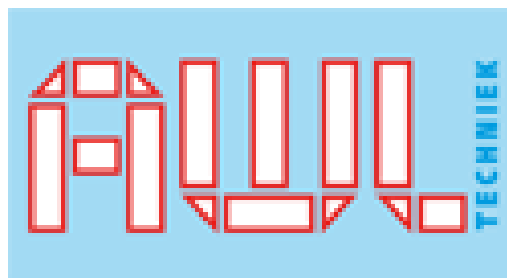


Parametrische analyse in de calculatie bij AWL

AWL Harderwijk

Gunnar Slaa

S1235583



Begeleiders:

Peter Schuur (Universiteit Twente)

Jakobien Fabriek (AWL)

Management samenvatting

In het kader van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente heb ik onderzoek gedaan bij AWL in Harderwijk naar het gebruik van parametrische analyse in de kostencalculatie. AWL produceert automatische lasmachines voor met name de automobiellindustrie. De voorcalculatie van de kosten van een project neemt aanzienlijk veel tijd in beslag. Er is vraag naar een snellere methode die wat betreft nauwkeurigheid in de buurt komt van de huidige methode. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

Hoe kan een eenvoudig en voldoende betrouwbaar calculatiemodel worden opgesteld voor AWL door gebruik te maken van parametrische analyse?

Om deze vraag te beantwoorden zijn de volgende deelvragen onderzocht:

- 1) *Welke parameters gebruikt AWL op dit moment voor de calculatie?*
- 2) *Wat zegt de literatuur over calculatie in engineer-to-order bedrijven?*
- 3) *Van welke parameters moet data worden verzameld voor analyse?*
- 4) *Hoe kunnen er betrouwbare modellen worden opgesteld voor nominale cellen en mallen en voor functionaliteit en proces?*
- 5) *Hoe kunnen deze modellen worden samengevoegd om de kosten voor projecten te voorspellen?*
- 6) *Hoe kan AWL deze modellen gebruiken om de calculatie te verbeteren?*

Er is voor het onderzoek data gebruikt uit Navision en uit Excelbestanden van calculaties. Voor dat laatste is een Exceltool gecreëerd waarmee de benodigde data relatief eenvoudig uit veel verschillende Excelbestanden kan worden gefilterd.

Op grond van deze data zijn met behulp van parametrische analyse modellen opgesteld om de kosten te voorspellen voor nominale cellen, nominale mallen gebouwd in zowel Nederland als Tsjechië en voor het toevoegen van functionaliteit en proces.

Samengevoegd voorspellen deze modellen de kosten voor een project met een gemiddelde afwijking (MAPE) van 11%. In vergelijking voorspelt de huidige calculatie de kosten met een afwijking van 9%. Er zijn echter enkele punten van voorbehoud voor het invoeren van een parametrisch model voor de calculatie. Het model is op dit moment zeker nog geen vervanging voor de huidige calculatie. Het model zal eerst door de calculatoren naast de huidige calculatie worden gebruikt om de bruikbaarheid in de praktijk te testen. Na enkele maanden moet het model dan worden geëvalueerd, waarna het eventueel kan worden gebruikt voor het grof budget. Om eenvoudig een voorspelling te kunnen maken op basis van de gevonden modellen is een Exceltool opgesteld. Verder worden er in dit verslag enkele aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Voorwoord

Voor u ligt mijn bachelor eindverslag. Dit verslag is het resultaat van mijn onderzoek van tien weken bij AWL Techniek in Harderwijk. Dit onderzoek was een waardevolle ervaring, omdat het de mogelijkheid bood veel geleerde theorie in de praktijk te brengen. Mijn periode bij AWL heb ik als zeer prettig ervaren. Het was interessant om de machines gebouwd te zien worden op de werkvloer en de bedrijfsprocessen op kantoor van dichtbij mee te maken.

Ik wil Jakobien Fabriek bedanken voor de begeleiding vanuit AWL. Verder wil ik iedereen bij AWL bedanken die mij geholpen heeft met ideeën of met het beantwoorden van vragen. In het bijzonder de overige calculatoren Arjan Scholten, Ewout van de Bunt en Gert Hop.

Ten slotte wil ik mijn begeleider Peter Schuur van de Universiteit Twente bedanken voor de begeleiding tijdens het onderzoek en bij het schrijven van het verslag.

Begrippen

R²: Kwadraat van de correlatie, een maat van het verband tussen twee variabelen.

P-Waarde: De kans dat een gevonden verband berust op toeval in plaats van een daadwerkelijk tussen variabelen.

Nominaal: Het deel van de productie waarin de cel of mal fysiek wordt opgebouwd.

Verklaring van afkortingen:

Afkorting	Uitleg
B	Bewegingen op een mal
P	Wegtrekbare pennen (valt onder B)
S	Spanners (valt onder B)
O	Overige bewegingen (valt onder B)
SqrtO	Wortel van O
LogO	Logaritme van O
L	Lassen
N	Nesten
D	Delen
C	Copyfactor (0, 1 of 0,5)
#C	Aantal cellen in een machine
#M	Aantal mallen in een machine
CF	Aantal celfuncties in een machine
Laser	Laser (0 of 1)
R	Robots in een cel
RA	ABB-robots in een cel
RN	Niet-ABB-robots in een cel
F	Functies op een cel

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Opdrachtoomschrijving:	2
1.2	Onderzoeksvraag:	2
1.3	Calculatie bij AWL	3
2	Theoretisch kader:	4
3	Verzamelen van data	6
3.1	Selectie van projecten	6
3.2	Selectie van parameters	6
3.3	Verzamelen van data	7
4	Bepalen model lasermallen nominaal	8
4.1	Analyse van de data	8
4.2	Het genereren van mogelijke modellen	9
4.3	Het testen van de modellen	10
5	Bepalen model overige mallen nominaal	11
5.1	Analyse van de data	11
5.2	Het genereren van mogelijke modellen	11
5.3	Het testen van de modellen	12
5.4	Conclusie	12
6	Bepalen model cellen nominaal	13
6.1	Analyse van de data	13
6.2	Het genereren en testen van mogelijke modellen	14
6.3	Conclusie	14
7	Bepalen modellen mallen CZ	15
7.1	Analyse van de data	15
7.2	Het genereren en testen van mogelijke modellen	16
7.3	Conclusie	16
8	Bepalen modellen mallen Adjust Functionality en Process Optimalization	17
8.1	Analyse van de data	17
8.3	Het genereren en testen van mogelijke modellen	18
9	Combineren van gevonden modellen	19
10	Conclusies en aanbevelingen	20
10.1	Conclusie	20
10.2	Gevonden afwijkingen en voorbehoud	20
10.3	Aanbevelingen voor verder onderzoek	21
	Literatuurlijst	22
1	Gegevens lasermallen NL	23

2	Gegevens overige mallen NL	24
3	Gegevens cellen.....	25
4	Gegevens Arcmallen CZ	26
5	Gegevens spotmallen CZ	27
6	Gegevens Lasermallen CZ.....	28
7	Gegevens Adjust Functionality en Process Optimization	29

1 Introductie

In het kader van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente heb ik onderzoek gedaan bij AWL in Harderwijk naar het gebruik van parametrische analyse in de kostencalculatie. AWL produceert automatische lasmachines. Deze machines bestaan uit cellen met daarin lasrobots (Figuur 1) en mallen waarin de onderdelen worden vastgezet om ze te kunnen lassen (Figuur 2). De hoofdvestiging bevindt zich in Nederland. Daarnaast heeft AWL vestigingen in China en Tsjechië.

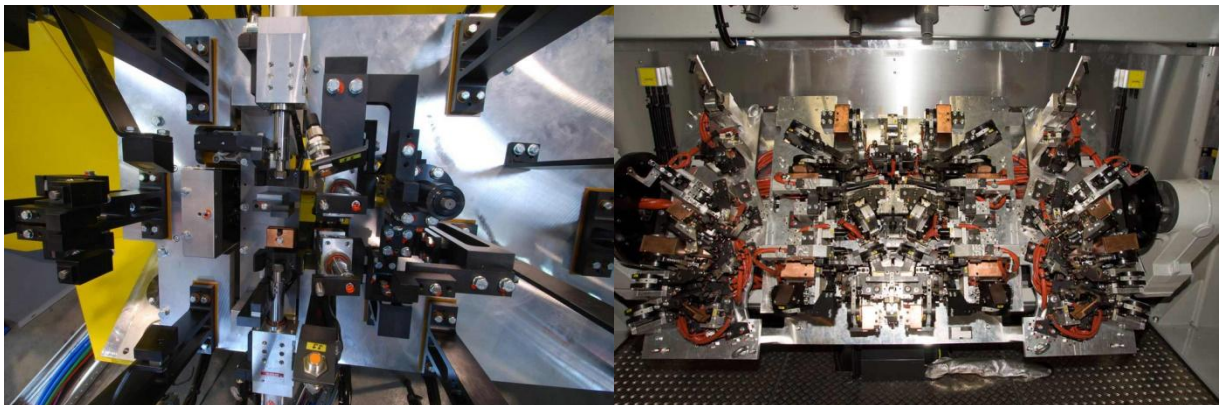
De projecten bij AWL worden ingedeeld in drie segmenten:

- Body, de metalen delen van de carrosserie van een auto, zoals deurposten
- Seating, de metalen delen van autostoelen en toebehoren
- Special, alle overige projecten, bijvoorbeeld meubels of magazijnsystemen

De concurrentie verschilt sterk per segment. AWL is een middelgrote speler. Er zijn zowel grotere concurrenten die gespecialiseerd zijn in het bouwen van complete productielijnen als kleinere concurrenten die vooral standaard lascellen bouwen. AWL bouwt vooral projecten die te klein zijn voor de grotere concurrenten en te specialistisch voor de kleinere bedrijven. De krachten van AWL liggen op het gebied van engineering en customer intimacy.



Figuur 1 Spotlascel met twee lasrobots



Figuur 2 Links een eenvoudige spotlasmaal, rechts een laserlasmaal met veel bewegingen.

1.1 Opdrachtsomschrijving:

AWL ervaart sterke afwijkingen in de calculatie. Omdat een precieze calculatie van groot belang is voor het bedrijf wil AWL dit verbeteren. Ze zijn benieuwd of parametrische analyse een methode kan zijn om deze calculatie te verbeteren.

De omschrijving aan het begin van de opdracht was als volgt:

Het onderzoeken van de nauwkeurigheid van de bestaande kentallen (voornamelijk uren) die benodigd zijn om een nieuw machineconcept te realiseren. Gebaseerd op cijfers van afgeronde projecten. Daarnaast onderzoeken en vaststellen van nieuwe verbanden en/ of inzichten tussen gebruikte equipment, functionaliteit van machineconcepten en gestelde eisen aan eindproducten.

1.2 Onderzoeksvraag:

Hoe kan een eenvoudig en voldoende betrouwbaar calculatiemodel worden opgesteld voor AWL door gebruik te maken van parametrische analyse?

Om deze vraag te beantwoorden moet de volgende deelvragen worden onderzocht:

- 1) *Welke parameters gebruikt AWL op dit moment voor de calculatie?*
- 2) *Wat zegt de literatuur over calculatie in engineer-to-order bedrijven?*
- 3) *Van welke parameters moet data worden verzameld voor analyse?*
- 4) *Hoe kunnen er betrouwbare modellen worden opgesteld voor nominale cellen en mallen en voor functionaliteit en proces?*
- 5) *Hoe kunnen deze modellen worden samengevoegd om de kosten voor projecten te voorspellen?*
- 6) *Hoe kan AWL deze modellen gebruiken om de calculatie te verbeteren?*

1.3 Calculatie bij AWL

AWL biedt unieke oplossingen aan klanten op basis van engineer-to-order.

Nadat de concept engineer een ontwerp heeft gemaakt voor de aanvraag van een klant wordt er een kostenschatting gemaakt.

De calculatie bij AWL bestaat uit drie fases. Als er een aanvraag binnenkomt wordt er eerst een grof budget vastgesteld gebaseerd op grove bedragen voor de onderdelen die ongeveer in de machine komen, in deze fase is vaak nog niks bekend over bijvoorbeeld het type robot of andere specifieke eigenschappen.

Verderop in het verkoopproces wordt een budget en uiteindelijk een detailcalculatie opgesteld.

Op deze detailcalculatie wordt het project uiteindelijk al dan niet verkocht. In dit verslag zullen de uitkomsten van deze detailcalculatie worden gebruikt voor de vergelijking met de modellen die zullen worden opgesteld.

Voor het opstellen van een dergelijke detailcalculatie worden te eerste alle standaard bouwblokken bij elkaar gezocht om het ontwerp op te bouwen. Een bouwblok is een deel van een cel of mal (bijvoorbeeld een lasrobot of roldeur voor een cel). Een cel of mal kan bestaan uit enkele tientallen van deze bouwblokken. Aan deze bouwblokken hangen alle onderdelen die moeten worden ingekocht. De onderdelen variëren van bouten en moeren van enkele centen per stuk tot complete robotarmen. Daarnaast zijn aan deze bouwblokken uren verbonden om de machine “kaal” te assembleren, de machine heeft dan nog geen functionaliteit, dit wordt ook wel de nominale machine genoemd.

Vervolgens worden voor het berekenen van de prijs en uren voor de functionaliteit en procesoptimalisatie de volgende gegevens toegevoegd

- De bewegende onderdelen van een mal, zoals spanners en wegtrekbare pennen
- Het aantal delen op een mal en het aantal lassen
- Het aantal functies in een cel (zoals roldeuren of robotbewegingen)
- Of een mal of cel een kopie of spiegeling is van een andere mal of cel
- Het aantal robots en de complexiteit van de taken die deze robots uitvoeren
- Of er gebruik wordt gemaakt van het standaard robotmerk
- Of het project lijkt op eerdere projecten of juist veel nieuwe elementen bevat
- Een percentage voor onvoorziene kosten en de winstmarge

Daarnaast worden nog gegevens ingevoerd voor de Transport en inbedrijfname (TIB), installatie van de machine bij de klant. Aan al deze parameters hangen kentallen die de invloed van deze factoren op de verkoopprijs bepalen. Op grond van al deze gegevens ontstaan een uiteindelijke verkoopprijs, een lijst met in te kopen onderdelen en een planning van de uren per afdeling.

Op termijn wil AWL overstappen van engineer-to-order (ETO) naar configure-to-order (CTO), maar op dit moment speelt dit in de praktijk van de calculatie nog geen belangrijke rol.

2 Theoretisch kader:

Aderoba (1997) geeft een model voor kostenschatting bij jobshops. Dit model komt grotendeels overeen met de methode die AWL gebruikt. Hij geeft uitgebreide formules om kosten aan bepaalde projecten toe te wijzen als de benodigde uren bekend zijn, er wordt echter geen manier gegeven om de uren per afdeling te voorspellen, anders dan uit ervaring.

Ook Kingsman en De Souza (1997) beschrijven een methode die in grote lijnen lijkt op die van AWL en gaan verder in op de foutmarges die deze methode met zich meebrengt. De belangrijkste redenen die zij voor deze foutmarges hebben gevonden zijn weergegeven in Tabel 1. Het zou interessant kunnen zijn de invloed van deze factoren op de kostenschatting bij AWL te onderzoeken. Dit valt echter buiten dit onderzoek.

Tabel 1 de belangrijkste redenen voor foutmarges in kostenschattingen volgens Kingsman en De Souza (1997)

Sources of biases/errors in cost estimation process

- (a) Restricted time for preparing the estimates (time pressure)
 - (b) Reliability of information provided by the client
 - (c) Reliability of the quality of raw materials
 - (d) Reliability of the shop floor professionals' skills (workers' performance)
 - (e) Reliability of the correct functioning of the machinery (equipments' performance)
 - (f) Estimators interest in the product
 - (g) Confidence in the cost/time ratios used in the costing system
 - (h) Not recognising the limitations of the experience with similar product components/activities
 - (i) Dependency on others' estimations
 - (j) Production capacity
 - (k) Lack of self confidence
-

Volgens Duverlie en Castelain (1999) zijn er vier verschillende methodes voor kostenschatting:

1. De intuïtieve methode; de schatting wordt gebaseerd op de ervaring van de schatter
2. De analoge methode; de schatting wordt gebaseerd op vergelijking met enkele vergelijkbare projecten
3. De parametrische methode

4. De analytische methode; de schatting wordt gebaseerd op het ontleden van het project in afzonderlijke taken. Hieronder vallen zowel de eerder genoemde methodes van Aderoba (1997) en Kingsman en De Souza (1997) als de methode die AWL op dit moment gebruikt.

Duverlie en Castelain vergelijken de parametrische methode met een uitgebreide analoge methode die ze Case based reasoning noemen. Ze geven aan dat beide methoden voor- en nadelen hebben en dragen de mogelijkheid aan om de twee methoden te combineren door nieuwe projecten alleen parametrisch te vergelijken met historische projecten die een sterke gelijkenis laten zien. Het is de vraag of deze methode toegepast kan worden bij AWL aangezien de projecten vaak behoorlijk van elkaar verschillen.

Weustink, Ten Brinke, Streppel en Kals(2000) geven een uitgebreide analytische methode en benadrukken het belang van kostenschatting bij het beheersen van de kosten. Zij laten zien dat het voor het beheersen van de kosten belangrijk is zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces kostenschattingen van de verschillende alternatieven te maken.

Ehrlenspiel, Kiewert en Lindemann (2007; hoofdstuk 9) geven een uitgebreid overzicht van de verschillende calculatiemethoden. Ook zij benadrukken de mogelijkheden die een vroege calculatie biedt bij het beheersen van de kosten. Ze spreken in dit verband over "entwicklungsbegleitenden Kalkulation" of meelopende calculatie.

Verskillende onderzoekers hebben parametrische modellen in de praktijk vergeleken met traditionele methodes van kostencalculatie.

Cavalieri, Maccarone en Pinto (2004) onderzochten de kosten van de productie van remschijven. Ze geven een bruikbare formule om de nauwkeurigheid van een voorspellingsmethode te bepalen: de Mean Absolute Percentage Error (MAPE), gegeven in vergelijking (1). Ze laten zien dat een parametrisch model met een MAPE van 6% aanzienlijk nauwkeuriger is dan een enkelvoudige regressie met een MAPE van 15%.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Estimated\ cost_i - Actual\ cost_i|}{Estimated\ cost_i} 100 \right) \quad (1)$$

Qian en Ben-Arieh (2008) gebruiken een activity-based costing-model en twee verschillende parametrische modellen om de kosten van draaiende delen te voorspellen. Het eerste model is gebaseerd op het ABC-model en maakt gebruik van gegevens die pas later in de ontwikkeling bekend worden. Het tweede model is gebaseerd op de fysieke parameters van de producten die al in een vroeg stadium bekend zijn. Zoals verwacht biedt het eerste model nauwkeurigere voorspellingen. Het tweede model is niettemin bruikbaar, omdat dat model eerder in de ontwikkeling kan worden gebruikt.

De situatie waarin Caputo en Pelagagge (2008) hun onderzoek doen komt van de voorbeelden uit de literatuur het meest in de buurt van de situatie bij AWL. Het gaat om drukvaten die worden geproduceerd aan de hand van de wensen van de klant. Als gevolg daarvan zijn er grote verschillen tussen de verschillende projecten. Het bedrijf voert in de oude situatie calculaties uit met een analytische methode. Het blijkt echter lastig om het aantal uren per werkstation in te schatten. Met deze methode resulteert in een MAPE 26%.

Ze verzamelen gegevens van 62 variabelen over 68 gerealiseerde projecten. Deze projecten worden naar complexiteit opgedeeld in vijf categorieën. Omwille van de relatief kleine testpopulatie kiezen ze ervoor om geen aparte modellen op te stellen voor de verschillende categorieën, hoewel dit de kwaliteit van de voorspellingen wel ten goede zou komen. Met het parametrische model wordt de MAPE verlaagd tot 12,5%.

Twee van de genoemde onderzoeken (Cavalieri et al., 2004; Caputo en Pelagagge, 2008) dragen naast de traditionele en parametrische methodes ook Artificial Neural Networks (ANNs) aan als een model voor kostenschatting. Deze methode levert een nog betere voorspelling op dan de parametrische modellen. Vanwege de complexiteit wordt deze methode echter buiten dit onderzoek gehouden. Wel zou het een mogelijk aanknopingspunt voor vervolgonderzoek kunnen zijn.

Door zowel de International Society of Parametric Analysts (ISPA; 2008) als door Rijkswaterstaat (2013) zijn handboeken opgesteld voor het uitvoeren van parametrische analyse. Methodes uit deze handboeken zullen worden gebruikt om de analyse praktisch in te vullen.

3 Verzamelen van data

Parametrische analyse staat of valt bij het gebruik van de goede data. Ook in dit onderzoek is dat de eerste stap. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd welke projecten zijn geselecteerd voor het onderzoek en welke data over deze projecten is verzameld.

3.1 Selectie van projecten

Allereerst is het belangrijk een selectie van historische projecten te maken voor de analyse. Er zitten grote verschillen tussen de projecten van AWL. Het is dus belangrijk bepaalde beperkingen te kiezen bij het selecteren van projecten om een zekere mate van homogeniteit te realiseren.

De projecten bij AWL zijn grofweg in te delen in drie segmenten:

- Body, de metalen delen van de carrosserie van een auto, zoals deurposten
- Seating, de metalen delen van autostoelen en toebehoren
- Special, alle overige projecten

De aard van het segment special resulteert in een grote verschillen tussen projecten, wat deze projecten slecht bruikbaar maakt voor kwantitatief onderzoek. Het onderzoek wordt dus beperkt tot projecten van de segmenten body en seating.

AWL is een organisatie die snel veranderd, waardoor data van langere tijd geleden vaak niet relevant of niet meer terug te vinden is. Daarom is gekozen om alleen projecten in het onderzoek mee te nemen die zijn opgestart na 1 januari 2012.

AWL heeft naast de hoofdvestiging in Nederland ook vestigingen in China en Tsjechië. Aangezien er significante verschillen zijn in bijvoorbeeld de loonkosten is er gekozen om mallen geproduceerd in Nederland en Tsjechië mee te nemen in aparte datasets.

3.2 Selectie van parameters

In het verleden is al data verzameld op het niveau van projecten. In dit onderzoek worden ook gegevens verzameld per cel en per mal.

Als afhankelijke variabelen worden de arbeidskosten, materiaalkosten en totale kosten genomen. De arbeidskosten en materiaalkosten worden los bekeken, omdat wordt verwacht dat op beide kosten andere parameters van invloed zijn.

Er zal in ieder geval data worden verzameld van de parameters die op dit moment gebruikt worden in de calculatie, zoals eerder beschreven.

De parameters die naar voren komen uit de literatuur zijn met name fysiek van aard. Caputo en Pelagagge (2008) beschrijven een situatie die qua complexiteit redelijk in de buurt komt bij de situatie van AWL. De parameters die zij gebruiken zijn bijna allemaal fysiek (gewicht, oppervlakte etc.). Dit soort parameters geeft waarschijnlijk geen goede schatting voor de projecten bij AWL, aangezien er veel uren zitten in het instellen en programmeren van de machines. Er zullen wel enkele van dit soort parameters worden meegenomen om te kijken of dit het model kan verbeteren. Dit resulteert in de lijst met parameters in Tabel 2.

Daarnaast moet er rekening worden gehouden met het feit dat kopieën of spiegelingen van mallen/cellen aanzienlijk minder uren engineering kosten. Hiervoor wordt de variabele copyfactor toegevoegd. Deze is 1 als de mal of cel een directe kopie van een eerder mal of cel is, 0,5 als het gaat om een spiegeling en 0 in overige gevallen.

Tabel 2 Lijst van parameters waarvan data zal worden verzameld voor analyse

Parameter	Bron	Project	Machine/cel	Mal
Afhankelijke variabelen				
Arbeidskosten	Navision	x	x	x
Materiaalkosten	Navision	x	x	x
Onafhankelijke variabelen				
Aantal delen	Excel			x
Aantal lassen	Excel			x
Aantal nesten	Excel			x
Aantal pennen	Excel			x
Aantal robots	Excel	x	x	
Aantal spanners	Excel			x
Aantal werkers / bedieners	?	x		
Aantal varianten	?			x
Copy/mirror	Excel		x	x
Functies known	Excel	x	x	
Functies unknown	Excel	x	x	
Merk robots	Excel	x	x	
Oppervlakte (m2)	?	x	x	
Overige bewegingen	Excel			x
Soort las	Excel	x	x	x
Takttijd	?	x		
Te lassen materiaal	?		x	x

3.3 Verzamelen van data

Informatie over ingeschatte en gebruikte uren wordt met een speciaal programma uit het ERP-systeem (Navision) naar Excel geëxporteerd en gecorrigeerd voor inflatie volgens de cijfers van het CBS(2015). De parameters uit Tabel 2 waar Excel achter staat worden met een speciaal voor dit onderzoek geprogrammeerde macro uit Excelbestanden van calculaties gehaald. Gegevens over de parameters waar een vraagteken achter staat zullen waarschijnlijk handmatig moeten worden ingevuld. Deze gegevens zijn te vinden in de Powerpoint presentaties van de concept engineers.

Zoals verschillende auteurs aangeven kan het voor het model gunstig zijn om de gegevens in verschillende groepen in te delen (Qian en Ben-Arieh 2008; Caputo en Pelagagge 2008). Aangezien er grote verschillen zijn tussen laserlasprojecten en andere projecten worden voor deze twee groepen aparte modellen gemaakt. Zo ontstaan er zeven datasets: lasermallen NL, overige mallen NL, laserzellen, overige cellen, spotmallen CZ, arcmallen CZ en lasermallen CZ.

4 Bepalen model lasermallen nominaal

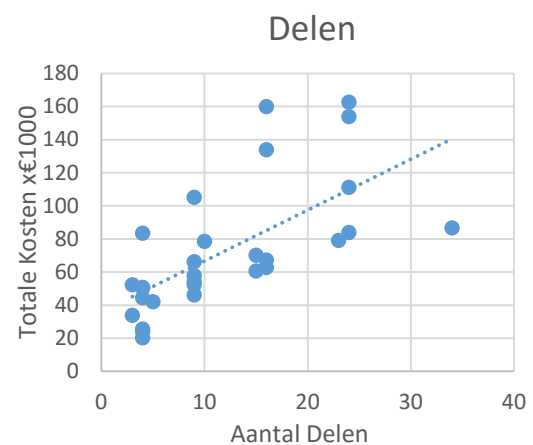
Met de data die in het vorige hoofdstuk is gevonden kunnen we in dit hoofdstuk beginnen met de analyse. Het vermoeden is dat de mallen zich het best lenen voor het opstellen van een parametrisch model. In dit hoofdstuk zullen we daarom beginnen met het opstellen van een model voor de lasermallen.

4.1 Analyse van de data

Voor het bepalen van een model voor het voorspellen van de prijs voor de nominale productie van een lasermal zijn gegevens over 29 mallen gebruikt. Deze gegevens zijn te vinden in Bijlage 1. Als eerste wordt bekeken hoe goed de onafhankelijke (voorspellende) variabelen de verschillende afhankelijke (voorspelde) variabelen voorspellen, de determinatiecoëfficiënten (R^2) zijn gegeven in Tabel 3. Deze coëfficiënten zijn een maat voor het verband tussen deze variabelen, hoe hoger R^2 , hoe sterker het verband. Als voorbeeld is het sterke verband tussen het aantal delen en de totale kosten weergegeven in Figuur 3.

Tabel 3 Determinatiecoëfficiënten (R^2) van alle onafhankelijke vs alle afhankelijke variabelen voor lasermallen

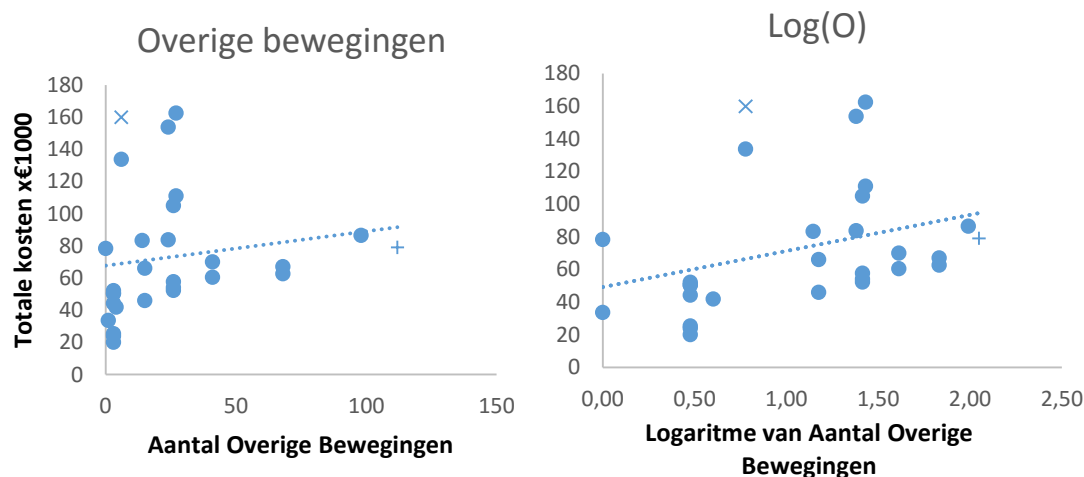
	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
Bewegingen	0,48	0,41	0,41	0,32
Pennen	0,34	0,30	0,30	0,37
Spanners	0,45	0,45	0,43	0,51
Overig	0,01	0,08	0,08	0,02
SqrtO	0,03	0,11	0,12	0,06
LogO	0,07	0,16	0,16	0,11
Nesten	0,17	0,26	0,27	0,22
Delen	0,33	0,49	0,50	0,44
Lassen	0,11	0,36	0,36	0,20
Copy	0,14	0,05	0,04	0,11



Figuur 3 Verband tussen het aantal delen en de totale kosten voor lasermallen

Deze determinatiecoëfficiënten zijn nog niet hoog genoeg om significant te zijn. Het gebruik van meerdere variabelen in één model zal dus tot een hogere R^2 moeten leiden.

Naar aanleiding van enkele kleine test is gekozen de bewegingen op de mallen op te delen in wegtrekbare pennen, spanners en overige bewegingen. Onder deze laatste categorie vallen bijvoorbeeld inrijsledes en hydraulische/pneumatische bewegingen. Wat opvalt, is dat de invloed van de overige bewegingen veel kleiner lijkt dan verwacht. De plot in Figuur 4 laat zien dat enkele mallen met hoge kosten, maar weinig overige bewegingen hier een belangrijke oorzaak van zijn. De determinatiecoëfficiënten laten zien dat de wortel en logaritme van deze variabele een betere voorspeller zijn. Aangezien Log(O) de beste resultaten laat zien zal deze variabele verder in de berekeningen worden meegenomen.



Figuur 4 Verhouding tussen het aantal overige bewegingen (niet pennen en spanners) en de totale kosten (x€1000)

Bij het bekijken van de plots in Figuur 4 valt op dat er zowel uitschieters zijn met hoge kosten en weinig overige bewegingen als punten met erg veel overige bewegingen. Bij het bekijken van enkele mallen met veel overige bewegingen (Grootste uitschieter nummer 27 in Bijlage 1, gemarkeerd met “+” in Figuur 4) is geen duidelijke verklaring voorhanden voor de relatief lage kosten van deze mallen. Bij het bekijken van de sterkste uitschieter met hoge kosten en weinig bewegingen (Nummer 21 in Bijlage 1, gemarkeerd met “X” in Figuur 4) valt op dat deze mal veel pennen en spanners bevat (respectievelijk 22 en 50). Dit is een verklaring voor de hoge kosten in afwezigheid van veel overige bewegingen. Ook voor de andere drie punten die ver boven de trendlijn liggen geldt dat hoge aantallen pennen en spanners hier een verklaring voor bieden. Als deze vier mallen buiten beschouwing worden gelaten levert dit een R^2 van 0.22 op voor O en 0.33 voor Log(O). Ook in de plot voor Log(O) is te zien dat alle punten behalve de bovenste vier redelijk in de buurt van de trendlijn liggen.

4.2 Het genereren van mogelijke modellen

Er zullen drie verschillende lineaire regressiemodellen op worden gesteld voor de verschillende afhankelijke variabelen: materiaalkosten, arbeidskosten en totale kosten. Aangezien het aantal gebruikte uren een bijna perfecte correlatie laat zien met de arbeidskosten zal hier geen apart model voor worden opgesteld.

Voor elke afhankelijke variabele wordt begonnen met een model met alle verklarende variabelen, vervolgens wordt de variabele met de hoogste P-Waarde verwijderd tot er een model overblijft waarin alle variabelen een P-Waarde lager dan 0,05 hebben (Rijkswaterstaat, 2013). Alleen voor de variabele Copy is de hypothese dat deze variabele een negatieve invloed op de afhankelijke variabelen heeft. Als een andere variabele een negatieve coëfficiënt heeft wordt deze variabele uit het model verwijderd, ongeacht de P-Waarde.

Vervolgens wordt van alle modellen die alleen variabelen met een P-Waarde lager dan 0,2 bevatten de betrouwbaarheid van de voorspellingen getest. Dit levert voor de arbeidskosten drie mogelijke modellen op en voor de materiaalkosten en de totale kosten beide twee mogelijke modellen. Deze modellen zijn te zien in Tabel 4.

4.3 Het testen van de modellen

Voor het testen van de betrouwbaarheid van de voorspellingen van de modellen wordt gebruik gemaakt van 10-fold cross validation. Bij deze methode worden de gegevens willekeurig in tien groepen van gelijke grootte verdeeld. Daarna wordt er tien keer een regressiemodel vastgesteld op basis van negen groepen, waarmee de gegevens in de tiende groep worden voorspeld. De gemiddelde afwijking van deze voorspellingen is een goede maat voor de betrouwbaarheid van de voorspellingen van het model (Kohavi, 1995). De gemiddelde afwijking (MAPE) die hieruit komt is gegeven in Tabel 4. Voor elke afhankelijke variabele wordt het model met de laagste gemiddelde afwijking gekozen. Wat opvalt, is dat de gebruikte uren door het model beter worden voorspeld, maar dat de modellen voor materiaalkosten en totale kosten minder nauwkeurige voorspellingen geven dan de calculatie. Verder zien we dat de adjusted R^2 van alle gebruikte modellen groter is dan 0,8. Dit laat zien dat het gebruiken van meerdere variabelen een aanzienlijk beter model oplevert dan de losse variabelen. De R^2 zal bij het toevoegen van variabelen altijd stijgen. De adjusted R^2 is een betere maatstaf, omdat deze compenseert voor het aantal toegevoegde variabelen.

Als laatste is geprobeerd de voorspellingen voor arbeidskosten en materiaalkosten bij elkaar op te tellen om de totale kosten te voorspellen. Dit resulteert in een betere voorspelling dan het model voor de totale kosten. Voor de uiteindelijke formules (2), (3) en (4) voor de voorspelling voor de kosten van lasermallen wordt een lineaire regressie uitgevoerd over de gehele dataset gebruikmakend van de combinatie van variabelen met de laagste gemiddelde afwijking (MAPE) in de 10-fold cross validation.

Tabel 4 Geteste modellen voor lasermallen met bijbehorende MAPE

Afhankelijke variabele	Onafhankelijke variabelen	MAPE (10-fold cross validation)	MAPE (Budget)
Arbeidskosten	D, S	0,29	0,30
-	C, D, S	0,26	
-	Log(O), C, D, S	0,25	
Materiaalkosten	Log(O), C, S	0,28	0,17
-	P, Log(O), C, S	0,28	
Totale kosten	N, Log(O), C, D, S	0,23	0,17
-	P, N, Log(O), C, D, S	0,22	
Som	Log(O), C, D, S	0,19	

$$Arbeidskosten = 10.017 + 6.218 * \text{Log}(O) - 5.867 * C + 692 * D + 548 * S \quad (2)$$

$$Materiaalkosten = 17.299 + 22.690 * \text{Log}(O) - 19.728 * C + 1.330 * S \quad (3)$$

$$Totale kosten = 27.316 + 28.907 * \text{Log}(O) - 25.595 * C + 692 * D + 1.878 * S \quad (4)$$

Wat opvalt is dat de spanners en overige bewegingen wel significante variabelen zijn voor alle drie de formules, maar dat de variabele pennen ontbreekt. Verder blijkt uit enkele tests dat de variabele Log(O) inderdaad betere resultaten oplevert dan O.

5 Bepalen model overige mallen nominaal

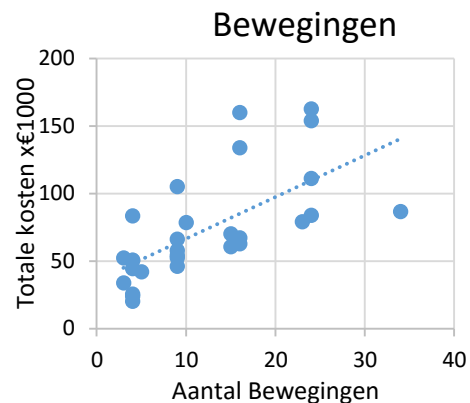
Nu een model voor de lasermallen is gevonden gaan we door met het opstellen van een model voor de overige mallen. Aangezien er van de spotmallen zeer beperkt data beschikbaar is zijn de spotmallen en de arcmallen samengevoegd.

5.1 Analyse van de data

Voor het bepalen van een model voor het voorspellen van de prijs voor de nominale productie van overige mallen is eenzelfde methode gebruikt als beschreven voor de lasermallen. Hiervoor zijn gegevens van 39 mallen gebruikt. Deze gegevens zijn te vinden in Bijlage 2. Als eerste wordt er weer een tabel van determinatiecoëfficiënten (R^2) opgesteld (Tabel 5).

Tabel 5 Determinatiecoëfficiënten (R^2) van alle onafhankelijke vs alle afhankelijke variabelen voor overige mallen

	Materiaal -kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
Bewegingen	0,43	0,61	0,64	0,53
Pennen	0,00	0,01	0,01	0,00
Spanners	0,24	0,12	0,12	0,23
Overig	0,00	0,07	0,10	0,01
Lassen	0,00	0,01	0,01	0,01
Arclas	0,34	0,12	0,09	0,27
Spotlas	0,35	0,27	0,34	0,54
Delen	0,01	0,00	0,00	0,01
Copy	0,28	0,17	0,21	0,29
Nesten	0,00	0,00	0,01	0,00



Figuur 5 Verband tussen het aantal bewegingen en de totale kosten voor Spot/Arc-mallen

De variabele Lassen heeft hier een erg lage R^2 . Dit is te verklaren door het feit dat in deze dataset twee soorten lassen zijn meegenomen: Arclassen en Spotlassen. Als deze variabele wordt gesplitst en de correlatie voor beide variabelen wordt getest bij enkel de betreffende mallen levert dit aanzienlijk betere resultaten op. Voor de overige variabelen die weinig tot geen correlatie vertonen (Pennen, Overig, Delen en Nesten) blijkt bij het bekijken van de plots geen voor de hand liggende transformatie beschikbaar, zoals wel het geval was voor de variabele Overig bij de lasermallen. Verder valt op dat in deze dataset de variabele Bewegingen een hogere R^2 heeft dan de losse variabelen Pennen, Spanners en Overig. Daarom zullen beide mogelijkheden worden getest bij het genereren van mogelijke modellen. Ter illustratie wordt in Figuur 5 het verband getoond tussen het totale aantal bewegingen en de totale kosten.

5.2 Het genereren van mogelijke modellen

Er zullen, net als bij de lasermallen, drie verschillende modellen op worden gesteld voor de verschillende afhankelijke variabelen: materiaalkosten, arbeidskosten en totale kosten. Met het verschil dat er voor elke afhankelijke variabele wordt begonnen met twee regressiemodellen in plaats van één: één met Pennen, Spanners en Overig als verklarende variabelen en één met Bewegingen als verklarende variabelen. De rest van de variabelen wordt aan beide modellen toegevoegd.

Dit levert voor de arbeidskosten twee, voor de materiaalkosten één en voor de totale kosten vijf mogelijke modellen. Deze modellen zijn weergegeven in Tabel 6.

5.3 Het testen van de modellen

Omdat slechts een klein deel van de dataset bestaat uit spotmallen wordt voor het testen van de modellen gebruik gemaakt van stratified 10-fold cross validation. Dit is dezelfde methode als die bij de lasermallen werd gebruikt, met als verschil dat er bij het indelen van de groepen rekening mee wordt gehouden dat de spotmallen evenredig over de groepen worden verdeeld. De gemiddelde afwijkingen (MAPE) zijn gegeven in Tabel 6. De formules (5), (6) en (7) geven de voorspelling voor de kosten van Spot/Arc-mallen.

Tabel 6 Geteste modellen voor overige mallen met bijbehorende MAPE

Afhankelijke variabele	Onafhankelijke variabelen	MAPE (10-fold cross validation)	MAPE (Budget)
Arbeidskosten	B, C	0,25	0,26
-	P, S, O, C	0,26	
Materiaalkosten	AL, SL, C	0,29	0,23
Totale kosten	C	0,31	0,19
-	AL, SL, C	0,24	
-	O, AL, SL, C	0,22	
-	B, AL, SL, C	0,24	
-	B, C	0,27	
Som	AL, SL, B, C	0,23	

$$Arbeidskosten = 5.708 + 832 * B - 5.462 * C \quad (5)$$

$$Materiaalkosten = 19.196 - 15.189 * C + 952 * AL + 336 * SL \quad (6)$$

$$Totale kosten = 27.990 + 1.032 * O - 21.800 * C + 1.285 * AL + 446 * SL \quad (7)$$

Wat opvalt in vergelijking met de modellen voor lasermallen is dat hier de variabelen bewegingen en lassen worden meegenomen terwijl die in de formules voor lasermallen niet voorkwamen.

5.4 Conclusie

Zowel voor de lasermallen als overige mallen heeft de regressieanalyse een model opgeleverd dat de totale kosten voor een mal voorspelt met een gemiddelde afwijking die amper groter is dan de afwijking van de huidige calculatiemethode. Het grote voordeel ten opzichte van de traditionele manier van calculeren is echter dat deze voorspelling binnen aanzienlijk minder tijd gedaan kan worden.

6 Bepalen model cellen nominaal

Nu de modellen voor de mallen zijn opgesteld gaan we verder met het opstellen van modellen voor de cellen. Vanwege de beperkte data over lasercellen zijn alle cellen samengevoegd in één model.

6.1 Analyse van de data

Uit testen met allen Spot/Arc mallen blijkt het verschil tussen die twee niet significant te zijn. Het onderscheid tussen de lasercellen en overige cellen blijkt wel significant, zoals blijkt uit Tabel 7.

Tabel 7 Determinatiecoëfficiënten (R^2) van alle onafhankelijke vs. alle afhankelijke variabelen voor cellen

	Material	Hours	Arbeidskosten	CostTotal
Robots	0,03	0,00	0,00	0,02
Robots(ABB)	0,00	0,00	0,00	0,00
Robots(NABB)	0,02	0,03	0,02	0,02
Laser	0,60	0,43	0,46	0,61
Copy	0,06	0,28	0,28	0,11
Functies	0,50	0,53	0,52	0,55

Het valt op dat het aantal robots geen significant invloed op de kosten lijkt te hebben. Ook niet als dat is uitgesplitst naar het standaard robotmerk (ABB) en overige robots. Uit de plots blijkt geen mogelijke transformatie voor deze variabelen. Omdat het niet logisch zou zijn als deze variabelen inderdaad geen invloed hebben worden deze variabelen toch meegenomen in het generen van de modellen.

6.2 Het genereren en testen van mogelijke modellen

Er zullen voor arbeidskosten, materiaalkosten en totale kosten mogelijke modellen worden gegenereerd vanuit voor elke twee startmodellen: één met het totaal aantal robots, en één met de robots uitgesplitst naar merk. Dit levert voor de arbeidskosten één en voor materiaalkosten en totale kosten beide twee modellen op. Deze modellen zijn weergegeven in Tabel 8.

Er wordt wederom gebruik gemaakt van stratified 10-fold cross-validation waarbij de lasermallen evenredig over de groepen worden verdeeld. De gemiddelde afwijkingen (MAPE) zijn gegeven in Tabel 6. De formules (8), (9) en (10) geven de voorspelling voor de kosten van cellen.

Tabel 8 Geteste modellen voor cellen met bijbehorende MAPE

Afhankelijke variabele	Onafhankelijke variabelen	MAPE (10-fold cross validation)	MAPE (Budget)
Arbeidskosten	C, Laser, F	0,39	0,30
Materiaalkosten	R, Laser, F	0,25	0,09
-	RA, RN, Laser, F	0,25	
Totale kosten	R, Laser, F	0,21	
-	RA, RN, Laser, F	0,21	0,10
Som	R, C, Laser, F	0,21	

$$Arbeidskosten = 22.704 - 31.787 * C + 59.405 * Laser + 5.529 * F \quad (8)$$

$$Materiaalkosten = -32.376 + 38.305 * R + 241.959 * Laser + 13.857 * F \quad (9)$$

$$Totale kosten = -37.781 + 40.212 * R + 307.291 * Laser + 20.143 * F \quad (10)$$

Wat opvalt is dat in tegenstelling tot wat werd verwacht het onderscheid tussen ABB-robots en robots van andere merken niet significant is. Verder valt op de de intercept in twee van de formules negatief is. Als er realistische waardes worden ingevuld kan de uitkomst echter nooit negatief zijn.

6.3 Conclusie

In tegenstelling tot de mallen wijkt de uitkomst van de modellen veel sterker af dan de uitkomst van de traditionele calculatie. Dit komt niet omdat de modellen meer afwijken, maar omdat de calculatie hier minder afwijkt dan bij de mallen. Dit komt waarschijnlijk doordat de verschillen in specifieke onderdelen, zoals robottypes, hier veel invloed op de prijs hebben. Deze verfijning wordt in de huidige calculatie wel meegenomen, maar in de modellen niet. Het voordeel van een snellere schatting weegt hier waarschijnlijk niet op tegen het nadeel van de significant grotere afwijking.

7 Bepalen modellen mallen CZ

De in Nederland geproduceerde mallen leveren onvoldoende data op om een vergelijking op projectniveau te kunnen maken. Daarom worden ook modellen opgesteld om de kosten van in Tsjechië geproduceerde mallen te voorspellen.

7.1 Analyse van de data

Omdat in Tsjechië gemaakte arbeidskosten in Nederland als inkoopkosten worden geadministreerd heeft het geen zin om onderscheid tussen deze kosten te maken. Er zullen daarom drie modellen op worden gesteld voor de totale kosten van de drie verschillende soorten mallen. Hiervoor is data gebruikt van 55 Arcmallen (zie Bijlage 4), 38 Spotmallen (Bijlage 5) en 33 lasermallen (Bijlage 6). De verbanden tussen de onafhankelijke variabelen en de totale kosten voor de verschillende soorten mallen zijn gegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Determinatiecoëfficiënten (R^2) van alle onafhankelijke variabelen vs totale kosten voor CZ-mallen

	Arc	Spot	Laser
Bewegingen	0,48	0,23	0,37
Pennen	0,00	0,10	0,05
Spanners	0,49	0,21	0,07
Overig	0,30	0,14	0,13
Nesten	0,07	0,01	0,09
Delen	0,13	0,23	0,06
Lassen	0,55	0,14	0,13
Copy	0,21	0,35	0,24

7.3 Het genereren en testen van mogelijke modellen

Er worden modellen gegenereerd en getest volgens de in eerdere hoofdstukken omschreven methodes. De gemiddelde afwijkingen (MAPE) zijn gegeven in Tabel 10. De formules (11), (12) en (13) geven de voorspelling voor de kosten van cellen.

Tabel 10 Geteste modellen voor CZ-mallen met bijbehorende MAPE

Mallen	Onafhankelijke variabelen	MAPE (10-fold cross validation)	MAPE (Budget)
Arc	B, L, C	0,21	0,20
-	P, S, O, L, C	0,21	
-	P, O, L, C	0,21	
Spot	B, D, C	0,19	0,15
-	B, C	0,20	
-	D, P, O, C	0,21	
-	D, P, C	0,21	
Laser	B, N, C	0,22	0,08
-	O, L, N, C	0,23	
-	O, N, C	0,23	

$$Kosten Arcmal = 20.198 + 791 * B + 413 * L - 15.244 * C \quad (11)$$

$$Kosten Spotmal = 17.180 + 805 * B + 1.276 * D - 113.124 * C \quad (12)$$

$$Kosten Lasermal = 49.309 + 315 * B + 6.104 * N - 49.003 * C \quad (13)$$

Wat opvalt is dat de drie formules sterk op elkaar lijken. De verschillende variabelen lassen, delen en nesten die het verschillen tussen de functies zijn onderling sterk afhankelijk. Om meerdere delen te verbinden zijn logischerwijs doorgaans meer lassen nodig.

7.4 Conclusie

In tegenstelling tot de in Nederland geproduceerde mallen is hier alleen de MAPE voor arcmallen vergelijkbaar met de MAPE uit de calculatie. De modellen voor spotmallen en lasermallen scoren echter slechter dan de calculatie. Het zou echter kunnen dat deze opmerkelijk nauwkeurige calculatie deels schijn is. Als er vanuit Nederland een opdracht wordt uitbesteed naar Tsjechië wordt hier van tevoren een bedrag voor afgesproken. Als er in Tsjechië meer of minder kosten worden gemaakt dan verwacht is dat niet altijd in de Nederlandse administratie terug te zien.

8 Bepalen modellen mallen Adjust Functionality en Process Optimization

Tot nu toe zijn er enkel modellen opgesteld die de kosten voor het bouwen van nominale cellen en mallen voorspellen. Functionaliteit en proces zijn echter ook belangrijke onderdelen van de machines. In dit hoofdstuk zullen hiervoor modellen worden opgesteld.

8.1 Analyse van de data

Uren voor functionaliteit en proces worden niet geboekt op losse cellen en mallen, maar op machines. Als parameters voor de modellen worden de totalen van de parameters van de onderliggende cellen en mallen gebruikt. Voor de variabele copyfactor wordt een gemiddelde gebruikt en de aantallen mallen en cellen behorende bij een machine worden als parameters toegevoegd. De kosten voor deze productiestap bestaan enkel uit arbeidskosten. De verbanden tussen de onafhankelijke variabelen en de kosten zijn gegeven in Tabel 11. Wat opvalt, is dat de parameters die betrekking hebben op mallen een veel sterkere correlatie tonen dan de parameters die betrekking hebben op cellen.

Tabel 11 Determinatiecoëfficiënten (R^2) van alle onafhankelijke variabelen vs totale kosten voor CZ-mallen

	Adjust Functionality	Process Optimization	Totaal
# Cellen	0,05	0,11	0,09
CellFuncties	0,04	0,01	0,03
Robots	0,09	0,26	0,33
Laser	0,23	0,50	0,38
# Mallen	0,09	0,16	0,14
Bewegingen	0,40	0,40	0,53
Pennen	0,44	0,38	0,48
Spanners	0,31	0,32	0,36
Overig	0,25	0,49	0,39
Lassen	0,24	0,46	0,37
Nesten	0,35	0,42	0,44
Delen	0,40	0,32	0,48
Copy	0,03	0,01	0,02

8.3 Het genereren en testen van mogelijke modellen

De geteste modellen zijn weergegeven in Tabel 12. Wat opvalt, is dat de MAPE uit zowel de modellen als de calculatie erg hoog is. De formules (14), (15) en (16) geven de voorspelling voor de kosten van cellen.

Tabel 12 Geteste modellen voor functionaliteit en proces met bijbehorende MAPE

Afhankelijke variabele	Onafhankelijke variabelen	MAPE (10-fold cross validation)	MAPE (Budget)
Adjust Functionality	P	1,05	0,77
-	D	1,24	
-	P, D	1,07	
-	R, D	1,31	
-	C, R, D	1,27	
Process Optimization	Laser	0,55	0,92
-	Laser, D	0,50	
Totaal	D	0,52	0,54
-	P	0,45	
-	O, P	0,50	
-	O, P, D	0,54	
-	Laser, D	0,51	
-	O, D	0,61	
-	Laser	0,49	
Som	P, O, Laser, D	0,58	

$$Kosten PO = 20.198 + 426 * P \quad (14)$$

$$Kosten AF = 20.198 + 17.505 * Laser + 113 * D \quad (15)$$

$$Kosten Totaal = 19.251 + 708 * P \quad (16)$$

Wat opvalt is dat er zeer weinig variabelen significant blijken te zijn in het voorspellen van deze kosten. De verwachting was dat meer variabelen significante invloed zouden hebben. Bovendien is de afwijking zeer groot. Waarschijnlijk komt dit, in ieder geval deels, door het feit dat uren voor deze activiteiten niet altijd correct worden geboekt. In sommige gevallen worden alle uren óf onder functionaliteit óf onder proces geboekt of de uren voor verschillende machines van één project worden onder één machine geboekt.

9 Combineren van gevonden modellen

In voorgaande hoofdstukken zijn modellen opgesteld voor verschillende delen van machines. Om een beter inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van deze modellen zijn deze modellen gecombineerd om de totale kosten voor machines te voorspellen door de voorspellingen van de verschillende onderdelen bij elkaar op te tellen. Dit levert een MAPE op van 0,11 voor de modellen tegenover een MAPE van 0,09 voor de calculatie. Aangezien de cellen aanzienlijk beter worden voorspeld door de calculatie is ook geprobeerd de gecalculeerde kosten voor de cellen te combineren met de kosten voor mallen berekend met behulp van de modellen. Dit levert een MAPE op van 0,10.

9.1 Foutmarge

Aangezien er geen aannames zijn te maken over bijvoorbeeld een normale verdeling van deze afwijking is het zeer lastig of zelfs onmogelijk om een statistisch betrouwbaarheidsinterval op te stellen. Elke van de 24 onderzochte machines werd voorspeld met een afwijking van minder dan 25%. Als een marge van 25% naar boven en naar beneden wordt gebruikt is het aannemelijk dat het overgrote deel van de kosten voor machines die met deze methode worden voorspeld binnen deze marge vallen. Bij het bereken van meerdere machines gaat de foutmarge omlaag, zoals gegeven in vergelijking (17).

$$Foutmarge = \frac{25\%}{\sqrt{Aantal\ machines}} \quad (17)$$

Alle gevonden modellen zijn samengebracht in een Excel-tool waarmee calculatoren en eventueel anderen snel een schatting kunnen maken. Een screenshot van deze tool is weergegeven in Figuur 6.

Budgettool op basis van parametrische modellen																	
AB nr.		Opmerkingen															
Projectnaam																	
Datum																	
Ingevuld door																	
										Totaal cellen		.000					
												Totaal mallen		.000			
												Totaal AF + PD		Totaal Project			
												.000		.000			
Machine 1			Soort Las	Functies	Robots	Copy						Uren	Materiaal	Totaal	Totaal cellen		
	Cel 1											0	0	0	0		
	Cel 2											0	0	0	0		
	Cel 3											0	0	0	0		
	NUC2		Soort Las	Functies													
				Spanners	Pennen	Overig	Totaal	Delen	Nesten	Lassen	Copy	Uren	Materiaal	Totaal	Totaal mallen		
	Mal 1						0					0	0	0	0		
	Mal 2						0					0	0	0	0		
	Mal 3						0					0	0	0	0		
	Mal 4						0					0	0	0	0		
	Mal 5						0					0	0	0	0		
	Mal 6						0					0	0	0	0		
												AF	PD	Totaal	Totaal AF + PD		Totaal Machine
											0	0	0	0		0	
Machine 2			Soort Las	Functies	Robots	Copy						Uren	Materiaal	Totaal	Totaal cellen		
	Cel 1											0	0	0	0		
	Cel 2											0	0	0	0		
	Cel 3											0	0	0	0		
	NUC2		Soort Las	Functies													
				Spanners	Pennen	Overig	Totaal	Delen	Nesten	Lassen	Copy	Uren	Materiaal	Totaal	Totaal mallen		
	Mal 1						0					0	0	0	0		
	Mal 2						0					0	0	0	0		
	Mal 3						0					0	0	0	0		
	Mal 4						0					0	0	0	0		
	Mal 5						0					0	0	0	0		
	Mal 6						0					0	0	0	0		
												AF	PD	Totaal	Totaal AF + PD		Totaal Machine
											0	0	0	0		0	
Machine 3			Soort Las	Functies	Robots	Copy						Uren	Materiaal	Totaal	Totaal cellen		
	Cel 1											0	0	0	0		
	Cel 2											0	0	0	0		
	Cel 3											0	0	0	0		
	NUC2		Soort Las	Functies													
				Spanners	Pennen	Overig	Totaal	Delen	Nesten	Lassen	Copy	Uren	Materiaal	Totaal	Totaal mallen		
	Mal 1						0					0	0	0	0		
												AF	PD	Totaal	Totaal AF + PD		Totaal Machine
											0	0	0	0		0	

Figuur 6 Screenshot van de Exceltool voor het voorspellen van kosten op basis van de gevonden modellen.

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusie

In dit onderzoek zijn door middel van regressieanalyse modellen opgesteld om de kosten voor het bouwen van machines te voorspellen. Hiervoor is data verzameld uit Navision en Excelbestanden van de calculatie. Voor dit laatste is een speciale tool ontwikkeld. Met deze data zijn verschillende modellen opgesteld voor de nominale cellen en mallen in Nederland en Tsjechie en voor Functionaliteit en Proces.

10.2 Gevonden afwijkingen en voorbehoud

Tabel 13 Overzicht van alle gevonden modellen met afwijkingen (MAPE)

Model	MAPE (Model)	MAPE (Budget)
Lasermallen NL	0.19	0.17
Overige mallen NL	0.22	0.19
Arcmallen CZ	0.21	0.20
Spotmallen CZ	0.19	0.15
Lasermallen CZ	0.22	0.08
Cellen	0.21	0.10
Functionaliteit en Proces	0.45	0.54
Totaal	0.11	0.09

In Tabel 13 wordt van alle gevonden modellen de afwijking (MAPE weergegeven). De belangrijkste conclusie is dat het model voor de totale kosten weinig meer afwijkt van de werkelijkheid dan de huidige manier van calculeren. Er moet echter rekening worden gehouden met enkele belangrijke overwegingen voordat een dergelijk model wordt ingevoerd.

Ten eerste is een parametrisch model vanwege het beperkte aantal variabelen waar mee wordt gewerkt een sterk versimpelde weergave van de werkelijkheid (ISPA, 2008). De realiteit van de projecten bij AWL is veel complexer dan deze modellen. Het zou daardoor kunnen dat er variabelen zijn die de kosten van een machine beïnvloeden, maar die niet in de modellen worden meegenomen. Hierdoor kan het gebeuren dat de kosten voor projecten met bepaalde kenmerken structureel te hoog of te laag worden ingeschat.

Ten tweede zijn het parametrisch model en de schatting van de nauwkeurigheid van dat model gebaseerd op gegevens van gerealiseerde projecten. Als deze gegevens niet geheel overeenkomen met de werkelijkheid kan het model nauwkeuriger lijken dan het daadwerkelijk is.

In dit stadium is het niet aan te raden het parametrische model de rol van de huidige calculatie over te laten nemen. Het model geeft alleen een totaalbedrag per mal en cel en geen uren per afdeling. Wel zou het model als vervanging kunnen dienen voor het grofbudget dat nu wordt gebruikt.

10.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek

In dit onderzoek zijn de gevonden modellen vergeleken met de detailcalculaties. Aangezien het waarschijnlijker is dat de nieuwe modellen en de Exceltool zullen worden gebruikt ter vervanging van het grofbudget is het belangrijk de nauwkeurigheid van het grofbudget te onderzoeken en te vergelijken met de nauwkeurigheid van de modellen.

De modellen uit dit onderzoek zijn enkel gebaseerd en getest op gegevens van projecten van de afdelingen seating en body, omdat deze projecten onderling meer gelijkenissen vertonen dan de projecten van de afdeling special. Het zou interessant zijn om enkele historische projecten van deze afdeling te “voorspellen” met de gevonden modellen om te zien of deze modellen ook daarvoor een redelijke voorspelling bieden of dat er andere modellen moeten worden ontwikkeld voor deze afdeling.

In dit onderzoek en eerdere onderzoeken bij AWL is naar voren gekomen dat de huidige calculatie bij AWL behoorlijke foutmarges laat zien, ondanks de grote hoeveelheid tijd die in een calculatie wordt gestoken. Het kan goed zijn om te analyseren waar dit aan ligt, mogelijk kan de lijst van belangrijke oorzaken voor foutmarges in kostencalculatie van Kingsman en De Souza (1997), gegeven in Tabel 1 hier een leidraad voor bieden.

Artificial Neural Networks (ANNs) zijn volgende stap op het gebied van parametrisch ramen. Deze netwerken berekenen zelf het ideale model op basis van de gegevens. Dit levert een beter model op dan de parametrische benadering die in dit onderzoek is gebruikt (Cavalieri et al., 2004; Caputo en Pelagagge, 2008). Als AWL dieper in wil gaan op parametrische analyse kan dit een goede vervolgstap zijn. Wel gelden enkele belangrijke nadelen van parametrische analyse ook hier. Ook een ANN is gebaseerd op historische data en de nauwkeurigheid van zo’n model is dus afhankelijk van de nauwkeurigheid van deze historische data.

De foutmarge van de modellen voor functionaliteit en proces zijn vloeien waarschijnlijk voor een groot deel voort uit het onjuist boeken van uren voor deze activiteiten. Het is belangrijk te onderzoeken waar deze onjuiste boekingen uit voortkomen en of dit verbeterd kan worden.

In de huidige calculatie worden de kosten voor functionaliteit en proces berekend op het niveau van individuele cellen en mallen. In het ERP systeem worden echter zowel de gebudgetteerde als gerealiseerde kosten voor deze activiteiten geregistreerd op machine-niveau. Een machine bestaat hier uit één of enkele cellen met bijbehorende mallen, een project kan uit meerdere machines bestaan. Dit verschil in notatie tussen de voor- en nacalculatie maakt het vergelijken van deze twee lastiger.

Van de variabelen die in Tabel 2 met een vraagteken zijn aangemerkt is het niet mogelijk gebleken genoeg data te verzamelen om deze variabelen in de analyse te gebruiken. Als er meer data beschikbaar zou zijn over deze variabelen is het aan te raden het effect van deze variabelen op de kosten te onderzoeken.

Literatuurlijst

- Aderoba, A. (1997). A generalised cost-estimation model for job shops. *International Journal of Production Economics*, 53 (3), 257-263.
- Caputo, A. C., & Pelagagge, P. M. (2008). Parametric and neural methods for cost estimation of process vessels. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 934-954.
- Cavalieri, S., Maccarone, P., & Pinto, R. (2004). Parametric vs. neural network models for the estimation of production costs: A case study in the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 91 (2), 165-177.
- CBS. (2015, July 14). *Consumentenprijzen; prijsindex 2006 = 100*. Retrieved from StatLine: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=71311NED&D1=0&D2=0&D3=220-231,233-244,246-257,259-264&HDR=T,G1&STB=G2&VW=T>
- Duverlie, P., & Castelain, J. M. (1999). Cost estimation during design step: Parametric method versus case based reasoning method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15 (12), 895-906.
- Ehrenspiel, K., Kiewert, A., & Lindemann, U. (2007). *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren (6e druk)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- International Society of Parametric Analysts (ISPA). (2008). *Parametric estimating handbook, fourth edition*. Vienna: ISPA.
- Kingsman, B. G., & De Souza, A. A. (1997). A knowledge-based decision support system for cost estimation and pricing decisions in versatile manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 53 (2), 119-139.
- Kohavi, R. (1995). A Study of Cross-Validation and Bootstrap. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 14 (2), 1137-1145.
- Qian, L., & Ben-Arieh, D. (2008). Parametric cost estimation based on activity-based costing: A case study for design and development of rotational parts. *International Journal of Production Economics*, 113 (2), 805-818.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Handleiding parametrisch ramen*.
- Weustink, I. F., Ten Brinke, E., Streppel, A. H., & Kals, H. (2000). Generic framework for cost estimation and cost control in product design. *Journal of Materials Processing Technology*, 103 (1), 141-148.

1 Gegevens lasermallen NL

Nummer	Groep	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Sqto	AdJO	Logo	Nesten	Delen	Lassen	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	9	8	3	2	3	1,73	3	0,48	1	3	4	0	28.026	384	24.226	52.252
2	4	9	6	0	3	1,73	3	0,48	1	4	12	1	12.892	121	7.285	20.176
3	6	9	6	0	3	1,73	3	0,48	1	4	12	1	11.916	198	12.127	24.043
4	8	9	6	0	3	1,73	3	0,48	1	4	12	1	12.294	215	13.193	25.488
5	8	9	6	0	3	1,73	3	0,48	1	4	12	0	34.667	162	9.687	44.353
6	5	11	5	5	1	1,00	1	0,00	1	3	20	0	23.582	167	10.183	33.765
7	7	12	6	3	3	1,73	3	0,48	1	4	8	0	28.253	360	22.191	50.444
8	2	12	6	3	3	1,73	3	0,48	1	4	8	0	29.195	343	21.449	50.644
9	2	17	0	2	15	3,87	15	1,18	4	9	10	1	31.151	250	14.941	46.092
10	5	17	0	2	15	3,87	15	1,18	4	9	10	0	40.189	440	25.979	66.168
11	9	34	10	20	4	2,00	4	0,60	1	5	30	0	26.463	289	15.523	41.986
12	6	41	0	0	41	6,40	41	1,61	5	15	54	1	31.491	460	29.076	60.567
13	1	41	0	0	41	6,40	41	1,61	5	15	54	0	38.299	504	31.815	70.113
14	4	58	16	18	24	4,90	24	1,38	5	24	45	0	52.424	494	31.414	83.838
15	10	58	16	18	24	4,90	24	1,38	5	24	45	0	116.838	578	37.051	153.889
16	4	60	15	18	27	5,20	27	1,43	5	24	45	0	51.229	937	59.886	111.115
17	10	60	15	18	27	5,20	27	1,43	5	24	45	0	113.794	762	48.798	162.592
18	9	68	0	0	68	8,25	50	1,83	4	16	88	1	32.244	548	34.908	67.152
19	7	68	0	0	68	8,25	50	1,83	4	16	88	0	32.061	491	30.676	62.737
20	8	78	22	50	6	2,45	6	0,78	2	16	54	0	86.348	754	47.509	133.857
21	1	78	22	50	6	2,45	6	0,78	2	16	54	0	97.594	981	62.322	159.916
22	1	37	7	4	26	5,10	48	1,41	3	9	20	0	75.609	470	29.484	105.093
23	3	37	7	4	26	5,10	48	1,41	3	9	20	1	33.182	338	20.982	54.164
24	3	37	7	4	26	5,10	48	1,41	3	9	20	1	37.406	331	20.396	57.802
25	7	37	7	4	26	5,10	48	1,41	3	9	20	1	35.639	272	16.748	52.387
26	2	127	25	4	98	9,90	50	1,99	5	34	88	1	50.689	564	35.916	86.605
27	5	135	23	0	112	10,58	50	2,05	4	23	57	1	47.694	505	31.375	79.069
28	6	40	6	20	14	3,74	14	1,15	1	4	28	0	56.943	429	26.465	83.408
29	3	38	20	18	0	0,00	0	0,00	4	10	34	0	50.135	458	28.337	78.471

2 Gegevens overige mallen NL

Nummer	Groep	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Nesten	Delen	Arclassen	Spotlassen	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	1	10	0	8	2	2	4	0	20	1	21.601	115	7.076	28.677
2	7	10	0	4	6	2	6	0	26	1	15.737	223	10.866	26.604
3	4	9	2	5	2	1	4	12	0	1	14.580	102	6.466	21.046
4	9	9	2	5	2	1	6	8	0	1	11.345	150	9.521	20.866
5	9	16	0	2	14	1	9	12	0	1	19.089	236	14.987	34.076
6	4	16	0	2	14	1	9	12	0	1	22.022	332	21.149	43.171
7	5	12	4	8	0	5	12	24	0	1	25.008	289	12.192	37.200
8	2	16	2	10	4	5	15	20	0	1	13.874	121	7.735	21.609
9	6	21	5	13	3	1	9	30	0	1	27.160	314	19.587	46.746
10	9	18	18	0	0	1	7	17	0	1	19.669	221	13.590	33.258
11	7	20	8	2	10	2	6	4	0	0,5	14.596	261	16.464	31.060
12	8	10	4	1	5	1	3	2	0	0,5	10.231	120	7.479	17.710
13	7	17	6	11	0	2	6	19	0	0,5	21.826	179	10.628	32.455
14	2	16	4	8	4	2	8	0	44	0	42.553	189	12.252	54.805
15	2	16	1	9	6	3	10	16	0	0	29.346	347	23.041	52.387
16	3	10	0	8	2	2	4	0	20	0	21.423	210	12.930	34.353
17	10	20	8	2	10	2	6	4	0	0	15.274	277	17.461	32.735
18	10	10	4	1	5	1	3	2	0	0	15.621	182	11.140	26.761
19	5	10	0	4	6	2	6	0	26	0	31.022	290	17.723	48.745
20	1	17	6	11	0	2	6	19	0	0	35.068	240	14.635	49.703
21	4	9	2	5	2	1	4	12	0	0	26.958	256	16.296	43.254
22	8	9	2	5	2	1	6	8	0	0	26.300	196	12.573	38.872
23	2	16	0	2	14	1	9	12	0	0	39.566	342	22.013	61.578
24	8	22	3	14	5	4	18	31	0	0	52.224	373	23.903	76.127
25	8	17	5	7	5	1	8	24	0	0	47.571	340	21.898	69.469
26	3	12	4	8	0	5	12	24	0	0	53.616	247	12.024	65.640
27	6	16	2	10	4	5	15	20	0	0	16.359	229	14.727	31.086
28	9	7	1	4	2	5	11	10	0	0	30.294	234	14.939	45.233
29	3	13	2	10	1	2	10	16	0	0	23.189	177	11.075	34.264
30	5	27	1	19	7	4	15	20	0	0	39.421	348	22.597	62.018
31	7	18	6	6	6	4	10	12	0	0	36.444	373	22.973	59.417
32	1	18	6	6	6	4	10	12	0	0	19.440	330	20.397	39.836
33	6	18	4	12	2	1	3	13	0	0	56.658	520	31.873	88.531
34	1	22	6	12	4	1	4	25	0	0	63.521	583	35.347	98.868
35	3	14	2	9	3	1	3	19	0	0	38.859	291	16.613	55.472
36	5	20	4	8	8	1	5	25	0	0	56.864	456	27.960	84.824
37	10	17	2	9	6	1	1	36	0	0	38.569	254	15.194	53.762
38	6	10	2	6	2	1	3	0	36	0	22.931	252	15.538	38.469
39	4	17	3	11	3	1	6	0	45	0	26.335	349	21.639	47.974

3 Gegevens cellen

Nummer	Groep	Funcies	Robots	Robots (ABB)	Robots (Niet ABB)	Laser	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	6	18	3	0	3	0	0	392.346	3.038	179.861	572.207
2	5	18	3	0	3	0	1	387.653	2.250	135.151	522.804
3	5	18	3	0	3	0	1	400.769	1.263	71.032	471.801
4	10	7	3	3	0	0	0,5	146.987	422	26.880	173.867
5	5	8	2	0	2	0	0	118.757	1.444	89.516	208.273
6	2	8	2	0	2	0	1	100.737	363	22.289	123.026
7	3	8	2	0	2	0	1	100.720	443	28.499	129.219
8	9	8	2	0	2	0	1	100.327	370	23.390	123.716
9	1	8	2	0	2	0	1	113.116	362	22.152	135.269
10	2	10	2	0	2	0	0	97.404	880	52.622	150.025
11	3	16	0	0	0	0	0	143.722	2.051	125.419	269.141
12	9	17	0	0	0	0	0	134.607	1.384	83.685	218.292
13	1	3	0	0	0	0	0,5	19.751	277	17.324	37.075
14	8	6	2	2	0	0	1	95.254	862	54.326	149.580
15	2	6	2	2	0	0	1	90.641	405	24.129	114.770
16	7	8	3	0	3	0	0	182.015	1.878	108.748	290.763
17	5	20	3	0	3	0	0	296.057	1.648	99.665	395.722
18	1	5	2	2	0	0	0,5	124.366	1.042	62.718	187.084
19	10	5	2	2	0	0	0,5	118.876	326	17.398	136.274
20	6	5	2	2	0	0	0,5	119.050	499	27.429	146.479
21	3	5	2	2	0	0	0,5	118.074	308	16.921	134.995
22	8	5	2	2	0	0	0,5	118.955	300	14.330	133.285
23	7	8	1	0	1	0	0,5	105.469	472	24.824	130.293
24	9	6	2	0	2	0	0,5	193.574	686	40.173	233.747
25	4	6	2	0	2	0	0,5	170.350	507	29.491	199.841
26	3	6	2	2	0	0	0,5	142.771	784	49.342	192.113
27	4	6	2	2	0	0	0,5	136.081	385	24.971	161.051
28	1	6	2	2	0	0	0,5	136.128	355	22.821	158.949
29	9	6	2	2	0	0	0,5	136.952	464	30.128	167.080
31	10	5	1	0	1	0	1	97.711	229	14.062	111.773
32	8	5	1	0	1	0	1	99.053	261	15.839	114.891
33	4	5	1	0	1	0	1	97.499	272	15.955	113.454
34	2	5	1	0	1	0	1	97.795	165	10.267	108.062
35	10	5	1	0	1	0	1	102.741	195	12.338	115.079
36	7	6	3	0	3	0	0,5	161.402	644	40.738	202.140
37	7	6	3	0	3	0	1	140.909	645	40.314	181.222
38	1	5	1	0	1	0	1	98.136	279	17.799	115.935
39	8	7	3	3	0	0	0,5	156.604	333	21.269	177.872
40	6	6	1	1	0	0	0	131.875	1.093	69.376	201.251
41	5	6	2	2	0	0	0	137.036	763	46.786	183.823
42	4	6	2	2	0	0	0,5	148.323	1.099	70.573	218.896
43	3	6	3	3	0	0	1	170.001	573	37.090	207.091
44	6	6	2	2	0	0	1	141.750	391	24.713	166.463
45	10	6	2	2	0	0	1	109.270	477	32.014	141.284
46	8	6	2	2	0	0	0,5	131.973	706	43.346	175.319
47	6	5	1	1	0	0	0,5	96.794	1.011	59.321	156.115
49	2	6	2	0	2	0	0,5	185.646	976	62.417	248.064
50	4	6	1	1	0	0	0,5	79.588	522	33.344	112.932
53	7	6	2	2	0	0	0,5	139.159	683	43.718	182.877
54	8	10	1	0	1	1	0,5	422.973	3.453	208.779	631.752
55	2	10	1	0	1	1	0,5	395.398	2.121	134.038	529.436
56	7	10	1	0	1	1	0,5	446.963	1.880	119.250	566.213
57	3	10	1	0	1	1	0,5	434.817	1.903	121.994	556.811
58	5	11	2	2	0	1	0,5	365.791	1.312	83.228	449.019
59	9	16	1	1	0	1	0,5	620.141	1.927	125.188	745.329
60	6	17	3	3	0	1	0	596.894	3.109	183.157	780.051
61	4	10	1	0	1	1	0	170.131	2.169	133.215	303.345
62	1	11	2	2	0	1	0	386.096	1.817	115.345	501.442

4 Gegevens Arcmallen CZ

Nummer	Groep	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Nesten	Delen	Lassen	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	8	6	2	3	1	1	2	8	0	24.997	46	2.579	27.576
2	4	12	3	9	0	3	9	6	0	36.144	136	8.554	44.698
3	8	12	3	9	0	3	9	6	1	19.053	11	675	19.728
4	3	20	5	12	3	2	12	28	0	50.162	82	4.938	55.101
5	4	20	5	12	3	2	12	28	1	25.676	29	1.625	27.301
6	1	20	5	12	3	2	12	28	1	47.804	119	7.163	54.968
7	8	20	5	12	3	2	12	28	1	27.094	156	9.295	36.389
8	5	19	0	11	8	5	28	30	0	40.546	92	5.595	46.141
9	8	19	0	11	8	5	28	30	1	19.714	54	3.309	23.023
10	1	19	0	11	8	5	28	30	1	20.435	89	5.429	25.864
11	6	19	0	11	8	5	28	30	1	20.434	28	1.689	22.123
12	8	14	2	10	2	1	6	20	0	25.676	53	2.920	28.597
13	7	14	2	10	2	1	6	20	1	24.257	39	2.153	26.410
14	1	14	2	10	2	1	6	20	1	27.094	124	7.589	34.683
15	5	14	2	10	2	1	6	20	1	27.094	152	9.462	36.555
16	7	22	1	12	9	2	12	40	0	42.864	205	12.924	55.788
17	10	24	1	11	12	2	12	31	0	40.151	167	10.328	50.479
18	9	21	0	11	10	2	11	28	0	37.498	71	4.558	42.056
19	5	21	0	11	10	2	14	34	0	48.795	81	5.239	54.033
20	2	38	4	22	12	2	10	52	0	62.095	77	4.608	66.703
21	10	20	0	8	12	2	12	28	0	40.389	61	3.545	43.934
22	4	18	0	14	4	3	14	30	0	38.592	109	6.987	45.580
23	7	14	0	13	1	5	15	28	0	41.979	94	5.847	47.826
24	4	8	4	4	0	2	4	4	0	15.951	96	5.891	21.842
25	7	8	4	4	0	2	4	4	1	14.937	28	1.696	16.633
26	7	8	4	4	0	2	4	4	1	15.156	35	2.160	17.316
27	10	8	4	4	0	2	4	4	1	15.110	17	1.026	16.136
28	6	7	0	3	4	1	4	8	0	21.274	71	4.528	25.802
29	10	12	6	4	2	1	2	6	0	17.895	71	4.540	22.435
30	3	7	0	3	4	1	4	8	1	16.508	46	2.796	19.304
31	5	12	6	4	2	1	2	6	1	16.345	37	2.244	18.588
32	2	7	0	3	4	1	4	8	1	19.587	33	2.016	21.604
33	6	12	6	4	2	1	2	6	1	16.345	19	1.188	17.532
34	9	14	6	6	2	1	4	6	0	22.824	57	3.598	26.422
35	2	14	6	6	2	1	4	6	1	21.037	34	2.084	23.121
36	10	32	6	13	13	3	8	20	0	53.281	55	3.406	56.687
37	4	32	6	13	13	3	8	20	1	46.426	48	3.094	49.520
38	4	32	6	13	13	3	8	20	1	32.369	110	7.176	39.545
39	9	32	6	13	13	3	8	20	1	32.197	62	3.888	36.085
40	6	43	1	22	20	4	20	102	0	85.788	570	39.495	125.283
41	5	43	1	22	20	4	20	100	1	41.515	172	11.012	52.527
42	5	12	5	7	0	5	15	34	0	34.963	144	9.446	44.410
43	2	12	5	7	0	5	15	34	1	23.183	87	5.729	28.913
44	3	25	9	14	2	2	10	49	0	65.230	95	6.131	71.361
45	9	25	9	14	2	2	10	49	1	32.016	39	2.613	34.629
46	6	16	6	8	2	1	8	18	0	42.242	101	6.808	49.050
47	9	20	6	11	3	2	10	54	0	58.225	103	6.857	65.083
48	3	18	3	12	3	1	9	46	0	45.800	208	13.131	58.931
49	1	18	3	12	3	1	9	46	1	19.928	35	2.187	22.115
50	1	19	4	9	6	2	11	18	0	33.632	145	9.140	42.772
51	2	18	0	14	4	4	18	28	0	34.969	154	9.713	44.682
52	3	20	4	14	2	2	13	30	0,5	32.001	15	824	32.826
53	3	17	4	11	2	2	13	20	0,5	28.088	8	457	28.545
54	2	41	10	23	8	5	20	22	0,5	50.402	8	428	50.830
55	1	16	2	9	5	1	6	16	0,5	27.367	7	403	27.769

5 Gegevens spotmallen CZ

Nummer	Groep	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Nesten	Delen	Lassen	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	10	15	4	8	3	2	4	10	0	21.638	107	6.764	28.401
2	6	15	4	8	3	2	4	10	1	20.427	34	2.006	22.433
3	1	11	4	4	3	2	4	22	0	21.802	67	4.304	26.105
4	8	11	4	4	3	2	4	22	1	17.769	55	3.059	20.828
5	4	13	5	5	3	1	3	8	0	25.546	61	3.652	29.198
6	9	13	5	5	3	1	3	8	1	24.673	105	6.595	31.268
7	8	15	4	8	3	2	4	10	1	15.289	76	4.542	19.831
8	7	15	4	8	3	2	4	10	1	14.863	23	1.316	16.179
9	4	11	4	4	3	2	4	22	1	13.803	56	3.401	17.204
10	6	11	4	4	3	2	4	22	1	12.378	36	2.249	14.627
11	2	13	5	5	3	1	3	8	1	15.943	8	517	16.460
12	9	13	5	5	3	1	3	8	1	15.625	23	1.480	17.105
13	6	15	4	8	3	2	4	10	1	15.320	20	1.075	16.395
14	1	15	4	8	3	2	4	10	1	15.372	21	1.047	16.419
15	3	11	4	4	3	2	4	22	1	14.069	24	1.417	15.486
16	10	11	4	4	3	2	4	22	1	12.694	17	1.109	13.803
17	7	13	5	5	3	1	3	8	1	16.147	36	2.023	18.170
18	5	13	5	5	3	1	3	8	1	15.891	52	3.085	18.975
19	9	19	6	10	3	1	6	25	0	43.125	107	6.691	49.817
20	2	19	6	10	3	1	6	25	0,5	20.877	86	5.355	26.232
21	5	26	11	9	6	2	7	20	0	46.885	92	5.807	52.693
22	2	16	5	5	6	1	3	31	0	28.037	136	8.397	36.434
23	5	21	4	9	8	2	5	20	0	39.791	107	6.647	46.438
24	3	18	3	6	9	1	3	17	0	25.948	48	2.918	28.866
25	7	10	0	4	6	1	4	16	0	28.744	68	4.324	33.068
26	3	10	0	4	6	1	4	16	0,5	19.041	34	2.039	21.080
27	4	4	0	2	2	1	2	12	0	16.635	72	4.256	20.892
28	2	22	6	12	4	4	8	58	0	39.675	45	2.745	42.419
29	8	18	4	10	4	2	6	18	0	36.934	69	4.246	41.179
30	5	9	2	7	0	1	3	14	0	27.395	65	3.979	31.374
31	6	5	2	2	1	1	2	2	0	17.520	41	2.586	20.106
32	1	8	2	4	2	2	4	20	0	21.604	74	4.309	25.913
33	10	6	0	4	2	2	4	19	0	26.387	206	11.502	37.889
34	4	6	0	4	2	2	4	19	1	17.230	38	1.659	18.889
35	3	6	0	4	2	2	4	19	0	19.141	27	1.593	20.734
36	8	6	0	4	2	2	4	19	1	17.285	24	1.436	18.721
37	7	10	2	6	2	3	6	17	0	26.746	100	6.873	33.620
38	1	10	2	6	2	3	6	17	0,5	41.540	15	1.011	42.551

6 Gegevens Lasermallen CZ

Nummer	Groep	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Nesten	Delen	Lassen	Copy	Materiaal- kosten	Uren	Arbeids- kosten	Totale kosten
1	8	128	14	7	107	5	25	69	0	136.668	353	21.868	158.536
2	3	158	19	0	139	5	20	55	0	112.590	213	13.219	125.810
3	8	128	14	7	107	5	25	69	1	60.333	197	11.973	72.306
4	1	158	19	0	139	5	20	55	1	57.457	221	12.512	69.968
5	6	127	25	4	98	5	34	88	0	93.448	522	33.049	126.497
6	1	127	25	4	98	5	34	88	0	74.426	407	26.064	100.490
7	6	154	18	0	136	5	35	35	0	117.386	492	31.443	148.829
8	2	154	18	0	136	5	35	35	1	55.526	200	12.531	68.056
9	7	154	18	0	136	5	35	35	1	54.059	142	8.820	62.879
10	5	154	18	0	136	5	35	35	1	54.076	109	6.792	60.868
11	5	110	9	6	95	3	12	74	0	144.188	247	15.514	159.702
12	4	130	6	4	120	2	9	74	0	85.607	153	9.690	95.297
13	10	25	7	6	12	3	9	36	0	73.388	188	11.569	84.957
14	5	100	9	6	85	3	12	74	1	73.363	130	8.427	81.790
15	2	79	12	25	42	5	37	25	0	87.746	133	8.376	96.121
16	9	79	12	25	42	5	37	25	1	74.205	110	6.636	80.841
17	3	79	12	25	42	5	37	25	0,5	82.414	223	14.311	96.725
18	7	79	12	25	42	5	37	25	1	42.492	93	5.498	47.990
19	9	46	2	20	24	5	25	17	0	60.180	112	7.139	67.319
20	3	46	2	20	24	5	25	17	0,5	36.993	119	7.473	44.466
21	10	61	22	22	17	3	14	32	0	72.480	286	16.506	88.986
22	10	61	22	22	17	3	14	38	0	62.886	157	9.842	72.728
23	4	61	22	22	17	3	14	38	1	55.801	118	7.234	63.035
24	2	139	4	0	135	1	10	93	1	35.617	117	7.239	42.857
25	8	129	3	0	126	2	14	94	0	74.265	262	17.015	91.279
26	3	226	13	8	205	4	35	139	0	135.149	369	24.105	159.253
27	1	226	13	8	205	4	35	139	1	74.520	259	16.503	91.023
28	9	226	13	8	205	4	35	139	1	74.520	122	7.716	82.236
29	1	226	13	8	205	4	35	139	1	74.520	139	8.848	83.368
30	6	57	16	26	15	3	8	28	0	59.370	143	9.327	68.697
31	2	57	16	26	15	3	8	28	1	56.615	28	1.718	58.333
32	7	181	4	0	177	1	30	90	1	51.768	219	14.899	66.667
33	4	38	12	22	4	1	5	30	0	47.854	41	2.402	50.256

7 Gegevens Adjust Functionality en Process Optimization

Nummer	Groep	# Cellen	# Mallen	CellFuncties	Robots	Laser	Bewegingen	Pennen	Spanners	Overig	Lassen	Nesten	Delen	Copy	Process Optimization	Adjust Functionality	Total
1	2	1	2	6	6	0	24	10	14	0	68	10	30	0,50	12.469	26.303	38.772
2	1	1	2	6	6	0	37	4	23	10	46	6	29	0,17	14.558	9.453	24.011
3	8	1	4	6	5	0	36	8	20	8	40	4	20	0,40	19.883	37.003	56.886
4	10	1	3	11	10	1	228	64	104	60	112	12	32	0,38	29.471	26.893	56.363
5	6	1	2	5	6	0	24	6	18	0	12	6	18	0,50	21.349	3.539	24.887
6	4	1	2	5	3	0	20	8	2	10	4	2	6	0,33	6.925	15.654	22.579
7	7	1	2	6	6	0	46	2	23	21	71	4	24	0,17	16.530	9.116	25.646
8	9	1	2	8	9	0	24	8	16	0	48	10	24	0,33	9.116	11.458	20.574
9	4	1	4	11	18	1	472	124	144	204	360	40	192	0,20	49.977	71.377	121.354
10	6	1	2	6	9	0	50	18	28	4	98	4	20	0,50	11.357	11.627	22.983
11	1	1	3	6	8	0	48	0	6	42	36	3	27	0,50	35.014	52.218	87.232
12	3	1	2	5	6	0	40	10	24	6	56	4	24	0,50	16.462	3.404	19.866
13	1	1	2	6	6	0	42	0	22	20	62	4	25	0,17	8.661	2.949	11.610
14	5	1	2	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	3.218	21.416	24.635
15	4	1	2	6	6	0	36	12	19	5	72	3	18	0,17	12.081	5.999	18.080
16	2	1	2	5	6	0	40	10	24	6	56	4	24	0,83	27.213	2.696	29.909
17	10	1	2	6	6	0	58	4	30	24	80	4	22	0,17	8.661	3.016	11.677
18	8	1	2	6	6	0	36	6	24	6	92	2	18	0,50	3.825	5.662	9.487
19	9	1	2	5	6	0	38	0	22	16	60	10	56	0,50	9.234	8.560	17.794
20	3	2	4	10	6	0	39	6	19	14	30	6	18	0,33	7.060	2.730	9.790
21	7	1	2	6	4	0	32	0	27	5	58	8	29	0,17	8.560	5.426	13.986
22	3	1	2	5	6	0	38	0	22	16	60	10	56	0,83	1.769	7.246	9.015
23	5	2	4	10	6	0	38	12	14	12	28	4	12	0,83	1.466	2.039	3.505
24	6	2	4	11	12	0	92	24	38	30	52	8	24	0,50	3.387	6.336	9.722
25	5	1	4	16	5	1	218	0	0	218	284	18	62	0,50	31.931	9.857	41.788
26	2	1	2	6	9	0	64	12	26	26	40	6	16	0,83	5.965	8.880	14.845