hoe hard het toerental gereduceerd dient te worden.

#### Gegevens

$$f_{rubber} = 0.65 \quad (1)$$

$$M_{motor} = 0.6Nm \quad (2)$$

$$m_{voorwerp} = 1kg \quad (3)$$

#### Afmetingen

$$X = 24 \sin\left(\frac{55\pi}{180}\right) = 19.65964907mm \quad (4)$$

$$Y = 24 \sin\left(\frac{35\pi}{180}\right) = 13.76583447mm \quad (5)$$

$$r = \frac{\sqrt{(x+12)^2 + (y+52)^2}}{1000} = 0.07298957708m \quad (6)$$

In deze laatste formule is  $r$  de afstand tussen de rotatieas en de vingertop.

#### Hoeken

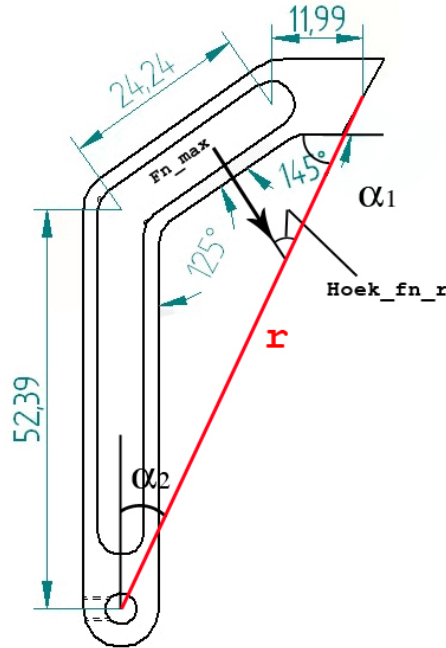
$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{Y+52}{X+12} * \frac{180}{\pi}\right) = 64.3^\circ \quad (7)$$

$$\alpha_2 = 90 - \alpha_1 = 25.7^\circ \quad (8)$$

$$Hoek_{F_{n_r}} = -180 + 125 + 90 + \alpha_2 = 60.7^\circ \quad (9)$$

$\alpha_1$  is de hoek tussen het bovenste vingerkootje en  $r$ .  $\alpha_2$  is de complementaire hoek van  $\alpha_1$  en is de hoek tussen  $r$  en het onderste vingerkootje.  $Hoek_{F_{n_r}}$  is de hoek tussen de normaalkracht (plaats waar de reactiekracht van het blikje inwerkt) op het middelste vingerkootje en  $r$ . Dit alles is aangegeven

op figuur 4.



Figuur 4: Tekening bij de mechanische berekeningen

### Berekening van het overbrengingsmoment

$$F_{g_{max}} = m_{voorwerp} * 9.81 = 9.81N \quad (10)$$

$$Fn_{max} = \frac{F_{g_{max}}}{f_{rubber}} \quad (11)$$

$$M_{max} = Fn_{max}r \sin\left(hoek_{F_r} * \frac{\pi}{180}\right) = 0.69Nm \quad (12)$$

$$Overbrengingscoeff = \frac{M_{max}}{M_{motor}} = 1.42744 \quad (13)$$

$F_{g_{max}}$  is de maximale zwaartekracht veroorzaakt door het gewicht van het voorwerp dat de lucht in moet. Hieruit wordt de normaalkracht berekend op het middelste vingerkootje en daaruit volgt het maximale moment veroorzaakt door het gewicht. De overbrengingscoëfficiënt is de verhouding van het nodige koppel ten opzichte van het koppel dat de motor levert. Indien deze verhouding groter is dan 1, kunnen tandwielen met een verschillend aantal tanden een oplossing bieden. We kiezen voor een overbrenging 25:15.

## 7.2 Thermodynamisch

De capaciteit van de batterij wordt gegeven in milli-Ampere \* uur. Omgerekend naar SI-eenheden is dit Ampere \* seconde. Deze eenheid is dan weer gedefinieerd als Coulomb, de eenheid van lading. Na vermenigvuldiging van deze lading met het andere gegeven, de spanning [J/C], bekomen we de energie [J] die in de batterij opgeslagen zit.

$$E_{batterij} = I * t_i * U \quad (14)$$

$$[J] = [AsV] = \left[\frac{C}{s} s \frac{J}{C}\right] = [J] \quad (15)$$

met daarin

- $E_{batterij}$  = energie die de batterij bevat
- $I$  = maximale stroom die de batterij kan leveren
- $t_i$  = tijdsduur dat de batterij deze stroom kan leveren
- $U$  = maximale spanning van de batterij

Om de tijdsduur te benaderen die de prothese kan werken met 1 batterij, veronderstellen we een maximale belasting. Het vermogen dat de motor verbruikt bij maximale belasting staat vermeld in de datasheet. Vermogen is equivalent aan energie per tijdseenheid. Volgens de wet van behoud van energie moet de energie die de batterij levert gelijk zijn aan de energie die de motor verbruikt. Het verbruik van de sturing kan verwaarloosd worden. De berekening van de tijdsduur verloopt dan als volgt:

$$P = \frac{E_{batterij}}{t_i} \quad (16)$$

dus

$$t_i = \frac{E_{batterij}}{P} \quad (17)$$

met hierin

- $P$  = vermogen dat de motor trekt
- $t_i$  = de tijd dat de motor dit vermogen kan trekken
- $E_{batterij}$  = energie die de batterij bevat

## 8 Vakintegratie

Bij het ontwerpen van de myo-elektrische handprothese komen verschillende vakken uit de 1e en 2e bachelor aan bod. Bij het ontwerp moesten onmiddellijk keuzes worden gemaakt met betrekking tot het te gebruiken materiaal. Het spreekt vanzelf dat het vak Materiaalkunde hier een grote hulp was.

Bij het verder uitwerken van het gekozen model zijn verschillende berekeningen nodig. Zo is er nood aan kennis over Mechanica bij de mechanische berekeningen (paragraaf 7.1) en over Thermodynamica bij de thermodynamische berekeningen (paragraaf 7.2). Natuurlijk wordt hier ook de opgedane kennis uit de vakken Analyse toegepast.

Voor de sturing is kennis over Elektriciteit en Magnetisme onontbeerlijk; ook het vak Informatieoverdracht- en verwerking biedt hier een meerwaarde.

In een verder stadium zou men zelfs Statistiek kunnen gebruiken, bijvoorbeeld om een verdeling te schetsen van het gebruik van de prothese (zowel qua tijd als qua intensiteit). Dit laat toe om toekomstige protheses te verbeteren.

## 9 Kostenanalyse

Bij de kostenanalyse van het gehele project worden de kosten geraamd van wat de handprothese zou kosten, indien hij door een privébedrijf gemaakt zou worden. De kostenanalyse kan in twee delen opgedeeld worden: ontwikkelingskost en productiekost.

### 9.1 Ontwikkelingskost

#### 9.1.1 Lonen

Volgens Vacature salariskompas (12 december 2006) verdient een beginnend ingenieur gemiddeld €2693 bruto per maand. Voor de werkgever komen daar nog ongeveer 70% kosten bij. Dit maakt per maand €4578. De ontwikkeling van de handprothese duurt 20 halve werkdagen, dus 10 werkdagen. Elk teamlid kost dus €2289. Aangezien het team bestaat uit 6 leden komt dit neer op een totale kost van €13734 aan lonen voor de teamleden. Daarnaast komt het loon van de arbeiders die de hand produceren: 3 dagen aan €350 maakt €1050.

#### 9.1.2 Materiaal

Grondstoffen

- Aluminium plaat rond de hand: €10
- Aluminium blok voor vingers en pols: €25
- Aluminium buis: €10
- Rubber voor op de vingers: €2.99

Elektronische componenten

- PCB laten printen: €40.36
- Elektronische componenten testschakeling: €15.08
- Elektronische componenten op PCB: €16.75

Motoren

- Motor pols: €3.97
- Motor hand: €24.95

Vervaardiging onderdelen

- Machinekosten: €2

Aangekochte onderdelen

- Tandwiel 15Z M0.5: €2.95
- Tandwiel 25T M0.5 (4x): €13.8
- Asjes: €2
- Tandkrans: €15.95
- NiMH 9V-blokaccu (2x): €9.9

## 9.2 Productiekost

De productiekost vertoont grote gelijkenissen met de ontwikkelingskosten. De ingenieurskosten vallen hier wel weg; de arbeiderskosten worden tot een minimum herleid en in de plaats komen meer machinekosten. De PCB (dewelke de testschakeling bij de ontwikkelingskosten vervangt) kost 2.64 plus hoeveelheidskortingen (dewelke een grondige analyse vereisen).

## 10 Besluit

Het ontwerpen van een myo-elektrische handprothese steunt op verschillende pijlers. Vooreerst moet er een keuze gemaakt worden tussen verschillende modellen. Het model met vaste vingers krijgt de voorkeur (mede omdat de losse vingers praktisch gezien niet haalbaar zijn). Twee motors dienen voor de aandrijving: een transmissiemotor voor zowel de pols als de vingers. Het geheel wordt bestuurd dankzij een elektrische schakeling. Zowel de hand als de vingers zijn opgebouwd uit Aluminium, dat na afweging de voorkeur kreeg op enkele andere materialen. Op deze manier werd een handprothese bekomen die voldoet aan de verwachtingen: de prothese is licht, lijkt op een hand en voldoet aan de opgave.

Na 13 weken kan de handprothese nog niet optimaal zijn. Er zijn dus nog wat verbeteringen mogelijk. Hoewel de handprothese nu niet echt zwaar is, kan het nog lichter mits het gebruik van composietmaterialen in de plaats van aluminium. Ook de tandwielen kunnen nog lichter, met het gebruik van nylon of plasticen wielletjes.

Daarnaast kan ook nog het esthetisch aspect verbeteringen ondergaan. Een verbetering zou zijn om een latex handschoen (in de kleur van de echte hand) over de prothese te trekken waardoor het nog meer op een echt hand lijkt.

APPENDIX A  
**FUNCTIONELE DECOMPOSITIE**

TECHNOLOGIE KARAKTERISTIEKEN

KLANT ATTRIBUTEN

	Materiaal		Fysisch			Productie		
	Impact	Kleur	Kost	Grootte	Vorm	Afwerking	Kost wrkt	Kost materiaal
<b>Functie</b>	Vastnemen groot voorwerp	H+		M	L			M
	Vastnemen klein voorwerp	L			M			M
	Vingers terug in positie	M						
	Kunnen krabben	L			H			
<b>Beweging vingers</b>	Plooibaarheid vingers				H			H
	Snelheid regelbaar		M					H+
	Duim en vingers raken			M	H+	L		
<b>Beweging pols</b>	Rotatie in beide richtingen	H	M					M
	Controle over de rotatie	M	H					H
<b>Stevigheid</b>	Mag niet plooiën bij heffen	H	L					
	Moet tegen stoot kunnen	L						
<b>Ethiek</b>	Eruit zien als hand		H	H+	H	M		L
<b>Externe omstandigheden</b>	Roestvrij	M	H					H+
	Temperatuursbestendig	M	L					H+



## APPENDIX B

### WAARDENANALYSE VAN DE MOTOREN

#### 1. Algemeen

<b>Eigenschap</b>	Koppel	Toerental	Controle	Kostprijs	Afmetingen	Totaal
Gewicht vingers	3	3	7	3	4	20
Gewicht pols	4	5	4	3	4	20

#### Type

DC-motor	V	10	10	5	10	10	165
	P	10	10	5	10	10	<b>180</b>
Stappenmotor	V	5	5	7	10	10	149
	P	5	5	7	10	10	143
Servomotor	V	10	8	10	5	8	<b>171</b>
	P	10	8	10	5	8	167

V = vingers, P = pols

#### 2. DC-motor (pols)

<b>Eigenschap</b>	Koppel	Toerental	Controle	Kostprijs	Afmetingen	Totaal
Gewicht pols	4	5	4	3	4	20

#### Type (Conrad.be)

2427-30	W	30 Ncm	6500/min		€ 3.95	38.0x23.8	
	P	6	7	10	10	9	165
2430-65	W	44 Ncm	9000/min		€ 3.95	45.0x24.0	
	P	8	8	10	10	8	174
2025-30	W	40 Ncm	12600/min		€ 4.95	38.0x19.9	
	P	8	9	10	9	10	184
LA16G-324SA	W	66 Ncm	15500/min		€ 6.95	52.0x16	
	P	10	10	10	8	9	<b>190</b>

W = waarde, P = punten

#### 3. Servomotor (vingers)

<b>Eigenschap</b>	Koppel	Toerental	Controle	Kostprijs	Afmetingen	Totaal
Gewicht vingers	3	3	7	3	4	20

#### Type (Conrad.be)

FS-101 NG BB	W	24/-- Ncm	0.16s/50°		€ 34.95	29x13x29	
	P	6	8	10	10	10	182
S-2251 BBMG JR	W	33/48 Ncm	0.11s		€ 39.95	32x17x31	
	P	10	10	10	9	8	<b>189</b>
S-851 MG	W	30/35 Ncm	0.14s		€ 39.95	29x13x30	
	P	9	9	10	9	9	187

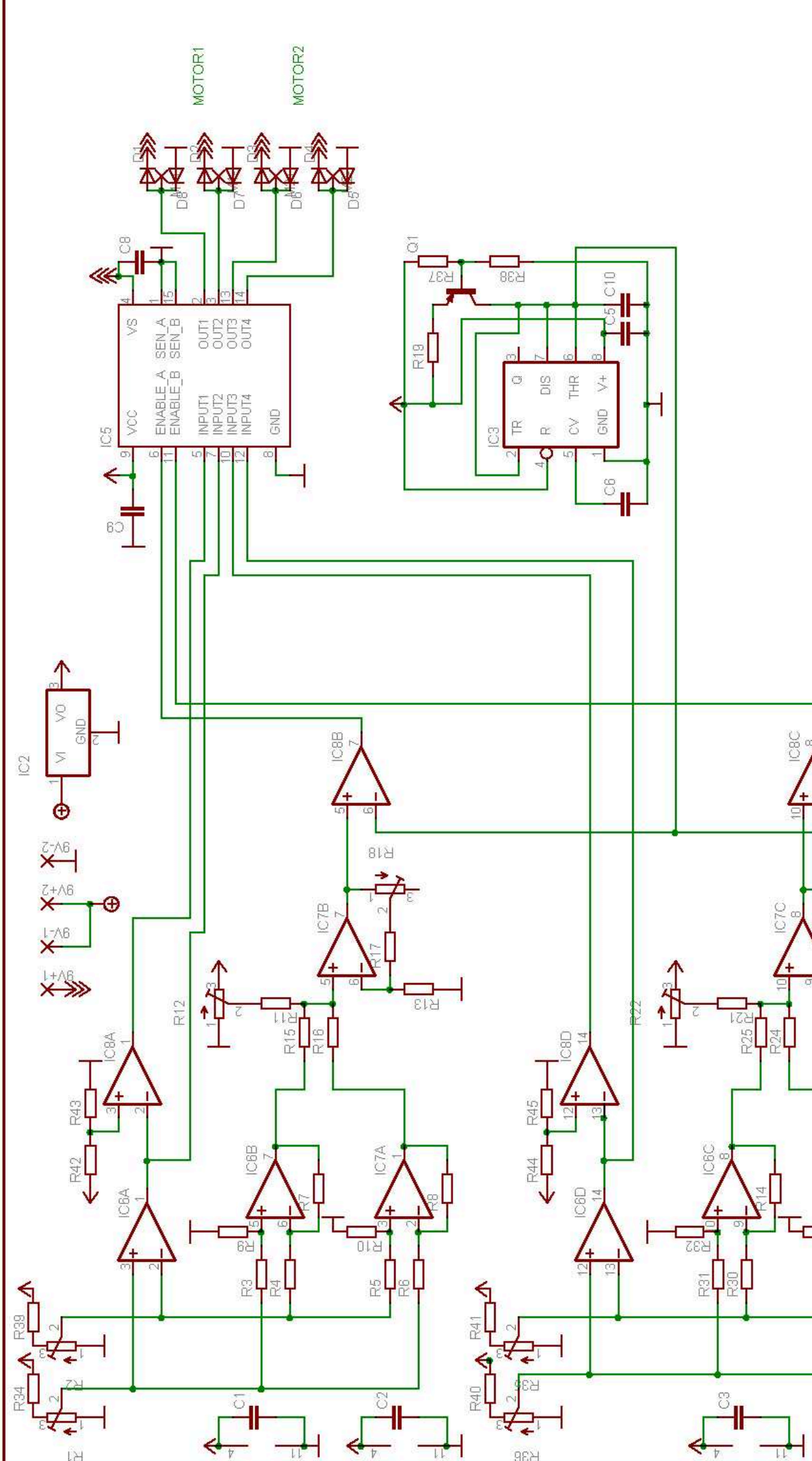
W = waarde, P = punten

Koppel: eerste getal bij 4.8V, tweede bij 6V

4. DC-motor (vingers)

<b>Eigenschap</b>		Koppel	Toerental	Controle	Kostprijs	Afmetingen	Totaal
Gewicht vingers		7	3	3	3	4	20
<b>Type (Conrad.be)</b>							
2406-13	W	60 Ncm	4400/min		€ 24.95	58x50x29	
	P	10	8	10	6	7	<b>170</b>
2427-30	W	30 Ncm	6500/min		€ 3.95	38.0x23.8	
	P	5	9	10	10	10	162
2430-65	W	44 Ncm	9000/min		€ 3.95	45.0x24.0	
	P	6	10	10	10	9	168

W = waarde, P = punten



**Handprothese: DC-motorsturing**

TITLE: schema5

Document Number:

Date: 26/11/2006 11:43:33

REV: 1/1

Sheet: 1/1

## APPENDIX D

### Technische fiche handprothese

December 2006

Groepsnaam: MECHB5

#### Geheel

Massa [g]	820
Afmetingen [cm, cm, cm]	[30, 7.5, 7.8]
Materiaal hand	Aluminium
Spanningsbron [V]	2x 9V
Geschatte kostprijs [€]	€ 200

#### Grijpbeweging

Aantal vingers	5
Materiaal vingers	Aluminium
Vrijheidsgraden vingers	1
Bewegende duim?	Ja
Lengte vingers [cm]	8.9
Dikte vingers [cm]	1
Tijdsduur voor openen/sluiten hand [s, s]	[2,2]
Maximaal optilbare massa [g]	1000
Aandrijvingsprincipe vingers (DC-motor, stappenmotor, pneumatisch...)	Transmissiemotor
Sturing (H-brug, PWM...)	H-Brug
Maximale kracht/koppel actuator [N of Nm]	0.69
Overbrengingsprincipe en overbrengingsverhouding	Tandwiel; verhouding 15/25
Aantal en aard sensoren (niet de myo-elektrische)	Geen

#### Polsbeweging

Aandrijvingsprincipe	Transmissiemotor
Sturing	Elektrische schakeling
Maximaal koppel [Nm]	1.2
Maximale hoekverdraaiing [°]	200
Rotatiesnelheid pols [°/s]	72
Overbrengingsprincipe en overbrengingsverhouding	Binnentandwiel en tandkrans