

2013•2014  
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN  
*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur*

Masterproef  
Het optimaliseren van interne goederenbewegingen bij VCST

Promotor :  
Prof. dr. An CARIS

Dimitri Tuts  
*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen: handelsingenieur*

2013•2014

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE  
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur*

Masterproef

Het optimaliseren van interne goederenbewegingen bij VCST

Promotor :  
Prof. dr. An CARIS

Dimitri Tuts

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste  
economische wetenschappen: handelsingenieur*



## Woord vooraf

Het schrijven van een masterproef is de laatste horde die genomen dient te worden om het diploma handelingenieur te behalen. De keuze van een interessant onderwerp dat aansluit bij de persoonlijke interesses is uiterst belangrijk om een kwaliteitsvol werk af te leveren. In de keuze van een onderwerp ging ik op zoek naar een praktijkgerichte studie binnen het domein van de logistiek, waarbij het zeer belangrijk was dat het resultaat van mijn studie zou leiden tot de optimalisatie van processen. Mijn onderzoek, dat een studie omvat over de optimalisatie van interne goederenbeweging binnen VCST, voldoet aan de hierboven vernoemde criteria en hieronder vindt u het resultaat van mijn onderzoek.

In de eerste plaats wil ik mijn promotor professor Dr. Caris van harte bedanken voor de nauwgezette en uitstekende begeleiding. Haar kritische opmerkingen, raadgevingen, constructieve feedback en eindeloos geduld hebben deze masterproef helpen maken tot wat ze nu is. Daarnaast wil ik de heer Koen Vanharen van VCST mijn dank betuigen. Hij heeft ook mee gezorgd voor de tot stand koming van deze eindverhandeling door alle nodige gegevens beschikbaar te stellen, door constructieve feedback te geven, geduld te hebben met het uitleggen van het productieproces en het beschikbaar stellen van zijn tijd. Vervolgens zou ik graag mijn ouders en zus willen bedanken voor de interesse en aanmoediging die ze geboden hebben tijdens mijn opleiding en het werken aan mijn masterproef. Als laatste wil ik mijn vrienden bedanken voor de vele fijne momenten die ik met hen heb beleefd tijdens mijn opleiding. Speciale dank wil ik hierbij geven aan Charlotte Brouwers, Karolien Jacobs en Tim Poncelet voor het kritisch nalezen van mijn masterproef. Zij hebben er voor gezorgd dat de de structuur, grammatica en spelling van een aanvaardbaar kwaliteitsniveau zijn voor een masterproef.

Tuts Dimitri

Mei, 2014



## Samenvatting

Deze masterproef heeft tot doel het intern transport van de vestiging van VCST te Sint-Truiden te minimaliseren in functie van de geschatte verkopen anno van 2015. VCST staat voor Volvo Cars Sint-Truiden en is gespecialiseerd in het produceren van remonderdelen voor ABS, motoronderdelen en transmissieonderdelen. Machines binnen deze fabriek zullen verplaatst worden om een zo optimaal mogelijke plaatsing ervan te verkrijgen. Problemen van deze aard worden beschreven als *facility layout* problemen. Een faciliteit kan onder meer een machine, een departement of een productiecel zijn. Een *facility layout* is de verdeling van de elementen die nodig zijn om het productieproces mogelijk te maken. Dergelijke problemen zijn zeer interessant om aan te pakken, want een efficiënte plaatsing van machines in een vestiging kan leiden tot een kostenvermindering. Er zijn meerdere definities voor handen voor het *facility layout* probleem, maar voor deze masterproef is deze van Lee en Lee (2002) de meest optimale: "*n faciliteiten met een ongelijke oppervlakte en verschillende afmetingen zo schikken in een gegeven totale ruimte, welke kan begrensd worden in de lengte of de breedte van de oppervlakte van de site, dat de totale kost van 'material handling' en leegstaande oppervlakte wordt geminimaliseerd*".

*Facility layout* problemen hebben een complexiteitsgraad van *NP-hard (non-deterministic polynomial time)*. Dit houdt in dat er geen algoritmes beschikbaar zijn om het probleem binnen polynomiale tijd exact op te lossen. Dit toont de moeilijkheidsgraad van een *facility layout* probleem reeds aan. Vanwege de complexiteit van het probleem, zijn verschillende technieken en methodes gevonden om een optimale of goede oplossing te vinden. Voor zeer beperkte problemen zijn er exacte oplossingsmethodes gevonden, maar meestal wordt gebruik gemaakt van heuristieken of metaheuristieken.

Voor het oplossen van deze masterthesis wordt gekozen voor het toepassen van een constructiealgoritme. Dit algoritme van Gibson en Welgama (1993) heeft verschillende voordelen. Een eerste voordeel is dat de probleemkenmerken van het algoritme overeenkomen met de kenmerken van VCST en dat het algoritme makkelijk aan te passen is aan een specifieke situatie. Daarnaast is het een relatief eenvoudig algoritme en ten derde is er het voordeel dat er geen programmeerkennis vereist is om het algoritme op te lossen. Om structuur in de oplossing te behouden en om de uitwerking van het algoritme overzichtelijk te houden, wordt gebruik gemaakt van Excel. Om de resultaten te evalueren, wordt een terugverdientijd bepaald van de investering.

Vanuit VCST komt de beperking om het probleem aan te pakken met vakken in plaats van met machines. Vakken zijn logische verzamelingen van machines die gelijke of soortgelijke producten produceren. De indeling van de fabriek in vakken werd vroeger gemaakt om een structuur te creëren. Het toepassen van het algoritme levert goede resultaten op, er worden namelijk verbeteringen in transport gevonden van ongeveer 50 % en terugverdientijden die variëren tussen 5,6 en 7,96 jaar. Deze verbeteringen zijn echter toe te schrijven aan het feit dat er op dit moment veel lege oppervlaktes zijn in de fabriek als gevolg van herstructureringen. Door de vakken zo optimaal mogelijk tegen elkaar te plaatsen, wordt de afstand die over deze lege oppervlaktes moet

afgelegd worden, gereduceerd. Opvallend in de resultaten is dat toch enkele grote vakken reeds op de zelfde plaats staan zoals ook door het algoritme wordt aangegeven.

Een grote beperking voor het optimaliseren van het intern transport is echter dat er enkel naar afstanden van vak tot vak wordt gekeken. Verder onderzoek kan zich nog toespitsen op verplaatsingen binnen de vakken zelf of de verplaatsingen van machine tot machine. Dit laatste levert zeker en vast nog een grotere verbetering op ten opzichte van het huidige interne transport, aangezien in deze situatie die lege ruimtes in de fabriek optimaal gebruikt worden. Op academisch vlak is er de vaststelling dat vele bestaande oplossingsmethodes slechts goed werken voor kleine problemen en hun kracht verliezen wanneer het probleem groter wordt. De *cases* waarop de heuristieken en metaheuristieken getest worden, zijn in vergelijking met de realiteit zeer klein. Het vinden van heuristieken die grotere *cases* ook op een goede manier kunnen oplossen, is door de *NP hard (non-deterministic polynomial time)* complexiteit van het *facility layout* probleem echter een zeer grote uitdaging.

# Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	I
Samenvatting .....	III
Lijst van figuren .....	VII
Lijst van tabellen.....	IX
1 Inleiding .....	1
1.1 Voorstelling VCST.....	1
1.2 Inleiding op de problematiek .....	3
1.3 Probleemstelling .....	4
1.4 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen .....	5
1.4.1 Deelvragen .....	6
1.5 Methodologie .....	7
2 Literatuurstudie .....	9
2.1 Kenmerken van de werkplaats .....	9
2.2 Oplossingsmethodes.....	12
2.2.1 Exacte oplossingsmethodes.....	12
2.2.2 Heuristische oplossingsmethodes .....	13
2.2.3 Metaheuristische oplossingsmethodes.....	14
2.3 Bespreking van model Gibson en Welgama (1993) .....	17
3 Praktijkstudie .....	21
3.1 Dataverzameling en dataverwerking .....	21
3.2 Beschrijving van de huidige situatie.....	23
3.3 Beschrijving van de verbeterde situatie.....	26
3.4 Uitwerking en resultaten .....	29
3.4.1 Problem preprocessing .....	30
3.4.2 Uitwerking algoritme .....	31
3.4.3 Resultaten .....	35
3.4.4 Alternatieve oplossing .....	36



3.4.5	Feedback van VCST over de resultaten.....	38
3.4.6	Investeringsanalyse .....	39
4	Conclusie .....	43
4.1	Beperkingen van het onderzoek .....	43
4.2	Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek .....	43
5	Literatuurlijst .....	45
	Bijlages.....	49
	Bijlage A: Het aangepast algoritme, inclusief beperkingen .....	49
	Bijlage B: Nieuwe layout VCST volgens originele uitwerking .....	54

## Lijst van figuren

<b>FIGUUR 1: DRIE GEBOUWEN VAN VCST .....</b>	<b>2</b>
<b>FIGUUR 2: PRODUCTIEPROCES .....</b>	<b>2</b>
<b>FIGUUR 3: DRIE STAPPEN IN PRODUCTIEPROCES VCST .....</b>	<b>3</b>
<b>FIGUUR 4: PRODUCTIE VAN EEN TANDWIEL .....</b>	<b>3</b>
<b>FIGUUR 5: VAK 1701.....</b>	<b>27</b>
<b>FIGUUR 6: STAPPEN 8.1 EN 8.2.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGUUR 7: STAPPEN 8.3 EN 8.4.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGUUR 8: STAPPEN 8.5 EN 8.6.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGUUR 9: STAPPEN 8.7 EN 8.8.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGUUR 10: TEKENING NIEUWE LAYOUT VOLGENS DE ORIGINELE UITWERKING VAN HET ALGORITME.....</b>	<b>54</b>



# Lijst van tabellen

<b>TABEL 1: VORM VAN FABRIEK .....</b>	<b>9</b>
<b>TABEL 2: VERDELING FABRIEK .....</b>	<b>9</b>
<b>TABEL 3: TYPES LAY-OUT BINNEN VCST .....</b>	<b>11</b>
<b>TABEL 4: DIMENSIES VAN MACHINES IN VCST .....</b>	<b>11</b>
<b>TABEL 5: PICK-UP EN DROP-OFF PUNTEN BINNEN VCST .....</b>	<b>11</b>
<b>TABEL 6: PLANNINGSHORIZION VCST .....</b>	<b>12</b>
<b>TABEL 7: OVERZICHT PROBLEEMKENMERKEN EN OPLOSSINGSMETHODES.....</b>	<b>16</b>
<b>TABEL 8: PRODUCTIEPROCES 'KRUKAS TANDWIEL BEWERKT' .....</b>	<b>24</b>
<b>TABEL 9: PRODUCTIEPROCES 'KRUKAS TANDWIEL BEWERKT' .....</b>	<b>25</b>
<b>TABEL 10: REFERENTIEGETAL .....</b>	<b>25</b>
<b>TABEL 11: LOCATIE VAN DE POORTEN .....</b>	<b>29</b>
<b>TABEL 12: VAKKEN DIE GESCHIEDEN WORDEN DOOR EEN GANG .....</b>	<b>30</b>
<b>TABEL 13: VAKKEN DIE NIET IN PRODUCTIEPROCES VOOR KOMEN .....</b>	<b>31</b>
<b>TABEL 14: INITIALISATIE.....</b>	<b>32</b>
<b>TABEL 15: EERSTE STAP (EERSTE ITERATIE).....</b>	<b>32</b>
<b>TABEL 16: BEGIN PLAATSINGSPROCEDURE .....</b>	<b>33</b>
<b>TABEL 17: STAPPEN VIJF TOT 13 (EERSTE ITERATIE) .....</b>	<b>33</b>
<b>TABEL 18: BEREKENING Z .....</b>	<b>34</b>
<b>TABEL 19: BIJGEWERKTE INITIALISATIETABEL.....</b>	<b>35</b>
<b>TABEL 20: PROCENTUELE VERBETERING .....</b>	<b>35</b>
<b>TABEL 21: UITGEBREID PRODUCTIEPROCES .....</b>	<b>37</b>
<b>TABEL 22: RESULTAAT ALTERNATIEVE OPLOSSING.....</b>	<b>37</b>
<b>TABEL 23: OMWISSELING 0701234 EN 0801.....</b>	<b>39</b>
<b>TABEL 24: OVERZICHT RESULTATEN .....</b>	<b>39</b>
<b>TABEL 25: BEREKENING INVESTERINGSKOST .....</b>	<b>40</b>
<b>TABEL 26: VERSCHIL IN KOSTEN .....</b>	<b>40</b>
<b>TABEL 27: KOSTEN, OPBRENGSTEN EN TERUGVERDIENTIID.....</b>	<b>41</b>
<b>TABEL 28: CUMULATIEVE KOSTEN EN OPBRENGSTEN .....</b>	<b>41</b>
<b>TABEL 29: VERSCHILLENDE TERUGVERDIENTIJDEN .....</b>	<b>41</b>
<b>TABEL 30: VERGELIJKENDE TABEL VAN BEIDE UITWERKINGEN .....</b>	<b>42</b>
<b>TABEL 31: COÖRDINATEN VAN DE POORTEN.....</b>	<b>53</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Voorstelling VCST

VCST is een Belgisch bedrijf dat gespecialiseerd is in de productie van remonderdelen voor ABS, motoronderdelen en transmissieonderdelen. In 1972 werd het bedrijf opgericht als 'DAF productie Sint-Truiden' en het kreeg pas later, in 1975, de naam VCST. VCST staat voor Volvo Cars Sint-Truiden. Een groeiende markt heeft ervoor gezorgd dat VCST kon uitbreiden naar verschillende andere landen. In 1993 werd een verkoops- en distributiecentrum opgericht in Detroit, VS en nadien werden ook productiefaciliteiten opgestart in de Verenigde Staten (2001), Duitsland (2001), Mexico (2005) en China (2011). Momenteel wordt een nieuwe fabriek in Roemenië opgestart. Ondanks al deze uitbreidingen blijft de hoofdzetel van het bedrijf gevestigd in Sint-Truiden ([www.vcst.com](http://www.vcst.com)).

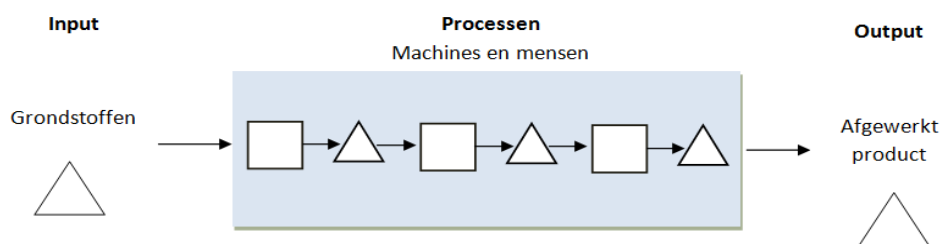
VCST neemt van design tot productie van de artikelen alle stappen voor haar rekening. Hun voornaamste klanten zijn leveranciers van autoproducenten ([www.vcst.com](http://www.vcst.com)), wat het een *tier 2* leverancier maakt. Naast de hoofdzetel bevindt zich ook een belangrijk deel van de productieafdeling in Sint-Truiden. Het gebouw voor de productie in Sint-Truiden bestaat uit enkele grote productielijnen en een *job-shop* gedeelte. De productielijnen voorzien de grote volumes en het *job-shop* gedeelte behandelt de gematigde en kleine volumes.

De site in Sint-Truiden bestaat uit drie grote gebouwen. Het grootste gebouw wordt aangewend om de producten te maken, het kleinste gebouw doet dienst als opslag van de ruwe materialen. Daarnaast is er nog een derde gebouw, het STC gebouw. STC staat voor '*Surface Treatment Company*', hier gebeuren oppervlakte- en warmtebehandelingen ([www.vcst.com](http://www.vcst.com)). Figuur 1 geeft een visuele voorstelling van deze drie gebouwen.



**Figuur 1: drie gebouwen van VCST**

Om het productieproces wat beter te begrijpen, worden hier de verschillende processen kort besproken. Algemeen kan een productieproces voorgesteld worden zoals in het volgende *flow* diagram:



**Figuur 2: productieproces**

De input van de grondstoffen wordt bewerkt en verwerkt door machines en mensen. Het uiteindelijke resultaat van de processen zorgt voor de output van afgewerkte producten. De vierkanten in het *flow* diagram stellen processen voor en de driehoeken een voorraad. Deze voorraad wordt in VCST beheerd op één plaats.

Globaal genomen kunnen de processen opgedeeld worden in drie stappen die in een welbepaalde volgorde doorlopen dienen te worden. Als eerste stap zijn er de zachte bewerkingen, waarna de producten naar het gebouw STC gebracht worden om te harden, wat de tweede stap is. Bij dit harden kunnen vervormingen ontstaan, waardoor de producten terug naar het productiegebouw gebracht moeten worden om de harde bewerkingen uit te voeren. Op die manier zullen de producten aan een zekere vooropgestelde kwaliteit voldoen. De verschillende bewerkingen moeten worden uitgevoerd op specifieke machines. In wat volgt wordt een korte beschrijving gegeven per

stap en ter illustratie geeft Figuur 3 een schematisch overzicht van de verschillende stappen in het productieproces:



**Figuur 3: drie stappen in productieproces VCST**

De zachte bewerkingen zelf zijn onderverdeeld in vijf stappen: zacht draaien, frezen, schrapen, trekfrezen en boren. In deze stappen is het de bedoeling om de ruwe materialen een eerste keer te bewerken en vertandingen aan te brengen in tandwielen. Het hardingsproces gebeurt in het gebouw STC. Het doel van dit verhardingsproces is om de materialen harder te maken. Het nadeel van dit proces is dat er ook een vervorming plaatsvindt, waardoor de harde bewerkingen noodzakelijk zijn. Het hardingsproces duurt gemiddeld drie tot zeven dagen, wat binnen de maximumtermijn van zeven dagen valt die VCST vooropgesteld heeft. Gelijkaardig aan de zachte bewerkingen bestaan ook de harde bewerkingen uit vijf stappen: hard draaien, persen, vertandingen slijpen, controle en laseren. In deze stappen worden de producten afgewerkt, aan een kwaliteitscontrole onderworpen en wordt gezorgd dat elk product identificeerbaar is (K. Vanharen, mondelinge communicatie, 3 april 2014).



**Figuur 4: productie van een tandwiel**

## 1.2 Inleiding op de problematiek

De problematiek die te maken heeft met de plaatsing van verschillende faciliteiten in een fabriek of vestiging, is beter gekend onder de Engelstalige benaming van *facility layout* probleem. Een faciliteit kan onder andere een machine, een departement of een productiecel zijn. Een *facility layout* is de verdeling van de elementen die nodig zijn om het productieproces mogelijk te maken.

Problemen van deze aard zijn zeer interessant om aan te pakken, want een efficiënte plaatsing van machines in een vestiging kan leiden tot een kostenvermindering. Tompkins et al. (1996) schatten dat ongeveer 50% van de operationele kosten bespaard kunnen worden indien er een efficiënte plaatsing van de faciliteiten is binnen een fabriek. Naast de operationele kosten, heeft de *facility layout* ook invloed op andere factoren zoals de productiviteit, *lead time* en goederen in bewerking. Zo kan de productiviteit dalen indien machines, die in opeenvolgende stappen worden gebruikt in het productieproces, ver van elkaar staan. Het aantal goederen in bewerking en *lead time* kunnen om dezelfde reden te groot worden.

Gezien de grootte van de mogelijke kostenbesparingen en de invloed op verschillende andere domeinen, zijn er al heel wat studies uitgevoerd met betrekking tot het *facility layout* probleem en de efficiënte plaatsing van faciliteiten in een vestiging. De studies wijzen uit dat het een zeer complex probleem betreft en dat het niet gemakkelijk op te lossen is. In de literatuur worden er verschillende definities gegeven aan het *facility layout* probleem. Koopmans en Beckmann (1957) definiëren een *facility layout* probleem als "een gemeenschappelijk industrieel probleem waarbij de doelstelling is om de faciliteiten zo te configureren dat men de kost van het transporteren van materialen tussen de faciliteiten minimaliseert". Meller et al. (1999) omschrijven het als "het vinden van een niet-overlappende, vlakke orthogonale schikking van rechthoekige faciliteiten binnen een gegeven rechthoekige site zodat de op afstand gebaseerde maatstaf geminimaliseerd wordt". Lee en Lee (2002) bepalen dat een *facility layout* probleem eruit bestaat om "n faciliteiten met een ongelijke oppervlakte en verschillende afmetingen zo schikken in een gegeven totale ruimte, welke kan begrensd worden in de lengte of de breedte van de oppervlakte van de site, dat de totale kost van 'material handling' en leegstaande oppervlakte wordt geminimaliseerd". Voor deze masterproef is de definitie van Lee en Lee (2002) het meest geschikt. Deze definitie houdt immers rekening met de leegstaande oppervlaktes die ook in VCST terug te vinden zijn, met de ongelijke oppervlaktes van de faciliteiten en de begrenzingen van zowel faciliteiten en site in de lengte en breedte.

Om een bepaald *facility layout* probleem te benoemen, moeten verschillende factoren bepaald worden. De meest belangrijke factoren zijn: wat is het probleem dat moet opgelost worden, welke methodes bestaan er om dit probleem op te lossen en wat zijn de kenmerken van de werkplaats. In vele gevallen is het doel van een *facility layout* probleem om de *material handling* kosten te minimaliseren, of met andere woorden het transport tussen de verschillende faciliteiten minimaliseren. Om een *facility layout* probleem op te lossen bestaan er verschillende methodes: exacte methodes, heuristieken en metaheuristieken. Kenmerken van de werkplaats zijn onder meer de productievariëteit, de vorm van de fabriek en systemen van *material handling* en productieorganisatie (Drira et al., 2007; Hernandes, 2011).

### **1.3 Probleemstelling**

VCST is een bedrijf dat opgestart is in Sint-Truiden. Er worden voornamelijk tandwielen en assen gemaakt voor auto's. Een groeiende markt heeft gezorgd voor uitbreiding binnen VCST. Er werden



nieuwe fabrieken opgestart in Duitsland (Reichenbach), Mexico (León) en China (Changzhou). Om deze nieuwe vestigingen van uitrusting te voorzien, werden nieuwe machines gekocht, maar er werden ook machines van de fabriek in Sint-Truiden overgebracht naar de nieuwe vestigingen. Een voorbeeld hiervan zijn de machines voor de productie van ABS-blokken. Deze werden overgebracht naar de vestiging in Reichenbach waar het hart van productieproces voor deze componenten op dit ogenblik ligt.

VCST heeft ook nog enkele structurele veranderingen in het vooruitzicht. De fabriek die in Roemenië wordt opgestart, zal een deel van de productie die nu in Sint-Truiden is voor haar rekening nemen. Het resultaat van de herallocaties is dat in de fabriek in Sint-Truiden verschillende oppervlaktes leeg staan en niet meer gebruikt worden. Tompkins et al. (1996) berekenden dat bedrijven jaarlijks 10 tot 30% kunnen besparen op de kosten van *material handling* indien de faciliteiten in een fabriek efficiënt geplaatst worden. Specifiek verstaat men bij VCST onder de kosten van *material handling* deze die toe te wijzen zijn aan het intern transport. Het gevolg van de veranderingen is dus dat de niet benutte oppervlaktes binnen de fabriek, er voor zorgen dat een inefficiënt intern transport plaatsvindt en dat er zeker ruimte bestaat om dit te verbeteren.

Een bijkomende factor die ervoor zorgt dat een groot intern transport plaatsvindt, is dat de voorraden van de ruwe materialen zich in een andere hal bevinden en een deel van het productieproces zich in het gebouw STC afspeelt. Bijgevolg wil VCST de lay-out in Sint-Truiden veranderen in functie van 2015, wanneer alle structurele veranderingen zullen hebben plaatsgevonden.

Om tot een oplossing te komen zal een model worden opgesteld op basis van de huidige literatuur om tot een vermindering of minimalisatie van het interne transport te komen. Bij het opstellen van het model wordt rekening gehouden met de huidige lay-out, de kenmerken van de fabriek, de wijze waarop de productie gebeurt, de verwachte variatie van de vraag naar de producten in de toekomst en de oriëntatie van de machines. Lacksonen (1997) merkt bovendien op dat er rekening moet gehouden worden met een buffer voor bedieningsruimte naast de machines bij de modellering van een *facility layout* probleem. Singh en Singh (2010) halen ten slotte aan dat een verandering aan de bestaande lay-out altijd een zeer hoge kost met zich mee brengt en dat een verandering niet altijd gemakkelijk verwezenlijkt kan worden.

## **1.4 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen**

Uit het vorige kan afgeleid worden dat er nood is aan een verandering van de lay-out van de fabriek van VCST te Sint-Truiden. De niet benutte oppervlaktes in de vestiging en het vervoer van de voorraad ruwe materialen naar een andere hal, genereren een enorme hoeveelheid aan intern transport. Deze thesis stelt als doel de lay-out van de fabriek zo aan te passen dat de afgelegde afstand van het interne transport geminimaliseerd kan worden, in functie van de toekomstige veranderingen. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

**COV:** *"Hoe kan de facility layout methode toegepast worden zodat in de vestiging van VCST te Sint-Truiden het interne transport geminimaliseerd kan worden?"*

### **1.4.1 Deelvragen**

Om tot een duidelijk antwoord te komen op de centrale onderzoeksvraag is het vooraleerst nodig om te onderzoeken welke kenmerken van een fabriek, productie lay-out en machines bepalend zijn voor de formulering van een *facility layout* probleem en deze kenmerken van de vestiging van VCST te Sint-Truiden te specificeren. Dit is dan ook de eerste deelvraag:

**DV1:** *"Wat zijn de specifieke kenmerken van een fabriek, productie lay-out en machines waarmee rekening gehouden moet worden bij een facility layout probleem en wat zijn deze kenmerken van de vestiging van VCST te Sint-Truiden?"*

Verder is nodig om in een literatuurstudie te onderzoeken welke verschillende modellen er voor handen zijn. Er zal dan specifiek gezocht worden naar modellen en technieken die te maken hebben met het optimaliseren van intern transport en die rekening houden met de kenmerken die achterhaald zijn in de eerste deelvraag. Dit is het doel van de tweede deelvraag:

**DV2:** *"Welke modellen worden beschreven in de literatuur met betrekking tot het minimaliseren van het intern transport en die rekening houden met de kenmerken van VCST en hoe werken de gebruikte technieken?"*

De derde deelvraag sluit hier onmiddellijk bij aan. Indien de modellen gevonden zijn, is het nodig om een duidelijke beschrijving van de variabelen te hebben om te weten wat men moet berekenen of becijferen voor een bepaald model.

**DV3:** *"Hoe worden de variabelen uit de verschillende modellen beschreven in de literatuur?"*

Deelvraag vier is de specifieke toepassing van de derde deelvraag op VCST. In deze deelvraag zullen de variabelen, die nodig zijn om met behulp van de modellen tot een oplossing te komen, berekend en becijferd worden voor de case van VCST.

**DV4:** *"Hoe kunnen de variabelen van de modellen becijferd worden, toegepast op VCST?"*

Het doel van de vijfde deelvraag zal zijn om in kaart te brengen hoe de situatie er in 2015 zal uitzien binnen VCST. Er zal rekening gehouden moeten worden met de machines die naar Roemenië zullen verhuizen en met mogelijke productie die zal stoppen. Dit is nodig om een referentiekader te hebben waartegen de oplossingen van de verschillende modellen vergeleken kunnen worden.

**DV5:** "Hoe ziet de lay-out er uit in 2015 indien geen machines van plaats veranderen en wat is het intern transport, gegenereerd door deze lay-out?"

Indien men de variabelen van de modellen en het referentiekader heeft opgesteld, kan het *facility layout problem* mathematisch geformuleerd, gemodelleerd en opgelost worden. Uiteindelijk kunnen de verschillende modellen vergeleken worden met het referentiekader om te bepalen welk model de beste oplossing geeft.

**DV6:** "Hoe kunnen de modellen geformuleerd, gemodelleerd en opgelost worden en hoe kunnen de oplossingen vergeleken worden met het referentiekader?"

## 1.5 Methodologie

Een eerste deel van deze thesis zal erin bestaan om een literatuurstudie te verrichten. Aangezien er in samenwerking met VCST naar een bepaald geval van een *facility layout* probleem wordt gekeken, zal er specifiek gezocht kunnen worden in de literatuur. De literatuurstudie kan in twee grote delen worden opgesplitst. Een eerste deel zal erin bestaan om kenmerken van een fabriek, productieproces en machines te zoeken die bepalend zijn voor de formulering van een *facility layout* probleem. Op basis van deze kenmerken zal de situatie van de vestiging van VCST te Sint-Truiden beschreven kunnen worden. Het tweede deel van de literatuurstudie zal onderzoeken welke modellen voor handen zijn om *facility layout* problemen met de kenmerken van VCST te onderzoeken. Specifiek zal naar modellen gezocht worden die als doel hebben om het intern transport tussen faciliteiten te verbeteren en te minimaliseren. Deze literatuurstudie zal gedaan worden met de databases van de bibliotheek van de Universiteit Hasselt. De meerwaarde van deze literatuurstudie is dat deze een antwoord zal bieden op de eerste drie deelvragen, die beschreven zijn in punt 1.4.1.

Verder zal nauw met VCST samengewerkt worden om de situatie anno 2015 in kaart te brengen. Zo zal berekend worden wat het intern transport zal zijn in 2015 wanneer er geen enkele machine meer van plaats zal veranderen. Deze inzichten zullen een referentiekader aanreiken en geven een antwoord op deelvraag vier. Vervolgens zullen de variabelen die gebruikt worden in de modellen, becijferd worden voor de specifieke *case* van VCST om een antwoord te vinden voor de vijfde deelvraag. Voor het verzamelen van deze informatie zal een beroep gedaan worden op de contactpersoon binnen VCST, de heer Koen Vanharen.

In de laatste deelvraag worden de kenmerken van VCST ingepast in de theoretische modellen en zal gekeken worden of een oplossing kan bekomen worden. Deze oplossing zal pas een goede oplossing zijn, indien na vergelijking met het referentiescenario deze daadwerkelijk een verbetering inhoudt. Om deze vergelijking te maken, zal de terugverdientijd van de investering berekend worden. Voor grote investeringen hanteert VCST een terugverdientijd van twee jaar, voor kleinere investeringen wordt een terugverdientijd van één jaar vooropgesteld.



## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Kenmerken van de werkplaats

Er is reeds zeer veel onderzoek gedaan rond het *facility layout* probleem. Enerzijds komt dit door de grote impact van een efficiënte lay-out en de moeilijkheid om het probleem exact op te lossen, anderszijds door de vele verschillende kenmerken van de werkplaats die invloed hebben op het probleem en de formulering ervan. In wat volgt worden de belangrijkste kenmerken van de werkplaats aangehaald, alsook het belang van de planningshorizon.

Dira et al (2007) stellen dat de vorm van de fabriek en de grootte ervan een eerste belangrijk kenmerk vormen van de werkplaats. Dit zal immers bepalen wat de beschikbare plaatsen zijn voor de machines. Voor de vorm van de fabriek zijn er twee veelgebruikte types: een eerste rechthoekige vorm (Kim en Kim, 2000) en een tweede vorm waarbij de fabriek een polygoon vormt met minstens één hoek van 270 graden (Lee en Kim, 2000). Aangezien een rechthoekige vorm regelmatiger is, zal dit tot een iets makkelijkere formulering van het probleem leiden. Tabel 1 geeft een overzicht van hoe dit kenmerk er uitziet voor VCST.

Vorm	VCST
Rechthoekig	✓
Polygoon met een hoek van 270 graden	/

Tabel 1: vorm van fabriek

Ook de verdeling van de fabriek is belangrijk om tot een goede formulering van het probleem te komen. Zo kunnen er bepaalde oppervlaktes zijn waar geen machines geplaatst kunnen worden omdat die ruimtes vrij moeten blijven of dat er daar kantoren staan voor leidinggevendenden. Andere ruimtes die reeds op voorhand ingenomen zijn, kunnen oppervlaktes zijn die voorzien zijn voor machines die geen rechthoekige vorm hebben. De fabriek van VCST te Sint-Truiden is onderverdeeld in rechthoekige vakken waar machines geplaatst kunnen worden, in gangen die moeten vrij blijven om het verkeer door te laten, een brandweg die moet vrij blijven en verschillende kantoren. Tabel 2 toont hoe deze kenmerken voorkomen in VCST.

Onderverdeling van de fabriek	VCST
Plaatsen voor niet-rechthoekige machines	/
Plaatsen voor kantoren	✓
Gangen die moeten vrij blijven	✓

Tabel 2: verdeling fabriek

Om de productie lay-out, een derde belangrijk kenmerk, te beschrijven, bestaan er verschillende indelingen. Zo halen Chase en Jacobs (2011) aan dat de indeling van faciliteiten of departementen in een fabriek bepaald wordt door de algemene stroom van het werk. Er bestaan drie basistypes en

één hybride type. Het eerste basistype is het *workcenter*. Bij dit type staan gelijkaardige machines of departementen kort bij elkaar. Hier zal het product dan verschillende workcenters doorlopen, afhankelijk van het gedefinieerde productieproces. *Workcenters* zijn ook gekend onder de namen *job-shops* of functionele lay-outs. Het tweede basistype is de project lay-out. Hierbij blijft het product op dezelfde plaats en worden de machines naar de plaats van het artikel gebracht. Het derde en laatste basistype dat Chase en Jacobs (2011) aanhalen, is de lopende band. Hierbij worden de machines zo ingepast in de lay-out dat ze het productieproces volgen. Alle opeenvolgende processen liggen op één lijn. Het hybride type dat Chase en Jacobs (2011) vermelden, is de productiecel. Bij de productiecel lay-out worden machines die niet op elkaar lijken gegroepeerd, om te werken aan producten met gelijkaardige vormen of bewerkingsprocessen.

Een andere manier om de productie lay-out te beschrijven wordt aangehaald door Drira et al. (2007). Zij maken een verdeling op basis van de variëteit van producten die gemaakt worden binnen een fabriek en de volumes van de producten. In een proces lay-out worden gelijkaardige machines samen geplaatst. Dit type is geschikt wanneer er een hoge variëteit is aan producten. Wanneer de variëteit laag is, maar er een zeer hoog volume is, is de product lay-out het meest geschikt. Hier worden machines die in eenzelfde productieproces gebruikt worden, aaneensluitend geplaatst. Voor productiesystemen met lage variëteit en lage volumes is een *fixed product layout* type geschikt. Bij dit type wordt het product niet verplaatst en worden de processen naar het product gebracht. Een laatste type lay-out dat wordt aangehaald door Drira et al. (2007) is de cel lay-out. Hier worden verschillende machines samengebracht in een cel om producten te maken die op elkaar lijken.

Beide auteurs halen aan dat het niet noodzakelijk is dat een fabriek slechts één type lay-out heeft. De indeling van Drira et al. (2007) is echter het meest geschikt om de situatie van VCST te beschrijven. In VCST zijn van deze vier types er drie aanwezig. Voor de belangrijkste assen en tandwielen, die in hoge volumes gemaakt moeten worden, is een product lay-out aanwezig. Deze items zijn zo belangrijk voor de omzet, dat het noodzakelijk is om aparte productielijnen te voorzien. Voor de andere tandwielen, waarvan de vraag niet zo hoog is, zijn machines geïnstalleerd die allerlei verschillende tandwielen kunnen maken. Dit is dus een proces lay-out. Ten slotte zijn er ook nog enkele cellular lay-outs te vinden. Dit gaat dan vooral over oudere machines en over producten waarvan het jaarlijkse volume niet zo hoog is. Tabel 3 geeft een schematisch overzicht van welke types lay-out voorkomen binnen VCST.

Type lay-out	VCST	Producten
Proces lay-out	✓	Tandwielen waarvan de vraag niet zo groot is
Product lay-out	✓	Belangrijkste assen en tandwielen
<i>Fixed product layout</i>	/	
Cel lay-out	✓	Oudere machines en producten met lage vraag

**Tabel 3: types lay-out binnen VCST**

Een vierde kenmerk dat invloed heeft op het formuleren van een *facility layout* probleem zijn de dimensies van de faciliteiten. Indien men departementen moet plaatsen binnen een vestiging, dan is het belangrijk dat de oppervlakte van het departement behouden blijft, waarbij eventueel geschoven kan worden met de lengte en breedte van het departement. Indien men machines moet plaatsen, dan staan zowel de oppervlakte als de lengte en breedte vast. Waar men ook rekening mee kan houden indien men met machines werkt, zijn de pick-up en drop-off punten van de machines. Indien hier geen rekening mee wordt gehouden, kan de machine verkeerd georiënteerd worden door een model, waardoor het actuele transport toch hoger is dan het transport zoals aangegeven door het model. In de formulering van het probleem kan men deze punten vastzetten of laten variëren langs de zijden van de machines. Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van deze kenmerken voor de fabriek van VCST te Sint-Truiden.

Dimensies van de machines	VCST
Oppervlakte	Vast
Lengte/breedte	Vast

**Tabel 4: dimensies van machines in VCST**

Pick-up/drop-off	VCST
Pick-up	Reeds bepaald
Drop-off	Reeds bepaald

**Tabel 5: pick-up en drop-off punten binnen VCST**

Een laatste kenmerk dat bepalend is bij het formuleren van het *facility layout* probleem is de planningshorizon van het bedrijf. Benjaafar and Sheikhzadeh (2000) stellen dat de flexibiliteit van een bedrijf zeer belangrijk is. Om te overleven moeten bedrijven snel kunnen reageren op veranderingen in de vraag. Omwille van deze noodzakelijke flexibiliteit, is het belangrijk om rekening te houden met de planningshorizon. Een statisch lay-out probleem gaat er van uit dat de planningshorizon lang is, dus dat de vraag naar producten en de product mix over een voldoende lange periode constant blijven. Dynamische problemen gaan ervan uit dat dit kan veranderen binnen aanzienlijke tijd en houden hier dan ook rekening mee in de formulering. Voor VCST is het de bedoeling dat een lay-out gemaakt wordt op basis van het jaar 2015, wanneer enkele structurele veranderingen reeds gebeurd zijn. Daarom zal in deze thesis van een statisch probleem uitgegaan worden. Tabel 6 toont de planningshorizon voor VCST.

Planningshorizon	VCST
Statisch	✓
Dynamisch	/

**Tabel 6: planningshorzion VCST**

Samenvattend zal naar een model gezocht worden dat het intern transport kan minimaliseren, dat een statisch *facility layout* probleem is en waarbij rekening gehouden kan worden met de rechthoekige vormen van de fabriek, de vaste dimensies van de faciliteiten, plaatsen die niet door machines bezet kunnen worden en met pick-up en drop-off punten van machines. Deze sectie biedt een antwoord op de eerste deelvraag.

## 2.2 Oplossingsmethodes

Indien alle belangrijke kenmerken geïdentificeerd zijn, dan kan het *facility layout* probleem geformuleerd worden. Het vele onderzoek omtrent het *facility layout* probleem heeft ertoe geleid dat veel verschillende modellen zijn ontwikkeld, afhankelijk van de kenmerken en het doel van het probleem. Een gemeenschappelijke factor die de modellen hebben, is dat een *facility layout* probleem altijd gezien wordt als een optimalisatie probleem. Wat er geoptimaliseerd moet worden kan zowel kwalitatief als kwantitatief zijn, maar meestal is het doel de kosten van *material handling* te minimaliseren.

Een formulering van een *facility layout* probleem kan discreet, continu of fuzzy zijn (Drira et al, 2007). Een discrete lay-out houdt in dat de oppervlakte van de site kan verdeeld worden in gelijke rechthoekige blokken en dat elke blok kan toegewezen worden aan een bepaalde machine. Een beperking van discrete formuleringen is dat het niet de exacte posities van de machines kan weergeven en ook geen specifieke beperkingen zoals de oriëntatie van machines kan modelleren. Voor zulke gevallen wordt gebruik gemaakt van continue formuleringen. Hierbij kan een faciliteit eender waar op de site geplaatst worden, zolang de faciliteiten niet met elkaar overlappen. Fuzzy formuleringen ten slotte houden nog rekening met mogelijke onzekerheid in de data. Het is namelijk realistisch dat men niet alle data exact kent.

### 2.2.1 Exacte oplossingsmethodes

De verschillende formuleringen houden in dat er ook verschillende methodes zijn om *facility layout* problemen op te lossen. Naast exacte oplossingsmethodes zijn er ook nog heuristische en metaheuristische oplossingsmethodes gevonden in de literatuur. Deze komen in de volgende secties aan bod. Problemen die een discrete lay-out behandelen worden meestal met behulp van een *quadratic assignment* probleem geformuleerd (Lacksonen en Enscore, 1993). Het *quadratic assignment* probleem werd als volgt gedefinieerd: het toewijzen van  $N$  faciliteiten aan  $N$  bestemmingen. Het probleem houdt in dat de faciliteiten zo moeten toegewezen worden aan de



bestemmingen, dat de kost geminimaliseerd wordt. Naast een minimalisatie van de kost kan de doelstelling ook zijn de tijd of de reisafstand te minimaliseren.

Een eerste exacte oplossingsmethode die veel gebruikt wordt is de *branch-and-bound* methode. Het idee van deze methode bestaat uit twee stappen. De eerste stap is *branching*. *Branching* bestaat er in om de verzameling van alle mogelijke oplossingen op te splitsen in deelverzamelingen. Specifiek voor het *facility layout* probleem kunnen deelverzamelingen gecreëerd worden door *row branching* (het toewijzen van een machine aan een plaats) of *column branching* (het toewijzen van een plaats aan een machine) (Anstreicher, 2003). Een nieuwe trend die wordt aangehaald door Anstreicher (2003) voor het *branch-and-bound* algoritme is *strong branching*. Deze techniek bestaat er in om de grenzen te berekenen van mogelijke deelverzamelingen en op basis van die informatie een beslissing te nemen over de uiteindelijke deelverzamelingen. Hierdoor kan de rekentijd om een probleem op te lossen aanzienlijk verminderd worden.

Een andere exacte methode die gebruikt wordt om het *facility layout* probleem op te lossen is *dynamic programming*. Hierbij wordt een recursieve relatie opgesteld tussen de verschillende stappen van het probleem (voor *facility layout* problemen zijn deze stappen de opeenvolgende plaatsing van machines) en wordt de laatste stap van het probleem als eerste opgelost. Via de opgestelde recursieve relatie kan dan stap voor stap van achter naar voor gewerkt worden en uiteindelijk wordt de optimale lay-out gevonden.

Als hulpmiddel om een goede of optimale plaatsing van de faciliteiten te krijgen, wordt er soms ook gebruik gemaakt van *space-filling* curven. Dit zijn curven die door elk oppervlak van de discrete lay-out gaan er voor zorgen dat elk stukje gebruikt wordt. Een algemeen nadeel van deze oplossingsmethodes is echter dat enkel kleine problemen exact kunnen worden opgelost. Wanneer het probleem groter wordt, werken de exacte methodes niet meer (Singh en Sharma, 2005). Specifiek voor VCST komt er nog een ander probleem bij kijken, namelijk dat niet enkel de oppervlaktes van de faciliteiten die geplaatst moeten worden vast zijn, ook de lengte en breedte van elke faciliteit zijn vast. Bij exacte oplossingsmethodes kunnen de lengte en breedte variëren. Daarom zullen andere methodes gebruikt worden om het probleem op te lossen voor VCST. Auteurs die exacte oplossingsmethodes gebruikt hebben om een *facility layout* probleem aan te pakken zijn Palubeckis (2012) (*branch-and-bound* algoritme) en Meller (1997) (*dynamic programming*).

## 2.2.2 Heuristische oplossingsmethodes

Naast de exacte algoritmes om een kwadratisch toewijzingsprobleem op te lossen bestaan er ook heuristische algoritmes. Heuristieken zijn technieken die gebruikt worden om goede oplossingen te vinden, die niet noodzakelijk de beste zijn. Een nadeel van heuristische algoritmes is dat vele methodes specifiek gemaakt zijn om een bepaald probleem op te lossen. Tussen alle verschillende heuristieken onderscheiden Loiola et al. (2007) twee grote groepen.

De eerste groep heuristieken bestaan uit constructieve methodes. Toegepast op het *facility layout* probleem worden twee verzamelingen in de literatuur beschreven. De ene betreft de toegewezen machines en de andere de bezette locaties. Als start van de constructieve methodes zijn beide verzamelingen leeg en wordt een permutatie gecreëerd waarbij in elke stap van de heuristiek een nieuwe allocatie van machines aan locaties wordt bepaald. Op deze manier worden de initieel lege verzamelingen gevuld. Wanneer alle machines zijn toegewezen aan de locaties, is er een volledige permutatie gevonden (Loiola et al., 2007). Het is duidelijk dat deze techniek niet noodzakelijk de optimale oplossing biedt, maar ze geeft wel een mogelijke oplossing.

Deze groep van heuristieken is bijzonder interessant voor het probleem van VCST om een oplossing te verkrijgen. Hier kan men immers rekening houden met machines die al vast staan. Door de machines die verplaatst zullen worden naar de nieuwe vestiging in Roemenië en de machines die al naar andere vestigingen zijn gevlogen, zijn er lege ruimtes in de fabriek en zullen er nog meer lege ruimtes bijkomen. Indien een deel van de fabriek gebruikt zal worden om de voorraad van ruwe materialen op te slaan, kan een constructie heuristiek snel een oplossing geven. Dit kan door de machines, die nu op de plaats staan waar de voorraad grondstoffen zal komen, te verplaatsen naar de lege ruimtes in de rest van de fabriek. Het constructie algoritme van Gibson en Welgama (1993) houdt rekening met dimensies van machines, vaste *pick-up* en *drop-off* punten en beschouwt de lay-out als een continue oppervlakte. De fabriek wordt dus niet ingedeeld in kleine ruimtes met dezelfde oppervlaktes. Het doel van dit constructie algoritme is de minimalisatie van de *material handling* kosten. Dit model wordt later uitgebreid besproken.

De tweede groep heuristieken die onderscheiden wordt door Loiola et al. (2007) zijn de verbeteringsmethodes. Bij de start wordt uitgegaan van een beginoplossing en de heuristiek zoekt dan naar mogelijke verbeteringen dicht bij de beginoplossing. Dit proces wordt herhaald tot er geen betere oplossing meer gevonden kan worden voor het probleem. Deze groep wordt veel gebruikt in metaheuristieken, wat hieronder aan bod komt. Bozer et al. (1994) maken gebruik van een verbeteringsmethode om het *facility layout* probleem op te lossen.

### **2.2.3 Metaheuristische oplossingsmethodes**

Waar heuristische algoritmes zeer vaak toegespitst zijn op een specifiek probleem, bieden metaheuristische algoritmes een algemeen oplossingskader. Ze geven een algemene structuur van een oplossingsmethode waarbij lokale verbeteringsmethoden en strategieën met elkaar interageren. Op die manier wordt een methode ontwikkeld waarbij niet alle oplossingen worden overlopen, maar waarbij de oplossingsruimte als het ware gescand wordt op goede oplossingen. De heuristiek zal dan rond die oplossingen verder zoeken. Om te verhinderen dat de heuristiek stopt in een lokaal optimum, zijn er zowel verbeteringen als verslechtingen toegelaten (Hillier en Lieberman, 2010).

Een eerste metaheuristisch algoritme is het *simulated annealing* algoritme. Dit algoritme is gebaseerd op de analogie met statistische mechanica. Concreet omvat dit dat twee opeenvolgende energiestaten beschouwd worden,  $E_i$  en  $E_{i+1}$ , die overeenstemmen met twee naburige oplossingen. Het verschil ( $E_{i+1} - E_i$ ) tussen deze energiestaten kan kleiner zijn dan nul, groter zijn dan nul of gelijk aan nul. Indien het doel een minimalisatie is, dan is er in het eerste geval, met een vermindering van energie, een verbetering gevonden. Het proces mag dan verder gaan en het algoritme gaat naar de volgende iteratie. Indien het verschil groter is dan nul, zijn de kosten gestegen. Om te vermijden dat een lokaal minimum gevonden wordt, kan deze nieuwe waarde toch nog aanvaard worden zodat het algoritme verder kan gaan. Het al dan niet aanvaarden van een slechtere oplossing wordt gegeven door een kansfunctie. Deze kans op aanvaarding is afhankelijk van een temperatuurschema en zal kleiner worden naarmate er meer iteraties zijn gedaan. Een energieverval gelijk aan nul duidt er op dat de energiestaten (en dus de kosten) niet veranderd zijn (Peng et al., 1996).

Een tweede metaheuristisch algoritme is ook gebaseerd op een ander wetenschappelijk toepassingsgebied, namelijk *survival of the fittest*. Het genetische algoritme simuleert de natuurlijke selectie en aanpassing die Darwin beschreven heeft. Deze algoritmes simuleren het proces waarbij de sterkste individuen overleven en hun kenmerken overdragen aan hun nakomelingen. Typisch start een genetisch algoritme met een beginpopulatie van willekeurige oplossingen. Hiervan worden de kosten bepaald waaruit vervolgens een verzameling van de laagste kosten wordt gehaald. Op deze verzameling worden dan bepaalde genetische operatoren toegepast waardoor er een nieuwe populatie ontstaat, die de kenmerken (laagste kosten) heeft overgekregen van de vorige populatie.

Een andere metaheurstiek die gebruikt wordt om het *facility layout* algoritme op te lossen is de *tabu search*. Kenmerkend aan deze techniek is de vernieuwde lijst van beste oplossingen die gevonden werden tijdens het zoeken. Elke gevonden oplossing krijgt een voorkeur toegewezen. Belangrijk met *tabu search* is dat in de iteratie ook oplossingen zijn toegestaan die lichtjes zwakker zijn dan de vorige oplossing. Dit is handig om verder te zoeken dan lokale minima. Om te vermijden dat tijdens een van de volgende iteraties dat lokale minima opnieuw wordt bereikt, wordt een *tabu* lijst opgesteld met stappen die verboden zijn (Hillier en Lieberman, 2010).

Loiola et al. (2007) halen aan dat deze metaheuristiche algoritmes over het algemeen niet zo gemakkelijk convergeren naar de optimale oplossing voor het *facility layout* probleem. Combinaties van deze technieken geven echter merkbaar betere resultaten. Deb en Bhattacharyya (2005) maken gebruik van een hybride algoritme door een genetisch algoritme te gebruiken om een initiële oplossing te creëren die als input dient voor een *simulated annealing* algoritme. Hun hybride algoritme geeft merkbaar betere resultaten dan hun genetisch of *simulated annealing* algoritme afzonderlijk. Ze houden ook rekening met *pick-up* en *drop-off* punten, vaste afmetingen van machines en een continue lay-out. Auteurs die metaheuristiche toepassen op *facility layout* problemen zijn Jeong et al. (2005) en Mckendall en Liu (2012). Naast Deb en Bhattacharyya (2005) maken onder meer ook Lee en Lee (2002) en Ye en Zhou (2005) gebruik van een hybride

algoritme. Tabel 7 geeft een overzicht van welke auteurs welke technieken gebruiken en de kenmerken van de problemen waarop ze hun technieken toepassen:

<b>Auteur</b>	<b>Oplossingsmethode</b>	<b>Kenmerken</b>
<b>Palubeckis (2012)</b>	Branch-and-bound	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locaties liggen op gelijke afstanden van elkaar</li> <li>• Discrete lay-out</li> </ul>
<b>Meller (1997)</b>	Dynamic programming	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discrete lay-out</li> <li>• Variabele lengte en breedte, maar vaste oppervlakte</li> </ul>
<b>Bozer et al. (1994)</b>	Verbeteringsalgoritme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meerdere verdiepingen</li> <li>• Gebruik van <i>space-filling</i> curven</li> <li>• Variabele lengte en breedte, maar vaste oppervlakte</li> </ul>
<b>Mckendall en Liu (2012)</b>	Tabu search	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamische planningshorizon</li> <li>• Variabele lengte en breedte, maar vaste oppervlakte</li> <li>• Geen <i>pick-up</i> en <i>drop-off</i> punten</li> </ul>
<b>Jeong et al. (2005)</b>	Genetisch algoritme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabele lengte en breedte, maar vaste oppervlakte</li> <li>• Meerdere verdiepingen</li> </ul>
<b>Deb en Bhattacharyya (2005)</b>	Hybride algoritme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genetisch algoritme en simulated annealing</li> <li>• <i>Pick-up</i> en <i>drop-off</i> punten</li> </ul>
<b>Ye en Zhou (2005)</b>	Hybride algoritme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabu search en genetisch algoritme</li> <li>• Vaste lengte en breedte</li> <li>• Houdt apart rekening met faciliteiten die noodzakelijk kort bij elkaar liggen</li> </ul>

**Tabel 7: overzicht probleemkenmerken en oplossingsmethodes**

## 2.3 Bespreking van model Gibson en Welgama (1993)

Zoals reeds aangehaald in sectie 2.2.2, zal het model van Gibson en Welgama (1993) worden besproken. Dit is een constructie algoritme waarbij machines in een fabriek geplaatst worden en waarbij rekening wordt gehouden met de *pick-up* en *drop-off* punten en de dimensies van machines. De lay-out van de fabriek wordt in dit model als continu beschouwd voor het volledige productiegedeelte van de fabriek.

Het model van Gibson en Welgama (1993) heeft als doel om de afstand tussen verschillende machines te minimaliseren. Aangezien het een constructie algoritme betreft dat machines één voor één gaat plaatsen, kan geen gebruik gemaakt worden van een klassieke doelfunctie die streeft om de *flow* tussen alle machines, vermenigvuldigd met de afstand tussen die machines, te minimaliseren:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f_{ij} |(x_{ip} - x_{jd}) + (y_{ip} - y_{jd})| + f_{ji} |(x_{jp} - x_{id}) + (y_{jp} - y_{id})| \quad (1)$$

Dit gaat er immers van uit dat alle machines reeds in de fabriek geplaatst zijn en dat ze onderling verwisseld worden, wat uiteindelijk tot een betere onderlinge afstand moet leiden. De doelfunctie moet herwerkt worden naar het vinden van de beste locatie voor een machine, zodat de som van het transport met alle vorige machines en de te plaatsen machine geminimaliseerd wordt. De doelfunctie zal dus afhangen van een te plaatsen machine  $j$ :

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in S} f_{ij} |(x_{ip} - x_{jd}) + (y_{ip} - y_{jd})| + f_{ji} |(x_{jp} - x_{id}) + (y_{jp} - y_{id})| \quad (2)$$

In vergelijking twee staat  $f_{ij}$  voor de goederenstroom tussen machine  $i$  en  $j$  en  $f_{ji}$  voor de goederenstroom tussen machine  $j$  en  $i$ .  $(x_i^p, y_i^p)$  en  $(x_j^p, y_j^p)$  zijn de coördinaten van de *pick-up* punten van machine  $i$  en  $j$  respectievelijk en  $(x_i^d, y_i^d)$  en  $(x_j^d, y_j^d)$  zijn de coördinaten van de *drop-off* punten van machine  $i$  en  $j$  respectievelijk.  $S$  is de verzameling van alle reeds geplaatste machines.

Gibson en Welgama (1993) vinden vier beperkingen waar het algoritme rekening mee moet houden. Als eerste beperking halen ze aan dat het niet voldoende is om enkel de oppervlakte te beschouwen van een machine, de lengte en breedte moeten ook gekend zijn en staan vast. Een tweede beperking is dat machines elkaar niet mogen overlappen. Deze beperking wordt als volgt geformuleerd:

$$\text{either } (X_{jt} - X_{ib}) \times (X_{jb} - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (3)$$

$$\text{or } (Y_{jt} - Y_{ib}) \times (Y_{jb} - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

In vergelijking drie zijn  $(x_i^B, y_i^B)$  en  $(x_j^B, y_j^B)$  de coördinaten van de rechteronderhoek van respectievelijk machine  $i$  en machine  $j$ .  $(x_i^T, y_i^T)$  en  $(x_j^T, y_j^T)$  zijn de coördinaten van de linkerbovenhoek van respectievelijk machine  $i$  en machine  $j$ .

Een volgende beperking die wordt aangehaald, is dat machines verticaal of horizontaal geplaatst moeten worden en dat die ofwel vrij zijn om binnen de ruimte geplaatst te worden, ofwel vastgelegd worden door de gebruiker. Als vierde en laatste beperking wordt gezorgd dat machines steeds binnen de grenzen van de fabriek moeten blijven.

Een ander element waar rekening mee gehouden moet worden wanneer *pick-up* en *drop-off* punten expliciet worden beschouwd, is de oriëntatie van een machine. Wanneer er een kandidaatpunt geselecteerd is om de volgende machine te plaatsen, is het noodzakelijk om een mogelijke quarter te vinden voor het plaatsen van de nieuwe machine. Een punt dat langs het kandidaatpunt  $C$  ligt, wordt geselecteerd, in elk *quarter*, om de *feasibility* te testen. Dit wordt gedaan door een *either-or* beperking:

$$\text{either } (X_k - X_{ib}) \times (X_k - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n - 1) \quad (4)$$

$$\text{or } (Y_k - Y_{ib}) \times (Y_k - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Waarbij  $(X_k, Y_k)$  de coördinaten zijn van het punt dat langs kandidaat-punt  $C$  ligt.

Het algoritme dat wordt voorgesteld, bestaat uit de volgende stappen:

1. Initialisatie, stel  $n_f$  gelijk aan het aantal machines dat vaststaat  $j$ . Definieer  $S$  als de verzameling van de al geplaatste machines. Indien  $n_f = 0$ , ga naar stap 2, indien niet, ga naar stap 3,
2. Selecteer de eerste machine die gezet moet worden. Dit is de machine die het meeste aantal interacties heeft met andere machines. Vraag gebruikers naar voorkeursplaatsen voor machines. Bereken coördinaten van *pick-up* en *drop-off* punten, bereken de linker bovenhoek en rechter onderhoek. Zet de geplaatste machine in  $S$  en  $n_f = n_f + 1$ ,
3. Selecteer de volgende machine. Dit is de machine die de grootste goederenstroom heeft met alle machines die al gezet zijn,
4. Start van de selectieprocedure: selecteer de eerste machine in  $S$ ,
5. Stel als kandidaatpunt  $C$  de linker bovenhoek van de geselecteerde machine
6. Kijk na of er een *feasible* quarter bestaat. Indien ja, ga naar 7, indien nee, ga naar 10,
7. Doe het volgende
  - a. Plaats de machine  $P$  horizontaal in de *feasible* quarter zodat  $X_p^b$  (indien  $C$  zich op een horizontale zijde bevindt) of  $Y_p^t$  (indien  $C$  zich op een verticale zijde bevindt) samenvalt met  $C$ , afhankelijk van de *feasible* quarter. Bereken nu de coördinaten van de *pick-up* en *drop-off* punten van nieuwe machine  $P$ , alsook de coördinaten van de rechter onderhoek en linker bovenhoek. Ga verder met stap 8,
  - b. Herhaal stap a met verticale configuraties,

- c. Plaats de machine  $P$  horizontaal in de feasible quarter zodat  $X_p^b$  (indien  $C$  zich op een horizontale zijde bevindt) of  $Y_p^t$  (indien  $C$  zich op een verticale zijde bevindt) samenvalt met  $C$ , afhankelijk van de feasible quarter. Bereken nu de coördinaten van de *pick-up* en *drop-off* punten van nieuwe machine  $P$ , alsook de coördinaten van de rechter onderhoek en linker bovenhoek. Ga verder met stap 8,
  - d. Herhaal stap c met verticale configuraties,
  - e. Plaats de machine  $P$  horizontaal in de feasible quarter zodat  $C$  samenvalt met het midden van de horizontale zijde van de nieuwe machine  $P$  (indien  $C$  zich op een horizontale zijde bevindt) of zodat  $C$  samenvalt met het midden van de verticale zijde van de nieuwe machine  $P$  (indien  $C$  zich op een verticale zijde bevindt). Ga verder met stap 8,
  - f. Herhaal stap e met verticale configuraties,
  - g. Ga verder met stap 10,
8. Kijk na of de machines niet overlappen. Indien de huidige oplossing mogelijk is, ga verder met stap 9, indien niet ga verder met de volgende stap in 7,
  9. Bereken de waarde van de doelfunctie. Indien deze beter is dan de vorige beste, sla de nieuwe waarde op als huidige beste. Draai de nieuwe machine 180 graden rond zijn as en bereken opnieuw de doelfunctie waarde. Indien ze beter is dan de huidige beste waarde, sla deze waarde dan op als nieuwe huidige beste oplossing. Ga dan verder met de volgende stap in 7,
  10. Ga verder met een ander kandidaatpunt  $C$ . Beschouw in totaal vier kandidaatpunten langs elke zijde van de geselecteerde machine. Indien de berekeningen voor alle kandidaatpunten gedaan zijn, ga verder met stap 11. Indien niet, ga terug naar stap 6,
  11. Ga naar de volgende machine in de verzameling  $S$ . Wanneer alle machines in  $S$  overlopen zijn, ga verder met stap 12. Indien niet, ga terug naar stap 5,
  12. Plaats machine  $P$  waar de doelfunctie de beste waarde heeft. Plaats machine  $P$  bij in de verzameling  $S$  en zet  $n_f = n_f + 1$ . Wanneer alle machines geplaatst zijn ( $n_f = N$ ), stop. Indien niet, ga terug naar stap 3.

De huidige situatie in VCST is dat er veel lege plaatsen zijn in de fabriek en er tegen 2015 voldoende plaats is om de voorraad ruwe materialen in dezelfde hal als de machines te plaatsen. Die oppervlakte wordt nu nog bezet door machines, die tussen de andere machines kunnen geplaatst worden. Omwille van dit gegeven, kan dit constructie algoritme snel een goede oplossing genereren.

Deze sectie geeft een overzicht van welke mogelijke oplossingsmethodes er voor handen zijn om een *facility layout* probleem aan te pakken. In de literatuur worden exacte, heuristische en meta-heuristische oplossingsmethodes gebruikt. Voor deze masterproef wordt gekozen voor het constructiealgoritme van Gibson en Welgama (1993). Dit algoritme leidt snel tot goede oplossingen, heeft probleemkenmerken die goed overeenkomen met die van VCST en vereist geen programmeerkennis. Deze sectie biedt een antwoord op de tweede en derde deelvraag uit sectie 1.4.1.





## 3 Praktijkstudie

### 3.1 Dataverzameling en dataverwerking

Om de vierde, vijfde en zesde deelvraag te beantwoorden, is het noodzakelijk om voldoende, correcte en betrouwbare data te verzamelen. VCST heeft in het verleden reeds voor verschillende andere projecten data verzameld en zo ook voor dit project. Vanuit VCST werden dus ook verschillende bestanden ter beschikking gesteld om de nodige data te verkrijgen. Een eerste bestand gaf een overzicht van alle verplaatsingen. Zo werd de afstand van vak tot vak gegeven van alle vakken die binnen de productiefabriek lagen. Ook werden de verplaatsingen onderverdeeld in drie groepen: verplaatsingen via een heftruck, verplaatsingen via een accutrekker en verplaatsingen via een elektrische steekwagen.

De verplaatsingen via een accutrekker hebben alleen betrekking op de voorraden ruwe materialen die naar het productiegebouw gebracht worden. Heftrucks worden gebruikt voor het intern transport binnen de fabriek, op uitzondering van de afdeling FFG, wat voor *Flexible Focused Gearshop* staat. Op de afdeling FFG wordt gebruik gemaakt van de elektrische steekwagens. Het transport dat met deze elektrische steekwagens gebeurt, wordt niet in rekening gebracht door VCST en dus als nul beschouwd. Deze afdeling bevindt zich in de vakken 2005, 2007 en 2010. Ook het transport naar de centrale wasmachine (vak 2006) dat niet via een heftruck verloopt, tussen de verschillende bewerkingen in, wordt als nul beschouwd door VCST. Aangezien deze thesis als doel heeft om het transport binnen de fabriek te verbeteren, zal aangenomen worden dat al het transport gedaan wordt met behulp van heftrucks. Voor de verplaatsingen tussen verschillende gebouwen, zal dus aangenomen worden dat er met heftrucks gereden wordt. Ook voor de afdeling FFG wordt dezelfde veronderstelling gemaakt en zullen de jaarlijkse afgelegde meters in rekening gebracht worden.

Een tweede bestand dat ter beschikking gesteld werd, bevatte de berekening voor de oppervlakte, die nodig is voor de opslag van de voorraden ruwe materialen. Door de vele lege ruimtes die in het productiegebouw aanwezig zijn, is het immers mogelijk geworden om de voorraden ruwe materialen reeds in het productiegebouw te plaatsen. Dit levert al een aanzienlijke besparing van het transport op. Deze benodigde oppervlakte, waar ook rekening werd gehouden met de werkruimte, kwam uit op 5 495 m<sup>2</sup>. Een derde bestand geeft een overzicht van alle veranderingen de laatste jaren en dit jaar. Dit gaf aan welke machines of vakken niet meer in gebruik zullen zijn anno 2015, maar nu wel nog ofwel in de fabriek staan, ofwel nog in gebruik zijn. Hier werd ook reeds een oppervlakte voorzien voor de voorraden ruwe materialen, maar hier werd een overschatting gemaakt van de benodigde oppervlakte. Er werd immers een totale oppervlakte van 6 500 m<sup>2</sup> voorzien. Dit biedt een mogelijke spelingruimte van ongeveer 1 000 m<sup>2</sup> bij het oplossen van het algoritme, indien bij de plaatsing van de vakken zou blijken dat er te weinig plaats is om alles te plaatsen in de fabriek zonder op de voorziene oppervlakte van 6 500 m<sup>2</sup> te komen.

Het vierde bestand dat VCST ter beschikking stelde, gaf een overzicht van alle productnummers. Zo staat er aangeduid welke productnummers op FFG gemaakt worden, welke productlijnen zullen aflopen en voor welke productnummers de lay-out al door VCST zelf beslist was en die dus als vast moeten worden beschouwd bij het oplossen van het algoritme. Ook werden alle productnummers beschreven in dit bestand en werden de voorspellingen voor de vraag in 2015 gegeven. Dit laatste was essentieel voor het oplossen van het algoritme en voor het opstellen van een referentiekader.

De meeste informatie kwam echter uit het vijfde en laatste databestand. Als eerste belangrijk punt werden de afstanden gegeven tussen alle vakken, dus niet enkel tussen de vakken binnen de productiefabriek. Hierdoor was het mogelijk om rekening te houden met de verplaatsingen naar het gebouw STC en het gebouw waar de ruwe materialen opgeslagen liggen. Dit liet toe om op een nauwkeurige wijze een referentiekader op te stellen. Als tweede belangrijk punt werd het hele productieproces van elk van de producten gegeven. De verplaatsingen van vak tot vak, de afstand tussen die verschillende vakken, het aantal producten dat per pakket kan vervoerd worden, het totaal aantal pakketten dat vervoerd wordt per jaar en het type vervoersmiddel dat gebruikt werd voor elke verplaatsing. Naast deze databestanden had VCST ook nog enkele grondplannen ter beschikking gesteld. Zo was het mogelijk om voor elk vak de lengte en breedte te berekenen, de totale oppervlakte te bepalen, de oppervlakte die vrij was gekomen en vrij ging komen per vak en de oppervlakte die beschikbaar was om te verplaatsen.

Op basis van al deze gegevens was het mogelijk om zelf een werkbestand op te stellen om het algoritme op te lossen. Als eerste werden alle producten die in 2015 niet meer gemaakt zouden worden, uit de data gefilterd. Vervolgens kon voor deze gefilterde data de totale vak tot vak verplaatsingen worden samengesteld door de som te maken van alle verplaatsingen (van alle producten) die dezelfde vak tot vak verplaatsing maakten. Op deze manier kon in het eerste tabblad een transportmatrix worden opgesteld waarin de totale *flow* tussen vakken werd weergegeven. Zo stond de data ook in een vorm die toeliet om de selectie van het volgende te plaatsen vak  $p$  te maken. Een voordeel van deze dataverwerking was dat het de mogelijkheid gaf om fouten in de data aan het licht te brengen. Zo kwamen vakken aan het licht waar niets naartoe gebracht werd en vakken waaruit niets vertrok. Na het overlopen van deze mogelijke fouten met VCST, kon de definitieve transportmatrix opgesteld worden. In het tweede tabblad werd het originele productieproces bijgehouden.

Een derde tabblad bevat de lengte- en breedtematen van alle vakken. Aan de hand van het grondplan werd de totale oppervlakte, de oppervlakte beschikbaar voor verplaatsing en de vrije oppervlakte van elk vak bepaald. Om het referentiekader op te stellen, was het noodzakelijk om in het originele productieproces de afstanden van de vakken van de afdeling FFG te berekenen, omdat alles in meters heftruck berekend wordt in het algoritme. Ook de afstanden naar het gebouw waar de ruwe materialen liggen opgeslagen, moeten worden aangepast. Dit werd in een vierde tabblad gedaan. Dit was een kopie van het tweede tabblad, op uitzondering van de aanpassing van de afstanden die in FFG worden afgelegd en de afstanden van en naar het gebouw waar de ruwe materialen liggen opgeslagen.

In tabblad vijf werd de berekening gedaan voor de volgorde van de volgende te plaatsen vakken  $p$ . Dit gebeurde door respectievelijk de som van de *flows* van alle nog te plaatsen vakken met alle reeds geplaatste vakken te berekenen. De maximale *flow* van deze *flows* gaf aan welk vak  $p$  als volgende geplaatst zou worden. Waar het volgende vak  $p$  zou staan, werd berekend in tabblad zes. Hierin werden alle mogelijke oriëntaties overlopen en werd voor elke oriëntatie aangegeven wat de doelfunctiewaarde was of welke beperking werd overschreden. Indien meer dan één beperking werd overschreden, werd er echter slechts één worden aangegeven om het overzichtelijker te houden. Tabblad zeven was een hulptabblad voor tabblad zes. Hier werden de doelfunctiewaardes berekend voor de mogelijke oriëntaties van de vakken. De beste van deze waardes werd dan bijgehouden en in tabblad zeven aangeduid.

Verder was er nog een tabblad dat hielp om de afstanden van het plan naar de realiteit om te zetten, een tabblad om de nieuwe afstand weer te geven, een tabblad in dezelfde vorm als het vorige om de huidige afstand weer te geven en nog een hulptabblad om op een snelle wijze de nieuwe afstanden in te lezen in het huidige productieproces. Als laatste werd er nog een tabblad opgesteld om een investeringsanalyse te maken. De terugverdientijd voor grote projecten binnen VCST bedraagt ongeveer twee jaar. De kosten bij deze investeringsanalyse worden gegenereerd door het verplaatsen van vakken en de opbrengsten worden gegenereerd door de besparing die ontstaat door een efficiëntere plaatsing van de vakken.

### **3.2 Beschrijving van de huidige situatie**

In de fabriek van VCST te Sint-Truiden worden in de huidige situatie 192 verschillende producten gemaakt. Tandwielen en assen hebben hiervan het grootste aandeel. Voor de productie van elk van deze producten wordt gebruik gemaakt van de verschillende fasen: zachte bewerkingen, harden in STC en harde bewerkingen die reeds zijn aangehaald in de sectie Voorstelling VCST. Om het geheel van het productieproces met alle verschillende producten overzichtelijk te houden, is de fabriek van VCST ingedeeld in verschillende vakken. Om een voor deze thesis relevante beschrijving te geven van een productieproces van een specifiek product, worden, in samenspraak met VCST, de verplaatsingen van vak tot vak in beschouwing genomen in plaats van de verplaatsingen van machine tot machine. In Tabel 8 wordt als voorbeeld de beschrijving van het productieproces van het product 'krukas tandwiel bewerkt' gegeven:

<b>Product</b>	<b>Benaming</b>	<b>Van Vak</b>	<b>Naar Vak</b>
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	5401	1703
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	1703	2007
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2007	2006
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2006	2005
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2005	2006
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2006	2005
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2005	4502
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	4502	0901
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	0901	2006
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2006	5601
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	5601	0000
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	0000	1302
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	1302	2005
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2005	2010
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	2010	0602
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	0602	5601
<b>299417</b>	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	5601	5103

**Tabel 8: productieproces 'Krukas Tandwiel Bewerkt'**

In deze tabel kan van boven naar onder afgelezen worden welke weg er moet afgelegd worden binnen VCST om dit specifieke product te produceren. Het merendeel van de vakken die op deze manier beschreven staan, zijn terug te vinden in het productiegebouw van VCST zelf. Enkele van deze vakken liggen echter ook buiten het productiegebouw. Zo zal voor sommige producten er een proces zijn dat uitbesteed moet worden. Zoals reeds vermeld in de voorstelling van het bedrijf, zal een product na de zachte bewerkingen ook naar het gebouw STC gaan, waar eveneens verschillende vakken zijn. De voorraden grondstoffen liggen ook in een apart gebouw, dat onderverdeeld is in vakken. Om een referentiekader op te stellen en het huidige interne transport te berekenen, zullen voor elk van deze verschillende vakken assumpties moeten gemaakt worden. Om goederen, die gelegen zijn in het gebouw STC of het gebouw waar de ruwe materialen worden opgeslagen naar binnen te brengen, zijn in de fabriek zeven poorten voorzien.

Voor de vakken die buiten het productiegebouw gelegen zijn, gelden volgende assumpties. Voor alles wat te maken heeft met uitbesteding, wordt de afstand tot de dichtstbijzijnde poort in het productiegebouw genomen. Voor elke verplaatsing die te maken heeft met het gebouw waar de ruwe materialen opgeslagen liggen, wordt een onderscheid gemaakt tussen verplaatsingen naar dit gebouw of verplaatsingen die vanuit dit gebouw vertrekken. Voor de aanvoer van ruw materiaal moet 240 meter worden afgelegd, voor de afvoer naar de eindvoorraad bedraagt deze afstand 220 meter. Voor alles wat naar STC vervoerd moet worden, wordt ook de afstand tot aan de dichtstbijzijnde poort in het productiegebouw genomen. De reden om zo correct mogelijk de volledige afstand in rekening te brengen met het gebouw waar de ruwe voorraden liggen opgeslagen, is dat deze ruwe voorraden in het nieuwe scenario binnen het productiegebouw komen te liggen. Die afstand zal dus gevoelig afnemen. Voor alles wat met uitbesteding of STC te maken

heeft, zal er niets veranderen in het nieuwe scenario. Bijgevolg is het voldoende om voor die verplaatsingen enkel de afstand tot de dichtstbijzijnde poort te nemen. Tabel 9 geeft een overzicht van een productieproces van 'Krukas Tandwiel Bewerkt' zoals gebruikt om een referentiegetal te bepalen:

Product	Planning 2015	Benaming	Van Vak	Naar Vak	Afstand (m)	Afstand/jaar
299417	7500	KRUKAS TANDWIEL BEWERKT	5401	1703	312	2 340 000
299417	7500		1703	2007	180	1 350 000
299417	7500		2007	2006	3	22 500
299417	7500		2006	2005	3	22 500
299417	7500		2005	2006	3	22 500
299417	7500		2006	2005	3	22 500
299417	7500		2005	4502	3	22 500
299417	7500		4502	0901	71	532 500
299417	7500		0901	2006	35	262 500
299417	7500		2006	5601	223	1 672 500
299417	7500		5601	0000	0	0
299417	7500		0000	1302	76.5	573 750
299417	7500		1302	2005	25	187 500
299417	7500		2005	2010	0	0
299417	7500		2010	0602	95	712 500
299417	7500		0602	5601	245	1 837 500
299417	7500		5601	5103	0	0

Tabel 9: productieproces 'KRUKAS TANDWIEL BEWERKT'

Indien de gegevens die door VCST ter beschikking gesteld zijn op deze manier aangepast worden voor elk product en de productievolumes van 2015 in beschouwing worden genomen, zal een referentiegetal kunnen worden opgesteld. Om dit getal te bekomen wordt de geschatte vraag voor 2015 vermeningvuldigd met de afstand tussen de vakken. Het resultaat hiervan is 2 078 741 258 meter. De assumptie die voor dit getal gemaakt wordt, is dat producten die een verplaatsing van een bepaald vak naar een ander vak maken, één voor één door de heftruck vervoerd worden. Deze assumptie is noodzakelijk om het algoritme van Gibson en Welgama (1993) toe te passen, want de doelfunctie is bepaald om het aantal afgelegde meters zo klein mogelijk te maken. Verder zullen enkel de producten die anno 2015 nog gemaakt worden, in beschouwing worden genomen alsook volumes die voorzien zijn anno 2015. Indien de hele productie van 2014 in rekening zou gebracht worden, zou dit immers een vertekend beeld geven. Deze sectie biedt een antwoordt op de vijfde deelvraag.

Referentiegetal	
Afstand voor één voor één verplaatsingen	2 078 741 258 meter

Tabel 10: referentiegetal

### 3.3 Beschrijving van de verbeterde situatie

Voor het verbeterde scenario geldt nog altijd de bepaling dat de vak tot vak afstanden worden genomen in plaats van de machine tot machine afstanden. Ook aan het productieproces van de producten verandert niets, zodat het algoritme tot doel zal hebben om de vak tot vak afstand te verminderen.

Voor de vakken van het gebouw STC en de vakken van uitbesteding verandert niets, maar de vakken van het gebouw met de voorraden ruwe materialen komen allemaal binnen het productiegebouw te liggen. Dit geldt echter niet als een beperking, omdat hier slechts in de mate van het mogelijke rekening mee wordt gehouden. De vakken zullen door het algoritme niet in de voorziene ruimte voor de ruwe materialen geplaatst worden, maar slechts zolang dit mogelijk is. De bedoeling hiervan is om de ruimte zo goed mogelijk beschikbaar te houden voor het verplaatsen van de voorraden. Naast de zeven poorten die reeds in de huidige situatie gebruikt worden, kan er ook een achtste poort in gebruik genomen worden. Op dit moment is dit niet het geval.

Wanneer men de verplaatsingen van vak tot vak in beschouwing neemt in plaats van de verplaatsingen van machine tot machine, zullen ook de kosten anders berekend moeten worden. Elk vak bestaat uit een verschillend aantal machines en wanneer deze machines verplaatst worden, brengt dat een kost met zich mee. In plaats van de kosten afzonderlijk per machine te beschouwen, zullen deze gegroepeerd worden per vak. De verhuiskosten zullen met andere woorden ook per vak moeten beschouwd worden. Een ander aspect waar rekening mee gehouden moet worden, is dat door de veranderingen doorheen de jaren, verschillende vakken te kampen hebben met oppervlaktes die niet benut worden. Gezien de verschillende groottes van de vakken, is het mogelijk dat een bepaald vak nu binnen een ander vak kan geplaatst worden in plaats van er aan grenzend. Dit zal voor twee extra stappen in het algoritme zorgen die er als volgt uitzien:

#### Stap 5:

Kijk na of de oppervlakte van het te plaatsen vak  $p$  kleiner of gelijk is dan de vrije oppervlakte in vak  $j$ . Indien ja, ga verder met stap 6. Indien nee, ga verder met stap 7.

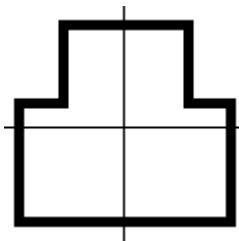
#### Stap 6:

**6.1** kijk de lengte en breedte van het te plaatsen vak  $p$  na om het in vak  $j$  te passen. Indien het past, ga verder met stap 10. Indien niet, ga verder met stap 6.2,

**6.2** draai het te plaatsen vak 90 graden. Kijk de lengte en breedte van het te plaatsen vak  $p$  na om het in vak  $j$  te passen. Indien het past, ga verder met stap 10. Indien niet, ga verder met stap 7.

Een andere aanpassing aan het originele algoritme is dat slechts vier kandidaatpunten per vak dat reeds geplaatst is, in overweging genomen worden voor de plaatsing van het volgende vak. Deze vier punten zijn de hoeken van elk vak. Aan elk kandidaatpunt worden dan acht mogelijke

oriëntaties beschouwd om het volgende vak te plaatsen. Zo worden in totaal aan elk reeds geplaatst vak 32 mogelijke oriëntaties beschouwd. Een gevolg van het beschouwen van vakken in plaats van machines, is dat niet alle vakken een rechthoekige vorm hebben. Om dit probleem op te lossen kunnen meerdere linkerbovenhoeken, rechterbovenhoeken, rechteronderhoeken en linkeronderhoeken geëvalueerd worden. De beste doelfunctiewaarde blijft dan behouden voor elke hoek. Op die manier heeft het algoritme een doelfunctiewaarde voor elke linkerbovenhoek, rechterbovenhoek, rechteronderhoek en linkeronderhoek van de reeds geplaatste vakken. Als voorbeeld wordt in Figuur 5: vak 1701 Figuur 5 de vorm van vak 1701 geschetst. Voor dit vak worden drie linkerbovenhoeken, drie rechterbovenhoeken, één rechteronderhoek en één linkeronderhoek geëvalueerd.



**Figuur 5: vak 1701**

Naast het aanpassen van het algoritme, moet ook de doelfunctie uit het originele model worden aangepast. De doelfunctie van Gibson en Welgama (1993) minimaliseert de afstand tussen de reeds geplaatste vakken door de stroom tussen twee vakken te vermenigvuldigen met de afstand tussen de *pick-up* en *drop-off* punten:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in S} f_{ij} |(x_{ip} - x_{jd}) + (y_{ip} - y_{jd})| + f_{ji} |(x_{jp} - x_{id}) + (y_{jp} - y_{id}) \quad (5)$$

In vergelijking vijf staat  $f_{ij}$  voor de goederenstroom tussen vak  $i$  en  $j$  en  $f_{ji}$  voor de goederenstroom tussen vak  $j$  en  $i$ .  $(x_i^p, y_i^p)$  en  $(x_j^p, y_j^p)$  zijn de coördinaten van de *pick-up* punten van vak  $i$  en  $j$  respectievelijk en  $(x_i^d, y_i^d)$  en  $(x_j^d, y_j^d)$  zijn de coördinaten van de *drop-off* punten van vak  $i$  en  $j$  respectievelijk.  $S$  is de verzameling van alle reeds geplaatste machines.

Voor de toepassing op VCST geldt de beperking dat naar de vak tot vak verplaatsingen gekeken moet worden. De vakken hebben geen *pick-up* en *drop-off* punten, dus voor de afstand in de nieuwe doelfunctie zal de kortst mogelijke afstand van vak  $i$  naar vak  $j$  genomen worden. De stroom tussen de vakken zal behouden blijven. Op die manier zal de jaarlijkse stroom tussen de vakken geminimaliseerd worden. Om de afstand te vinden die jaarlijks wordt afgelegd, worden de nieuwe afstanden tussen de vakken vervangen in de tabellen. Zo wordt weer rekening gehouden met het aantal verplaatsingen dat nodig is om de gehele voorraad van een product naar het volgende vak te brengen. De nieuwe doelfunctie ziet er als volgt uit:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in S} (f_{ij} * dij + f_{ji} * dji) \quad (6)$$

In vergelijking zes stellen  $d_{ij}$  en  $d_{ji}$  respectievelijk de afstand voor tussen vak  $i$  en vak  $j$  en de afstand tussen vak  $j$  en vak  $i$ . Analoog zijn  $f_{ij}$  en  $f_{ji}$  gedefinieerd als de goederenstroom tussen de vakken  $i$  en  $j$ .  $S$  is de verzameling van alle reeds geplaatste vakken.

Een laatste aanpassing aan het originele model die moet gebeuren, heeft betrekking op de beperkingen. Enkele beperkingen die aangehaald werden door Gibson en Welgama (1993) blijven behouden. De plaatsing van de vakken moet gebeuren binnen de grenzen van de fabriek en vakken mogen elkaar niet overlappen, tenzij ze in elkaar passen.

### 1<sup>ste</sup> beperking:

De totale lengte en breedte van de aangrenzende vakken mag de lengte en breedte van de fabriek niet overschrijden.

### 2<sup>de</sup> beperking:

Geen enkel vak mag overlappen met een ander vak, tenzij het volledig binnen de vrije ruimte van het reeds geplaatste vak past.

$$\text{either } (X_{jt} - X_{ib}) \times (X_{jb} - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (7)$$

$$\text{or } (Y_{jt} - Y_{ib}) \times (Y_{jb} - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

In vergelijking zeven zijn  $(x_i^B, y_i^B)$  en  $(x_j^B, y_j^B)$  de coördinaten van de rechteronderhoek van respectievelijk vak  $i$  en vak  $j$ .  $(x_i^T, y_i^T)$  en  $(x_j^T, y_j^T)$  zijn de coördinaten van de linkerbovenhoek van respectievelijk vak  $i$  en vak  $j$ .

Door de specifieke situatie in VCST moet rekening gehouden worden met extra beperkingen. Zo mag geen enkel vak overlappen met de brandweg. Deze weg ligt vast in VCST en is een gang met een breedte van vier meter. Om het transport tussen verschillende vakken mogelijk te maken, is het ook noodzakelijk dat elk vak minstens aan één gang grenst met een breedte van drie meter. Om een vlotte instroom van goederen te garanderen, mogen vakken ook niet voor een poort komen te liggen. VCST probeert zich ook duurzaam op te stellen. Daarom voorzien ze een afzuiging in de fabriek om olie te recycleren. Ook deze afzuiging staat vast.

### 3<sup>de</sup> beperking

De brandweg, die vastligt, moet volledig vrij blijven. Deze weg is vier meter breed. De coördinaten van de linkerbovenhoek en rechteronderhoek zijn respectievelijk  $(0, 132)$  en  $(160, 128)$ , wat tot de volgende beperking leidt:

$$\text{either } (0 - X_{ib}) \times (160 - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (8)$$

$$\text{or } (132 - Y_{ib}) \times (128 - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$



#### 4<sup>de</sup> beperking

Elk vak moet minstens aan één gang grenzen van drie meter breed.

#### 5<sup>de</sup> beperking

Vakken mogen niet voor een poort liggen. Er zijn momenteel acht poorten, waarvan zeven in gebruik zijn. Poort nummer zeven is op dit moment niet in gebruik, maar kan wel terug in gebruik genomen worden. De coördinaten van de poorten worden in Tabel 11 weergegeven:

Poortnummer	1 <sup>ste</sup> coördinaat	2 <sup>de</sup> coördinaat
1	(168;132)	(168; 128)
2	(168;36)	(168;33)
3	(144; 0)	(141; 0)
4	(96; 0)	(93; 0)
5	(48; 0)	(45; 0)
6	(27; 4,11)	(24; 4,11)
7	(0; 96)	(0; 99)
8	(0; 132)	(0; 128)

Tabel 11: locatie van de poorten

Er zijn twee coördinaten voor elke poort, één om het begin aan te duiden en één om het einde aan te duiden. Een poort heeft altijd dezelfde breedte als een gang, dus drie meter voor een gewone gang en vier meter voor de brandgang.

#### 6<sup>de</sup> beperking

De plaats die voorzien is voor de afzuiging en recyclage van olie, moet vrij blijven.

Het volledig aangepaste algoritme van Gibson en Welgama (1993), inclusief alle beperkingen, wordt gegeven in bijlage A.

### 3.4 Uitwerking en resultaten

In dit deel wordt het uitwerken van het algoritme overlopen. Als eerste zal gekeken worden of het probleem niet vereenvoudigd kan worden alvorens te beginnen met het oplossen van het algoritme. Dit noemt men *problem preprocessing*. Vervolgens zal de uitwerking van het algoritme stap per stap overlopen worden en zullen de resultaten besproken worden. Als laatste worden ook de resultaten gegeven van een alternatieve oplossing, wordt de feedback van VCST besproken en zal een investeringsanalyse de kwaliteit van de resultaten verduidelijken.

### 3.4.1 Problem preprocessing

Wanneer naar het probleem gekeken wordt, dan vallen enkele bijzonderheden op. Zo zijn er vakken die gescheiden worden door een gang en dus eigenlijk als twee aparte vakken met twee aparte oppervlaktes moeten beschouwd worden. Het valt echter ook op dat binnen bepaalde vakken veel lege ruimtes zijn. De mogelijkheid bestaat dus dat, door die niet benutte oppervlaktes, vakken die door een gang gescheiden zijn, wel samen gepast kunnen worden in één van de twee delen. De vakken die door gangen gescheiden worden zijn 1501, 1502, 2202, 1701 en 2005. Voor de vakken 1501 en 2202 vallen voor de productie die voor 2015 voorzien is, bijna alle machines weg. Er blijven voor vak 1501 slechts twee machines en voor vak 2202 slechts één machine over. Dit maakt dat voor deze vakken de oppervlakte die verplaatst moet worden meer dan gehalveerd wordt en ze beiden in één oppervlakte beschouwd kunnen worden. Vak 1502 bevat reeds heel wat vrijstaande oppervlakte en daar komt nog eens bij dat er twee machines wegvallen. Op die manier kunnen de twee aparte delen van vak 1502 samengevoegd worden in één deel.

Dit geldt ook voor vak 1701. Ook hier kunnen de twee delen samengevoegd worden zodat slechts één deel overblijft door machines die niet in gebruik genomen worden voor de productie in 2015. Waar niets aan veranderd kan worden is vak 2005. Dit wordt gescheiden door twee gangen, maar er is geen enkele oppervlakte vrij om deze samen te voegen. Bovendien is één van deze gangen noodzakelijk om het transport binnen het vak te garanderen. Een speciale ruimte in de fabriek wordt ingenomen door de vakken 0701, 0702, 0703 en 0704. Deze vakken liggen tegen elkaar en er is geen duidelijke afscheiding tussen de vakken. In samenspraak met VCST worden deze vakken samengenomen en als één groot vak beschouwd. Tabel 12 geeft een overzicht van de vakken die origineel gescheiden zijn door gangen:

Vak	Aantal gangen	Samen te voegen in 1 vak?
1501	1	✓
1502	1	✓
2202	3	✓
1701	1	✓
2005	2	/
0701-0702-0703-0704	/	✓

Tabel 12: vakken die gescheiden worden door een gang

Verder zijn er vakken die op dit moment wel in de fabriek aanwezig zijn, maar die geen *flow* meer hebben met andere vakken in het productieproces van 2015. Dit zijn vakken die niet door het algoritme geplaatst zullen worden. Enkele van deze vakken zijn echter noodzakelijk om de goede werking van de fabriek te garanderen. VCST heeft de beslissing genomen om enkele van deze vakken vast te zetten. Vakken 1901, 1903 en 1904 staan in voor het onderhoud van de machines. Ze zorgen er bijvoorbeeld voor dat de slijpmessen scherp blijven of op tijd worden vervangen. Vak 1902 is een magazijn voor productiegoederen en in vak 1503 wordt de olie opgeslagen. Dit zijn eveneens vakken die niet mogen verplaatst worden.

Daarnaast bevinden zich twee centrale wasmachines in de fabriek. Deze kunnen niet verplaatst worden en staan bijgevolg vast. Verder is er nog een automatisch magazijn wat niet verplaatst kan worden, een vak voorzien voor leeggoed, een vak waar de vakbonden en de operationele verantwoordelijke hun kantoren hebben, een 3D-ruimte, een labo, een proto-ruimte en een vak voor compressoren. Als laatste blijven de vakken over die geen *flow* meer hebben met andere vakken en dus helemaal buiten beschouwing worden gelaten. Tabel 13 geeft hiervan een overzicht:

Vak	Functie	Vast bepaald?
1901	Onderhoud machines	✓
1902	Magazijn productiegoederen	✓
1903	Onderhoud machines	✓
1904	Onderhoud machines	✓
1503	Olieopslag	✓
1202-1302	Centrale wasmachine	✓
2006	Centrale wasmachine	✓
1403	Automatisch magazijn	✓
1802	Leeggoed	✓
1203-1303	Vakbonden/operationele verantwoordelijke	✓
1801	3D- ruimte	✓
0401	Laboratorium	✓
0204	Proto-ruimte	✓
2204	compressoren	✓
1806-2201-2102-1205-2101-2202	Staan leeg in 2015	/

Tabel 13: vakken die niet in productieproces voor komen

### 3.4.2 Uitwerking algoritme

Als start van het algoritme dienen enkele parameters gedefinieerd te worden. Dit betreft als eerste de lengte en breedte van de fabriek. Deze afmetingen zijn nodig om er voor te zorgen dat bij de plaatsing van de vakken de fabrieksgrenzen niet worden overschreden. De lengte van de fabriek bedraagt 180 m en de breedte 168 m. Verder zijn het aantal vakken dat reeds vaststaat en welke deze zijn. Het totaal aantal vakken is nodig om het algoritme alle mogelijkheden te laten overlopen en een stopcriterium te hebben. Het aantal vakken dat reeds vaststaat bedraagt 22 en het totaal aantal vakken bedraagt 46. Hier moet ook nog de verzameling vakken bijgerekend worden die de opslag van de voorraden ruwe materialen bepalen. Tabel 14 geeft een overzicht van de initialisatie van het algoritme:

Symbol	Betekenis	Waarde
<b>L</b>	Lengte van de fabriek	180 meter
<b>B</b>	Breedte van de fabriek	168 meter
<b>N<sub>f</sub></b>	Het aantal vakken dat reeds vaststaat	22
<b>N</b>	Totaal aantal vakken	47
<b>S</b>	Verzameling van alle reeds geplaatste vakken	0501, 0601, 0602, 1503, 1901, 1902, 1903, 1904, 2204, 2203, 1203-1303, 1801, 1802, 1403, 2006, 1202-1302, 0401, 0204, 0103, MA

Tabel 14: initialisatie

Aangezien er vakken zijn die reeds vaststaan, mag stap twee van het algoritme overgeslagen worden. De selectie van het volgende vak  $p$  wordt in Excel berekend. Voor de eerste stap na de initialisatie ziet dit er uit als in Tabel 15:

	0101	...	0202	0701234	...	2001	2002	2005	2010
<b>501</b>		...		320000	...	457			
<b>501</b>		...		160000	...	457			
<b>Som</b>	0	...	0	480000	...	914	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>602</b>		...		0	...			23000	
<b>602</b>		...		0	...			89293	7500
<b>Som</b>	0	...	0	0	...	0	0	112293	7500
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>1302</b>		...		0	...	7000		166748	
<b>1302</b>	93000	...		160000	...	7000		86800	
<b>Som</b>	93000	...	0	160000	...	14000	0	253548	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>MA</b>	186000	...	114518	900000	...	0	0	971777	17782
<b>MA</b>	3000	...	0	450000	...	0	0	757411	22698
<b>Som</b>	189000	...	114518	1350000	...	0	0	1729188	40480
<b>som met al het vorige</b>	282000	...	114518	2310000	...	14914	0	4296863	47980
<b>Max met al het vorige</b>	4296863								

Tabel 15: eerste stap (eerste iteratie)

In de eerste kolom bevinden zich alle vakken die reeds geplaatst zijn. In dit geval betreft het enkel de vakken die door VCST zelf zijn vast gezet. In de eerste rij zijn alle vakken te vinden die nog geplaatst moeten worden. Per vak dat reeds vast staat, in de eerste kolom, wordt de *flow* weergegeven die dat vak heeft met alle vakken die nog geplaatst moeten worden. Dit zijn twee stromen, één stroom van en één naar een vak. Van deze twee stromen wordt de som gemaakt. Deze som is voor alle reeds geplaatste vakken weergegeven in de rij 'Som'. Het volgende vak dat geplaatst moet worden is het vak dat de grootste *flow* heeft met alle reeds geplaatste vakken. In de voorlaatste rij wordt de som van alle vorige sommen berekend. De getallen in deze voorlaatste rij, stellen de totale *flow* voor die een niet-geplaatst vak heeft met alle reeds geplaatste vakken. Het maximum van deze rij duidt het vak aan dat als volgende geplaatst moet worden. Dit

maximum wordt in de laatste rij weergegeven. In de eerste iteratie is het dus vak 2005 dat geplaatst moet worden. Om het overzichtelijk te houden zijn enkele vakken weggelaten.

De plaatsing van het nieuwe vak 2005 wordt in de volgende stappen bepaald. Het eerste vak waar het nieuwe vak 2005 tegen geplaatst zal worden, is dat vak in S waarmee 2005 de grootste *flow* heeft:

	<b>0501</b>	...	<b>1302</b>	...	<b>2006</b>	...	<b>MA</b>	<b>2201834</b>
<b>2005</b>	0	...	253548	...	2201834	...	1729188	

Tabel 16: begin plaatsingsprocedure

Tabel 16 is de getransponeerde vorm van Tabel 15 maar enkel voor het te plaatsen vak en enkel met de som van de *flows* voor elk vak. Het laatste getal in de rij duidt aan met welk vak 2005 de grootste *flow* heeft. Dit is vak 2006, hier zal de plaatsingsprocedure dus verder gaan.

Vervolgens worden in vak 2006 alle stappen en tussenstappen overlopen van stap vijf tot 13 van het algoritme. Een overzicht van alle stappen die reeds overlopen zijn, wordt in een tabel bijgehouden als volgt:

It.	S	p	flow fij + fji	rechteronderhoek					Beste Z		
				8,1	8,4		8,7	8,8			
0		/									
1	0501	2005									
	0601										
	0602		112 293	2		4		2	1	1	
	...		...	...		...		...	...		
	1303										
	1801										
	1802										
	1403										
	2006		2 567 675	2		1		2	495443792	6	495443792
	1901										
	1902										
	1903										
	1904										
	1503										
	2204										
2203											
MA	1 729 188	2			1		2	2	2		

Tabel 17: stappen vijf tot 13 (eerste iteratie)

In de eerste rij van Tabel 17 worden de verschillende tussenstappen van stap zeven weergegeven. In de tweede rij staan alle tussenstappen van stap acht. Alle getallen kleiner dan tien in deze tabel

duiden op de beperking die geschonden werd voor die bepaalde oriëntatie. In het geval dat meerdere beperkingen geschonden werden, wordt slechts één getal kleiner dan zes ingevuld. Indien er geen beperking geschonden werd, wordt de doelfunctiewaarde berekend. De beste waarde uit de hele tabel per iteratie werd behouden en is in de laatste kolom in het groen aangeduid. Vak 2005 zal dus in de rechteronderhoek van vak 2006 geplaatst worden, zodat zijn linkeronderhoek samenvalt met de rechteronderhoek. Om het overzichtelijk te houden, wordt slechts een gedeelte van de tabel weergegeven. Voor vak 2005 was slechts één oriëntatie mogelijk, maar er waren ook vakken waar meerdere oriëntaties mogelijk waren. Voor elke oriëntatie werd dan de doelfunctiewaarde berekend en enkel de beste werd opgeslagen. Tabel 18 toont hoe de doelfunctiewaarde Z telkens berekend werd:

	2005	2007	0701234
<b>Afzonderlijke waardes Z</b>	12 480 000	12 480 000	6 304 000
	23 307	23 307	6 304 000
	23 283 693	23 283 693	12 480 000
	765 000	765 000	23 307
	1 371 000	1 371 000	23 283 693
	45 000	45 000	765 000
	12 480 000	12 480 000	6 304 000
<b>Totale Z</b>	495 443 793	512 139 543	770 101 743

Tabel 18: berekening Z

De tweede tot en met de voorlaatste rij geven de afzonderlijke waardes van Z weer. Dit zijn de afstanden tussen de reeds geplaatste vakken, vermenigvuldigd met de jaarlijkse *flow* die tussen deze vakken plaatsvindt. Deze waardes zijn in oplopende volgorde gesorteerd op verplaatsingen van een vak naar een ander vak. In de laatste rij werd de som gemaakt van alle vorige rijen om de waarde van de doelfunctie Z te bekomen. Bij meerdere oriëntaties waren er per te plaatsen vak meerdere kolommen. Uiteindelijk bleef enkel de beste waarde van de totale Z behouden. Tabel 18 geeft slechts een beperkte weergave van de afzonderlijke afstanden tussen de vakken.

In het oorspronkelijke algoritme van Gibson en Welgama (1993) werd er van uit gegaan dat er slechts één productieproces was. In het geval van VCST zijn er echter meerdere producten die gemaakt worden. Wanneer het algoritme dus letterlijk wordt overgenomen, treden er problemen op. Zo was er in stap tien, bij de plaatsing van vak 0101, geen plaats meer rondom de vakken waar vak 0101 een *flow* mee had. Een identiek probleem was er in stap 18, 20 en 22 bij de plaatsing van de vakken 1602, 1805 en 1804 respectievelijk. Om dit probleem te verhelpen, werd een extra stap toegevoegd aan het algoritme:

### Stap 13

Indien geen enkele mogelijkheid past om het volgende vak *p* te plaatsen, plaats het dan handmatig zo kort mogelijk met het al geplaatste vak dat de grootste *flow* heeft met vak *p*.

Het vak 0101 had *flows* met twee andere vakken, namelijk met vak 1302, de centrale wasmachine en met het vak MA. Bij vak 1302 was enkel nog aan de rechterkant ruimte voor vak 0101, maar daar werden reeds eerder de vakken 0901 en 0701234 geplaatst. Ook bij het vak MA kon vak 0101

enkel aan de rechterkant geplaatst worden, maar gezien de te grote breedte van vak 0101, was er dan geen plaats meer voor een gang. Omdat de *flow* met het vak MA het grootst was, dus het vak 0101 zo kort mogelijk bij het vak MA geplaatst.

In de laatste stap van het algoritme wordt het geselecteerde vak  $p$  geplaatst op de locatie waar het de beste doelfunctiewaarde heeft. Vak 2005 zal dus in de rechteronderhoek van vak 2006 geplaatst worden, zodat zijn linkeronderhoek samenvalt met de rechteronderhoek van vak 2006. Daarna worden  $S$  en  $n_f$  bijgewerkt tot de recentste waarde en wordt er verder gegaan met de selectie van de plaatsing van het volgende vak. Na de eerste iteratie ziet de tabel van de initialisatie er als volgt uit:

<b>Symbol</b>	<b>Betekenis</b>	<b>Waarde</b>
<b>L</b>	Lengte van de fabriek	180 meter
<b>B</b>	Breedte van de fabriek	168 meter
<b><math>N_f</math></b>	Het aantal vakken dat reeds vaststaat	23
<b>N</b>	Totaal aantal vakken	47
<b>S</b>	Verzameling van alle reeds geplaatste vakken	0501, 0601, 0602, 1503, 1901, 1902, 1903, 1904, 2204, 2203, 1203-1303, 1801, 1802, 1403, 2006, 1202-1302, 0401, 0204, 0103, MA, 2005

Tabel 19: bijgewerkte initialisatietabel

### 3.4.3 Resultaten

Wanneer alle stappen van het algoritme overlopen zijn en  $N_f = N$ , zijn alle machines geplaatst. De toepassing van dit algoritme op de specifieke situatie bij VCST, levert een doelfunctiewaarde op van 1 193 024 726 m. Dit is het resultaat wanneer men de jaarlijkse voorspelde vraag van 2015 voor elk product vermenigvuldigd met de nieuwe afstand tussen de vakken. In het oorspronkelijke geval bedroeg het referentiegetal 2 078 741 258 m. Dit komt neer op een verbetering van 42,6%. Bijlage B geeft een visuele voorstelling van hoe de nieuwe situatie er zal uitzien.

<b>Oude situatie</b>	<b>Nieuwe situatie</b>	<b>Procentuele verbetering</b>
2 078 741 258 meter	1 193 024 726 meter	42,6

Tabel 20: procentuele verbetering

De grootte van de verbetering is grotendeels te wijten aan het feit dat de nieuwe situatie er van uit is gegaan dat de voorraden ruwe materialen zich nu in de productiefabriek bevinden. Op die manier wordt voor bijna elk product in het productieproces de afgelegde afstand verminderd van 220 m of 240 m tot de dichtstbijzijnde afstand van de voorziene ruimte binnen het fabriek. Voor de vakken 1804 en 1805 geldt dat deze binnen de ruimte komen te liggen die voorzien is voor de opslag van de ruwe materialen. Dit is echter mogelijk omdat de oppervlakte van deze twee vakken samen 890 m<sup>2</sup> bedraagt en er een overschatting van 1000 m<sup>2</sup> was gemaakt op de voorziene oppervlakte.

De plaatsing zoals het algoritme het aangeeft, voorziet drie poorten in de voorziene ruimte om de ruwe materialen te leveren, met optie op een vierde poort die terug in gebruik kan genomen

worden. Het voorziet ook in drie plaatsen waaruit materialen kunnen vertrekken naar de rest van de fabriek (of toekomen). De afstand die in het algoritme in rekening is gebracht, is de afstand die het minst aantal afgelegde meters opleverde.

Wat opvalt bij de resultaten van de uitwerking, is dat er reeds veel logica in de opbouw van de fabriek te vinden is in de originele situatie. Zo plaatst het algoritme de vakken 2005, 2007 en 2010 op hun oorspronkelijke plaats. Deze vakken vormen toevallig ook de hele afdeling *FFG*. Het vak 0901 wordt ook op exact dezelfde locatie gezet door het algoritme. De plaatsing van de vakken 0701, 0702, 0703, 0704 (welke als één groot vak beschouwd werden bij het uitwerken van het algoritme) en 0801 wordt enkel omgedraaid. Dit is louter het gevolg dat het grote vak 0701-0702-0703-0704 een grotere *flow* heeft met de centrale wasmachine van vak 1202-1203. Tot slot worden vakken 1502, 1804 en 1805 slechts zeer beperkt verplaatst.

Er zijn echter ook beperkingen aan het algoritme. Zo bestaat vak 2006 voor het grootste deel uit een centrale wasmachine die niet verplaatst kan worden, maar ook voor een klein deel uit machines. Die machines mogen wel verplaatst worden. De data die beschikbaar was, maakte het echter niet mogelijk om een onderscheid te maken tussen goederen die naar de centrale wasmachine gingen of goederen die naar die machines gingen. Indien dit wel mogelijk was, volstond het om die machines als een extra vak te beschouwen en zo mee op te nemen in het algoritme. Een tweede beperking aan het algoritme is dat het niet toelaat om vakken te splitsen om zo een betere plaatsing te krijgen. Zo is het bijvoorbeeld aan te raden om vak 1805 op te splitsen in twee aparte delen die drie meter uit elkaar liggen. Op die manier kan een extra gang beschikbaar gemaakt worden voor het vervoer van en naar de voorraad ruwe materialen en is er ook geen gang meer nodig langs de lengte van dit vak. Dit kan een besparing van drie meter opleveren. Een laatste beperking van het algoritme is dat het de afstanden wil minimaliseren, hierdoor was het noodzakelijk om elk product apart te vervoeren tussen de vakken. In VCST worden producten echter per *batch* verpakt. Op die manier kunnen vele producten in één keer vervoerd worden. De volgende sectie geeft een alternatieve oplossing die hier dieper op in gaat.

### **3.4.4 Alternatieve oplossing**

De procentuele verbetering 42.6% is reeds zeer goed, maar weerspiegelt de realiteit niet volledig. De planning die gemaakt wordt voor een product voor 2015 zal immers niet in één maal vervoerd worden en zal ook niet product per product vervoerd worden. Deze producten worden verzameld in *batches* die dan naar de volgende stap in het productieproces gebracht worden. De grootte van een *batch* verschilt van product tot product en van de stap in het productieproces. Het gevolg hiervan is dat om de afstand te bepalen die op jaarbasis wordt afgelegd, het aantal *batches* dat per jaar vervoerd wordt, vermenigvuldigd moet worden met de afstand tussen de vakken. Om met *batches* rekening te houden, moet de doelfunctie van het algoritme worden aangepast van het minimaliseren van de afstand naar het minimaliseren van het aantal keer dat de heftruck moet rijden. Aangezien de grootte van de *batches* verschilt van product tot product én van de stap in productieproces, kan het dus zijn dat dit tot een ander resultaat leidt.



Allereerst moet de data verder uitgebreid worden. Meer specifiek zal Tabel 8 uitgebreid moeten worden met het aantal producten dat per *batch* kan vervoerd worden en het aantal batches dat per jaar vervoerd wordt. Tabel 21 geeft een voorbeeld voor het product 'Tandwiel & Bus Assembly'.

Benaming	Planning 2015	Aantal /batch	Aantal batches	Van vak	Naar vak	Afstand (m)	Afstand/jaar (m)
<b>TANDWIEL &amp; BUS ASSEMBLY</b>	8000	210	39	0203	1703	0	0
	8000	3328	3	5401	1703	72	216
	8000	72	112	1703	1701	65	7280
	8000	72	112	1701	0901	130	14560
	8000	72	112	0901	1302	70	7840
	8000	72	112	1302	5601	655	73360
	8000	192	42	5601	5103	0	0

Tabel 21: uitgebreid productieproces

De eerste kolom van deze tabel geeft de naam weer van het product. Voor elk product dat in VCST gemaakt wordt, is zo een productieproces gegeven. De tweede kolom geeft de schatting weer die VCST heeft gemaakt over het aantal producten dat gemaakt moet worden. Kolom drie geeft per stap in het productieproces weer per hoeveel dat de producten naar het volgende vak getransporteerd worden. De volgende kolom toont dan het aantal verplaatsingen dewelke de heftruck moet doen per jaar voor één stap in het productieproces van een product. Kolommen vijf en zes tonen welke vak tot vak verplaatsing er plaatsvindt en kolom zeven geeft de afstand in meter weer tussen die vakken. In de laatste kolom wordt dan de afstand per meter berekend die een heftruck per jaar moet afleggen.

Wanneer het algoritme wordt opgelost, voor het aantal verplaatsingen dat een heftruck moet doen, valt op dat bij de plaatsing van de vakken de volgorde vanaf het vierde te plaatsen vak anders is dan bij de oplossing in het eerste geval. Concreet worden eerst nog wel vakken 2005, 2007 en 0701234 als eerste geplaatst, maar vanaf dan verandert de volgorde wel volledig. In het uiteindelijke resultaat zijn er slechts vier vakken die op een andere plaats staan. Vakken 1601 en 0203 worden onderling verwisseld ten opzichte van de eerste uitwerking en ook vakken 1703 en 0201 worden verwisseld.

Deze omwisseling leidt tot een intern transport van 6 656 259 m. Wanneer het referentiegetal op deze manier wordt berekend, bedraagt dit 13 625 309 m. Dit komt neer op een procentuele verbetering van 51,1%. Deze procentuele verbetering is nog hoger dan in de eerste uitwerking. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat in deze alternatieve uitwerking nog meer met de realiteit rekening gehouden werd.

Oude situatie	Nieuwe situatie	Procentuele verbetering
13 625 309 meter	6 656 259 meter	51,2

Tabel 22: resultaat alternatieve oplossing

### 3.4.5 Feedback van VCST over de resultaten

Vanuit VCST kwam er feedback op de eerste oplossing van het algoritme. Zo was het ook mogelijk om met VCST bepaalde assumpties te overlopen die gemaakt werden bij het oplossen van het algoritme. Een eerste assumptie die gemaakt werd, was dat bij de verplaatsing van vak 1501 de PIT blok mee verplaatst werd. Dit is geen machine, maar een controlecabine. De nieuwe plaatsing van deze PIT blok was echter vrij ongelukkig, omdat er vanop deze nieuwe positie geen ideaal overzicht is op de fabriek. De huidige plaatsing van deze PIT blok was echter ook niet ideaal. Voor de verplaatsing van vak 1601 werden enkel de machines verplaatst. Dit werd gedaan omdat enkel de machines verantwoordelijk zijn voor een *flow* met andere vakken. Dit vak bestond echter ook nog uit twee andere delen: een RW-blok en een ruimte voor de aanvoer van lege kooien. Voor de aanvoer van lege kooien is er voldoende plaats boven de centrale wasmachine. Dit blijkt een zeer gunstige plaats te zijn, omdat ze zeer centraal gelegen is in de fabriek. Het RW-blok is een blok die instaat voor kwaliteitscontrole. Het blok dat in vak 1601 staat, controleert echter producten die uit vak 1805 komen en in dit vak is voldoende ruimte vrij om dit RW-blok te plaatsen.

De plaatsing van de vakken 1805 en 1804 in de voorziene ruimte voor MA vormde ook geen probleem. Deze ruimte was al met 1000 m<sup>2</sup> overschat en VCST haalde zelf nog aan dat in MA ook ruimte voor verbetering was. Er was slechts één vak waar ze zich niet echt konden vinden bij de nieuwe plaatsing en dat was vak 0202. De reden voor de vreemde plaatsing van dit vak, was dat het een *flow* had met vak 0203, die niet in de BVO (BewerkingsVOLgorde) was opgenomen. Dit was een fout in hun systeem die nu pas aan het licht kwam. Een andere fout die aan het licht kwam, was dat vak 0203 een kompressor bevatte. Dit was eigenlijk een noodkompressor voor als er iets zou gebeuren met de huidige compressoren en mocht ook niet verplaatst worden. De oplossing voor deze problemen kwam er door een machine in vak 1701 die niet meer gebruikt ging worden. Dit vak was geplaatst door het algoritme op de plaats van de noodkompressor. Door de machine die wegvalt, kan de noodkompressor blijven staan en komt er plaats vrij langs vak 0203 om vak 0202 te plaatsen. De impact die deze verandering op het uiteindelijke resultaat zou hebben is niet te bepalen omdat de *flow* tussen vakken 0202 en 0203 niet helemaal gekend is. Vak 0202 heeft immers ook nog een *flow* met vak 2005 en MA. Indien de totale *flow* tussen 0203 en 0202 groter is dan de *flow* tussen 0202 en MA onderling en 0202 en 2005 onderling, zal de verandering waarschijnlijk een positief effect hebben op het uiteindelijke resultaat.

Daarnaast was men ook bij VCST verrast dat enkele grote vakken zoals 2005 en 2007 reeds op de juiste plaats stonden. De nieuwe plaats van vak 1603 was ook een optie die zij reeds overwogen hadden. De verwisseling van vak 0701234 en 0801 vonden ze echter ongelukkig. Deze verwisseling kwam louter en alleen tot stand door de grote *flow* die van 0701234 had met 1302 en dus zo kort mogelijk daarbij geplaatst moest worden volgens het algoritme. VCST stelde dan ook de vraag wat de impact zou zijn op het intern transport om deze vakken op hun originele plaats te laten staan. Dit had een positief effect op het intern transport van 60 086 010 m. Deze verbetering komt tot stand omdat de afstand van vak 071234 tot vak 1302 gelijk blijft en de afstand tot vakken 0501, 0601 en MA (waar 0701234 zeer grote flows mee heeft) vermindert. Deze vakken omwisselen en dus hun originele positie behouden, heeft ook een positief effect op de

investeringsanalyse die in de volgende sectie overlopen zal worden. Voor de alternatieve oplossing heeft deze verwisseling een gelijkaardig positief effect:

	<b>Originele uitwerking</b>	<b>Alternatieve uitwerking</b>
<b>Voor omwisseling</b>	6 804 496 meter	6 656 259 meter
<b>Na omwisseling</b>	6 558 949 meter	6 411 240 meter
<b>Verschil</b>	245 547 meter	245 019 meter

Tabel 23: omwisseling 0701234 en 0801

In Tabel 23 worden enkel de resultaten opgenomen die de verplaatsingen per *batch* weergeven, omdat dit het beste overeenstemt met de realiteit.

### 3.4.6 Investeringsanalyse

In deze sectie zal de besparing in afgelegde meters worden uitgedrukt in kosten. Op deze manier kan dan de terugverdientijd berekend worden. Samenvattend wordt in Tabel 24 een overzicht gegeven van de verschillende afstanden van de huidige situatie, de afstanden die verkregen zijn door de originele uitwerking van het algoritme en de afstanden zoals uitgekomen door de alternatieve uitwerking per batch:

	<b>Huidige situatie</b>	<b>Originele uitwerking</b>	<b>Alternatieve uitwerking</b>
<b>Afstand voor één voor één verplaatsingen</b>	2 078 741 258 meter	1 193 024 726 meter	1 194 614 863 meter
<b>Afstand voor verplaatsingen per batch</b>	13 625 309 meter	6 804 496 meter	6 656 259 meter

Tabel 24: overzicht resultaten

Om een terugverdientijd te berekenen wordt door VCST de gemiddelde kost gegeven die een heftruck met zich meebrengt wanneer deze één meter aflegt. Op basis van deze kost kan de besparing berekend worden die per jaar zal gerealiseerd worden door de oplossing van het algoritme toe te passen. De kosten worden gegenereerd door het verplaatsen van de vakken. Elk vak bestaat uit een aantal machines en de gemiddelde kost om één enkele machine te verplaatsen bedraagt € 2500. Om de totale kost van de investering te bepalen, wordt per vak berekend hoeveel machines er aanwezig zijn en wordt er gekeken of het vak al dan niet verplaatst wordt ten opzichte van de huidige situatie. Tabel 25 geeft hiervan een schematisch overzicht van de originele uitwerking:

Vak	Aantal machines	Verplaatst	Kost/machine	Tot. Investering
0101	11	ja	€ 2 500,00	€ 425 000,00
0102	10	ja		
0201	4	ja		
0202	4	ja		
0203	2	ja		
2008	15	ja		
2005	25	nee		
2007	27	nee		
2010	9	nee		
0901	7	nee		
0801	8	ja		
0701234	31	ja		
1201	3	ja		
1501	4	ja		
1502	9	ja		
1603	8	ja		
1602	14	ja		
1701	9	ja		
1601	5	ja		
2001	4	ja		
1703	10	ja		
1805	11	ja		
2202	1	ja		
1804	7	ja		

Tabel 25: berekening investeringskost

De eerste drie kolommen geven aan hoeveel machines er per vak zijn en of deze al dan niet verplaatst worden. De vierde kolom geeft de gemiddelde prijs om een machine te verplaatsen en in de laatste kolom wordt de totale investeringskost berekend door enkel de kosten in beschouwing te nemen van vakken die ten opzichte van de huidige situatie verplaatst worden. Vervolgens kan de terugverdientijd berekend worden. Dit wordt weergegeven in de volgende tabellen:

	Aantal m/j	Kost/meter	Kost/jaar
Huidig transport	13 625 309	€ 0,0081	€ 110 365,00
Verbeterd transport	6 804 496	€ 0,0081	€ 55 116,42

Tabel 26: verschil in kosten

<b>Besparing/jaar</b>	<b>€ 55 248,59</b>
Tot. Investering	€ 425 000,00
Terugverdiëntijd (in jaren)	7,69

Tabel 27: kosten, opbrengsten en terugverdiëntijd

<b>Investeringsanalyse</b>	
jaar	bedrag
<b>0</b>	€ -425 000,00
<b>1</b>	€ -369 751,41
<b>2</b>	€ -314 502,83
<b>3</b>	€ -259 254,24
<b>4</b>	€ -204 005,65
<b>5</b>	€ -148 757,06
<b>6</b>	€ -93 508,48
<b>7</b>	€ -38 259,89
<b>8</b>	€ 16 988,70

Tabel 28: cumulatieve kosten en opbrengsten

Tabel 26 berekent de kostenbesparing die ontstaat door het originele algoritme toe te passen. Deze besparing wordt berekend op het aantal *batches* dat verplaatst wordt, omdat dit het best overeen komt met de realiteit. In Tabel 27 worden de besparingen en de investeringen tegenover elkaar gezet en wordt een terugverdiëntijd berekend. Deze terugverdiëntijd, uitgedrukt in aantal jaren, wordt berekend aan de hand van Tabel 28, waar de kosten en opbrengsten cumulatief worden weergegeven. Voor de originele uitwerking van het algoritme zijn er dus zeven jaar en acht maanden nodig om de investering terug te verdienen. Tabel 29 geeft een overzicht van de verschillende terugverdiëntijden:

<b>Terugverdiëntijd</b>	
<b>Originele uitwerking</b>	7,69 jaar
<b>Originele uitwerking met omwisseling 0701234 en 0801</b>	5,72 jaar
<b>Alternatieve uitwerking</b>	7,52 jaar
<b>Alternatieve uitwerking met omwisseling 0701234 en 0801</b>	5,6 jaar

Tabel 29: verschillende terugverdiëntijden

In deze sectie werd allereerst het probleem onderworpen aan een analyse om het oplossen van het algoritme te vereenvoudigen. Zo werden bepaalde vakken samengevoegd tot één vak en andere vakken werden reeds vast bepaald. Daarna werd de uitwerking gegeven van het algoritme en werden de resultaten hiervan besproken. Vervolgens werd een alternatieve oplossing besproken die tot betere resultaten leidt en werd de feedback van VCST verwerkt. De terugverdiëntijd van dit project ligt tussen de vijf en de acht jaar. Voor grote projecten hanteert VCST echter een

terugverdientijd van twee jaar. De lay-out zoals aangegeven door de toepassing van het algoritme van Gibson en Welgama (1993) zal dus, ondanks de hoge jaarlijkse kostenbeparing, niet passen in de strategie van VCST. De lagere terugverdientijden met de omwisseling van vak 0701234 en vak 0801 zijn te wijten aan het feit dat er veel minder machines moeten verplaatst worden én dat het een beter resultaat geeft in afstanden die moeten afgelegd worden. Tabel 30 is een samenvatting van beide uitwerkingen:

	<b>Originele uitwerking</b>	<b>Alternatieve uitwerking</b>
<b>Criterium</b>	Minimalisatie van de afstand	Minimalisatie van het aantal verplaatsingen
<b>Procentuele verbetering</b>	50,1 %	51,2 %
<b>Procentuele verbetering na feedback</b>	51,9 %	52,9 %
<b>Terugverdientijd</b>	7,96 jaar	7,52 jaar
<b>Terugverdientijd na feedback</b>	5,72 jaar	5,60 jaar
<b>Pluspunt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrale plaats voor de aanvoer van lege kooien</li> <li>Hoge verbetering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beste resultaat</li> <li>Meest realistische uitwerking</li> </ul>
<b>Minpunten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terugverdientijd is te hoog</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terugverdientijd is te hoog</li> <li>Geen centrale plaats voor aanvoer lege kooien</li> </ul>

**Tabel 30: vergelijkende tabel van beide uitwerkingen**

## 4 Conclusie

In deze thesis werd het onderwerp van het *facility layout* probleem onderzocht. Het was een specifieke toepassing van het probleem op de situatie van het bedrijf VCST te Sint-Truiden. Het bedrijf is een specialist in het produceren van remonderdelen voor ABS, motoronderdelen en transmissieonderdelen. De literatuurstudie gaf een beschrijving van kenmerken die belangrijk zijn voor het formuleren van zulke problemen en er werd een constructiealgoritme gevonden dat kon worden toegepast op de specifieke *case* van deze thesis. Na het aanpassen en uitbreiden van het model, de doelfunctie en de beperkingen werd overgegaan tot het oplossen van de *case* van VCST. De resultaten wezen uit dat er reeds een logische plaatsing van de vakken aanwezig was binnen de productiefabriek. Een aantal vakken werd immers op dezelfde locatie geplaatst en andere vakken werden dan weer zeer kort bij hun huidige plaats gelokaliseerd. Desondanks leverde de uitwerking van het algoritme een verbetering op ten opzichte van de huidige situatie. Indien de plaatsing van de vakken zou gebeuren zoals het constructiealgoritme uitwijst, zal er een besparing van ongeveer 50% mogelijk zijn in het intern transport. Indien ook de kosten in rekening werden gebracht, kon een terugverdientijd berekend worden. Voor de verschillende uitwerkingen en feedback van VCST varieerde de terugverdientijd tussen 5,6 jaar en 7,96 jaar.

### 4.1 Beperkingen van het onderzoek

Deze thesis heeft ook zijn beperkingen. Vakken die voor meerdere functies gebruikt worden en waar geen data voor handen is om die verschillende functies van elkaar te scheiden, kunnen niet optimaal geplaatst worden. Indien de data voor de verschillende functies wel voor handen is, konden dergelijke vakken opgesplitst worden in meerdere vakken die dan apart geplaatst kunnen worden. Vakken worden ook als een geheel beschouwd in dit algoritme, terwijl het voordeliger kan zijn om in bepaalde gevallen de vakken op te splitsen. Op die manier kunnen er gangen vrijkomen of overbodige gangen geëlimineerd worden. Het algoritme is ook een keer vastgelopen, waardoor een extra stap moest ingevoegd worden. Door enkel vakken in beschouwing te nemen die een *flow* hebben met het te plaatsen vak, is het mogelijk dat de ruimte rondom alle mogelijke vakken is opgebruikt. Indien dit het geval is, worden vakken handmatig zo kort mogelijk geplaatst bij de vakken waar ze een grote *flow* mee hebben. Verder is een constructiealgoritme ook een relatief eenvoudige manier om dit probleem op te lossen. Er bestaan veel complexere methodes zoals de verbeteringsmethodes en metaheuristieken die aangehaald werden in de literatuurstudie.

### 4.2 Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Bemerkingen over toekomstig onderzoek kunnen opgesplitst worden in twee delen. Een eerste richting van toekomstig onderzoek heeft betrekking op VCST zelf. Door het toepassen metaheuristieken zoals *simulated annealing* of het genetisch algoritme op de *case* van VCST kunnen misschien betere resultaten bekomen worden. Bijlangrijk om te vermelden is het hybride algoritme dat Deb en Bhattacharyya (2005). Ze maken hierin gebruik van de input van een goede

oplossing als eerste oplossing van een *simulated annealing* algoritme om snel tot goede oplossingen te komen. Het resultaat van deze thesis kan als input dienen voor dit model, dat dezelfde probleemkenmerken behandelt als Gibson en Welgama (1993). Andere punten voor toekomstig onderzoek binnen VCST hebben betrekking op de organisatie van de productie. Zo zijn er zeker verbeteringen mogelijk wanneer binnen de vakken afzonderlijk gezocht wordt naar een optimale plaatsing van de machines. Er zijn ook nog vakken die lege oppervlaktes hebben en die niet door het algoritme gebruikt zijn. Dit kan betekenen dat de ruimte binnen de vakken nog geoptimaliseerd kan worden. Men kan ook de beperking van de vak tot vak afstanden elimineren en enkel de machines beschouwen. Indien enkel naar de machines gekeken wordt, zal er een zeer nauwkeurige plaatsing kunnen gebeuren en zal de hele ruimte optimaal in gebruik genomen worden. Een tweede richting voor verder onderzoek is academisch gericht. Hoewel reeds zeer veel onderzoek gedaan is naar het *facility layout* probleem en heel wat verschillende oplossingsmethodes besproken en ontwikkeld werden, zijn er zeer weinig methodes die realistische cases behandelen. De meeste methodes die gevonden worden, worden getest op test cases en dan vergeleken met andere methodes. Een laatste nadeel van het huidige onderzoek is dat veel methodes hun kracht verliezen wanneer het probleem groter wordt. Grote problemen kunnen meestal niet of niet binnen afzienbare tijd goed opgelost worden.



## 5 Literatuurlijst

Anstreicher, K.M. (2003). Recent advances in the solution of quadratic assignment problems. *Mathematical Programming, Vol. 97 (1-2)*, 27-42.

Belgium | VCST Industrial Products, (n.d.). Geraadpleegd op 3 april 2014, van <http://www.vcst.com/belgium-0>

Benjaafar, S., Sheikhzadeh, M. (2000). Design of flexible plant lay-outs. *IIE Transactions, Vol. 32 (4)*, 309-322.

Bozer, Y. A., Meller, R. D., & Erlebacher, S. J. (1994). An improvement-type lay-out algorithm for single and multiple-floor facilities. *Management Science, Vol. 40(7)*, 918-932.

Chase, R.B., Jacobs, F.R. (2011). Operations and supply chain management (global edition). New York, NY: McGraw-Hill.

Company | VCST Industrial Products, (n.d.). Geraadpleegd op 3 april 2014, van [www.vcst.com/company](http://www.vcst.com/company)

Deb, S.K., Bhattacharyya, B. (2005). Solution of facility layout problems with pickup/drop-off locations using random search techniques. *International Journal of Operations Research, Vol. 43 (22)*, 4787-4812.

Drira, A., Pierreval, H. & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: a review. *Annual reviews in control, Vol. 31*, 255-267.

Gibson, P.R., Welgama, P.S. (1993). A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick-up and drop-off points. *International Journal of Production Research, Vol. 31 (11)*, 2575-2590.

Hernandez, L.G. (2011). Genetic approaches for the unequal area facility layout problem. *Niet-gepubliceerde doctoraatsthesis*, Universidad de Cordoba, 172 p.

Hillier, F.S., Lieberman, G.J. (2010). *Introductions to Operations Research* (9th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

History | VCST Industrial Products, (n.d.). Geraadpleegd op 3 april 2014, van [www.vcst.com/history](http://www.vcst.com/history)

- Jeong, H.S., Lee, K.Y., Roh, M.I. (2005). An improved genetic algorithm for multi-floor facility problems having inner structure walls and passages. *Computers & Operations Research*, Vol. 32, 879 – 899.
- Kim, J.G., Kim, Y.D. (2000). Layout planning for facilities with fixed shapes and input and output points. *International Journal of the operational research society*. Vol. 38 (18), 4635 – 4653.
- Koopmans, T. C. & Beckmann, M. (1957). Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica*, Vol. 25 (1), 53–76.
- Lacksonen, T. A. (1997). Preprocessing for static and dynamic facility layout problems. *International Journal of Production Research*, Vol. 35 (4), 1095–1106.
- Lacksonen, T.A., Ensore JR., E. (1993). Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem. *International Journal of Production Research*, Vol. 31 (3), 503-517.
- Lee, G. C., Kim, Y. D. (2000). Algorithms for adjusting shapes of departments in block layouts on the grid-based plane. *Omega*, Vol.28 (1),111–122.
- Lee, Y. H., Lee, M. H. (2002). A shape-based block layout approach to facility layout problems using hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 42, 237–248.
- Loiola, E.M., Abreu, N.M.M., Boaventura-Netto, P.O., Hahn, P., Querido, T. (2007). A survey for the quadratic assignment problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, 657-690.
- McKendall, A.R., Liu, W. (2012). New Tabu search heuristics for the dynamic facility layout problem. *International Journal of Production Research*, Vol. 50 (3), 867-878.
- Meller, R. (1997). The multi-bay manufacturing facility layout problem. *International Journal of Productions Researc*, Vol. 35 (5), 1229 – 1237.
- Meller, R. D., Narayanan, V. & Vance, P. H. (1999). Optimal facility layout design. *Operations Research Letters*, Vol. 23(3–5), 117–127.
- Palubeckis, G. (2012). A branch-and-bound algorithm for the single-row equidistant facility layout problem. *OR Sprectrum*, Vol. 34 (1), 1 – 21.
- Peng, T., Huanchen, W., Dongme, Z. (1996). Simulated annealing for the quadratic assignment problem: A further study. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 31 (3-4), 925-928.
- Singh, S.P., Sharma, R.R.K. (2005). A review of different approaches to the *facility layout* problems. *International Journal of advanced manufacturing Techonology (2006)*, Vol. 30, 425-433.

Singh, S.P., Singh, V.K. (2010). An improved heuristic approach for multi-objective *facility layout* problem. *International Journal of Production Research*, Vol. 48 (4), 1171-1194.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M., & Trevino, J. (1996). *Facilities planning*. New York: Wiley.

Ye, M., Zhou, G. (2007). A local genetic approach to multi-objective, *facility layout* problems with fixed aisles. *International Journal of Production Research*, Vol. 45 (22), 5243 – 5264.



# Bijlages

## Bijlage A: Het aangepast algoritme, inclusief beperkingen

### Stap 1

Definieer:

$L$  = Lengte fabriek,

$W$  = breedte fabriek,

$n_f$  = aantal vakken dat reeds vast staat,

$S$  = verzameling van alle geplaatste vakken,

$N$  = totaal aantal vakken,

Indien  $n_f = 0$ , ga verder met stap 2. Indien  $n_f$  verschillend is van 0, ga verder met stap 3.

### Stap 2

Selectie van het eerste vak. Dit is het vak dat de meeste interacties heeft met de andere vakken:

$$flow(k) = \max\{flow(i) \mid \forall i = 1, 2, \dots, N\}$$

$$\text{met } flow(i) = \sum_i flowcount(i, j)$$

$$\text{en } flowcount(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{als } f_{ij} + f_{ji} > 0 \\ 0 & \text{als } f_{ij} + f_{ji} \leq 0 \end{cases}$$

Vraag vervolgens na of er een verkozen plaats is voor dit vak. Indien niet, plaats het vak dan horizontaal in het midden van de fabriek. Bereken de  $x$  en  $y$  coördinaten van de linkerbovenhoek en rechteronderhoek.

Update  $S$ ,

stel  $n_f = n_f + 1$ .

Ga verder met stap 3.

### Stap 3

Selectie van het volgende vak. Dit is vak met de grootste  $flow$  met de vakken in  $S$ . Het volgende vak is vak  $p$  waarvoor geldt:

$$\sum_{j \in S} (f_{jp} + f_{pj}) = \max\left\{ \sum_{j \in S} (f_{ij} + f_{ji}) \mid i \text{ niet in } S \right\}$$

In de eerste som wordt de goederenflow van vak  $p$  berekend met elk vak dat reeds geplaatst is. Om vak  $p$  te selecteren wordt in de tweede som de goederenstroom tussen alle reeds geplaatste vakken  $j$  en alle vakken  $i$  die nog geplaatst moeten worden, berekend. Het maximum daarvan zal vak  $p$  worden.

**Stap 4:**

Plaatsingsprocedure van het volgende vak  $p$ . Selecteer in  $S$  het vak waarbij vak  $p$  de grootste *flow* heeft:

$$f_{jp} + f_{pj} = \max\{f_{ip} + f_{pi} \mid \forall i \in S\}$$

Het vak  $p$  wordt tegen (of zo kort mogelijk tegen) vak  $j$ .

**Stap 5:**

Kijk na of de oppervlakte van vak  $p$  kleiner of gelijk is dan de vrije oppervlakte in vak  $j$ . Indien ja, ga verder met stap 6. Indien nee, ga verder met stap 7.

**Stap 6:**

**6.1** kijk de lengte en breedte van het te plaatsen vak  $p$  na om het in vak  $j$  te passen. Indien het past, ga verder met stap 10. Indien niet, ga verder met stap 6.2,

**6.2** draai het te plaatsen vak 90 graden. Kijk de lengte en breedte van het te plaatsen vak  $p$  na om het in vak  $j$  te passen. Indien het past, ga verder met stap 10. Indien niet, ga verder met stap 7.

**Stap 7:**

**7.1** kies de linkerbovenhoek van vak  $j$  als eerste kandidaat-punt  $c$  om vak  $p$  te plaatsen. Ga verder met stap 8,

**7.2** kies de rechterbovenhoek van vak  $j$  als tweede kandidaat-punt  $c$  om vak  $p$  te plaatsen. Ga verder met stap 8,

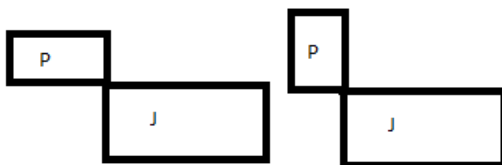
**7.3** kies de rechteronderhoek van vak  $j$  als derde kandidaat-punt  $c$  om vak  $p$  te plaatsen. Ga verder met stap 8,

**7.4** kies de linkeronderhoek van vak  $j$  als laatste kandidaat-punt  $c$  om vak  $p$  te plaatsen. Ga verder met stap 8.

**Stap 8**

**8.1** plaats vak  $p$  horizontaal in  $c$  zodat de rechteronderhoek van vak  $p$  samenvalt met  $c$ . Bereken de  $x$  en  $y$  coördinaten en ga verder met stap 9,

**8.2** Herhaal stap 8.1 met verticale oriëntatie,



**Figuur 6: stappen 8.1 en 8.2**

**8.3** plaats vak  $p$  horizontaal in  $c$  zodat de rechterbovenhoek van vak  $p$  samenvalt met  $c$ . Bereken de  $x$  en  $y$  coördinaten en ga verder met stap 9,

**8.4** Herhaal stap 8.3 met verticale oriëntatie,



**Figuur 7: stappen 8.3 en 8.4**

**8.5** plaats vak  $p$  horizontaal in  $c$  zodat de linkerbovenhoek van vak  $p$  samenvalt met  $c$ .  
Bereken de  $x$  en  $y$  coördinaten en ga verder met stap 9,

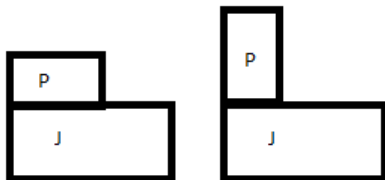
**8.6** Herhaal stap 8.5 met verticale oriëntatie,



**Figuur 8: stappen 8.5 en 8.6**

**8.7** plaats vak  $p$  horizontaal in  $c$  zodat de linkeronderhoek van vak  $p$  samenvalt met  $c$ .  
Bereken de  $x$  en  $y$  coördinaten en ga verder met stap 9,

**8.8** Herhaal stap 8.7 met verticale oriëntatie,



**Figuur 9: stappen 8.7 en 8.8**

**8.9** Ga verder naar stap 11.

### Stap 9

Kijk alle beperkingen na. Indien geen enkele beperking geschonden wordt, ga verder naar stap 10. Indien er wel een beperking geschonden wordt, ga verder met de volgende tussenstap van stap 8.

### Stap 10

Bereken de waarde van de doelfunctie. Indien de waarde beter is dan de vorige beste waarde, bewaar dan de huidige oriëntatie en stel de nieuwe waarde van  $Z$  nu gelijk aan de beste doelfunctiewaarde. Ga terug naar de volgende tussenstap van stap 8.

### Stap 11

Ga verder de volgende tussenstap in stap 7. Indien alle tussenstappen overlopen zijn, ga dan verder met stap 12.

### Stap 12

Selecteer het vak in  $S$  met de volgende grootste goederenflow. Ga verder met stap 5. Indien alle vakken in  $S$  overlopen, ga dan verder met stap 13. Beschouw enkel de vakken in  $S$  die een *flow* hebben met het volgende te plaatsen vak  $p$ .

### Stap 13

Indien geen enkele mogelijkheid past om het volgende vak  $p$  te plaatsen, plaats het dan handmatig zo kort mogelijk met het reeds geplaatste vak dat de grootste *flow* heeft met vak  $p$ .

### Stap 14

Plaats het geselecteerde vak  $p$  op de locatie die de beste doelfunctiewaarde  $Z$  geeft.

Update  $S$ ,

Stel  $n_f = n_f + 1$ ,

Ga verder met stap 3,

Stop het algoritme wanneer  $n_f = N$ .

### 1<sup>ste</sup> beperking:

De totale lengte en breedte van de aangrenzende vakken mag de lengte en breedte van de fabriek niet overschrijden.

### 2<sup>de</sup> beperking:

Geen enkel vak mag overlappen met een ander vak, tenzij het volledig binnen de vrije ruimte van het reeds geplaatste vak past.

$$\text{either } (X_{jt} - X_{ib}) \times (X_{jb} - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$\text{or } (Y_{jt} - Y_{ib}) \times (Y_{jb} - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Waarbij  $(x_i^B, y_i^B)$  en  $(x_j^B, y_j^B)$  de coördinaten van de rechteronderhoek zijn van respectievelijk vak  $i$  en vak  $j$ .  $(x_i^T, y_i^T)$  en  $(x_j^T, y_j^T)$  zijn de coördinaten van de linkerbovenhoek van respectievelijk vak  $i$  en vak  $j$ .

### 3<sup>de</sup> beperking

De brandweg, die vastligt, moet volledig vrij blijven. Deze weg is vier meter breed. De coördinaten van de linkerbovenhoek en rechteronderhoek zijn respectievelijk  $(0, 132)$  en  $(160, 128)$ , wat tot de volgende beperking leidt:

$$\text{either } (0 - X_{ib}) \times (160 - X_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$\text{or } (132 - Y_{ib}) \times (128 - Y_{it}) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

### 4<sup>de</sup> beperking

Elk vak moet minstens aan één gang grenzen van drie meter breed.



### 5<sup>de</sup> beperking

Vakken mogen niet voor een poort liggen. Er zijn momenteel acht poorten, waarvan zeven in gebruik zijn. Poort nummer zeven is op dit moment niet in gebruik, maar kan wel terug in gebruik genomen worden. De coördinaten van de poorten worden in Tabel 31 weergegeven:

Poortnummer	1 <sup>ste</sup> coördinaat	2 <sup>de</sup> coördinaat
1	(168;132)	(168; 128)
2	(168;36)	(168;33)
3	(144; 0)	(141; 0)
4	(96; 0)	(93; 0)
5	(48; 0)	(45; 0)
6	(27; 4,11)	(24; 4,11)
7	(0; 96)	(0; 99)
8	(0; 132)	(0; 128)

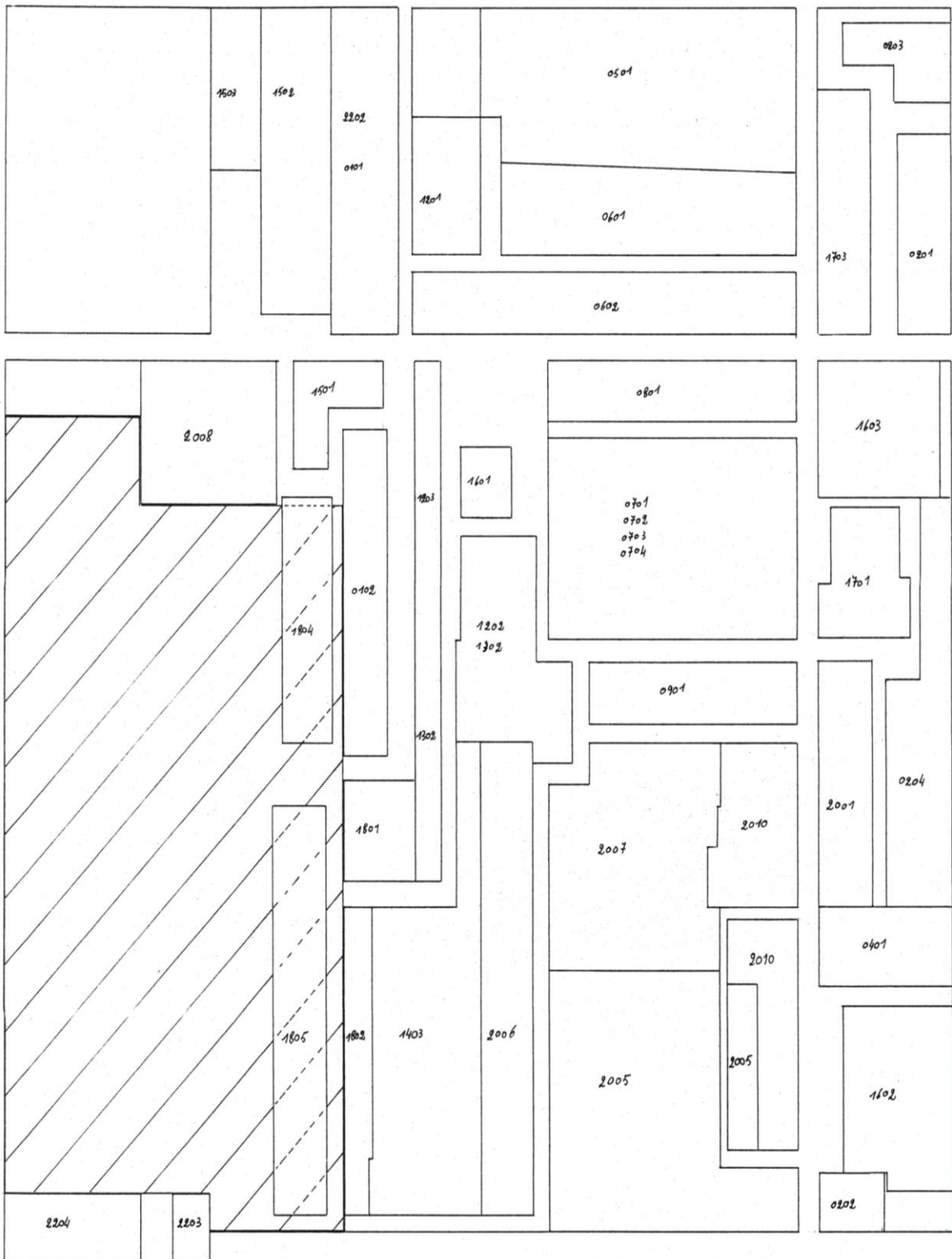
**Tabel 31: coördinaten van de poorten**

Er zijn twee coördinaten voor elke poort, één om het begin aan te duiden en één om het einde aan te duiden. Een poort heeft altijd dezelfde breedte als een gang, dus drie meter voor een gewone gang en vier meter voor de brandgang.

### 6<sup>de</sup> beperking

De plaats die voorzien is voor de afzuiging en recyclage van olie, moet vrij blijven.

## Bijlage B: Nieuwe layout VCST volgens originele uitwerking



Figuur 10: tekening nieuwe layout volgens de originele uitwerking van het algoritme

## Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Het optimaliseren van interne goederenbewegingen bij VCST**

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:  
handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Tuts, Dimitri**

Datum: **1/06/2014**