

2014•2015
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Werknemersflexibiliteit in een Dual-Resource Constrained productiesysteem:
een simulatie - optimalisatie kader

Promotor :
Prof. dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
Mevrouw Hanne POLLARIS

Thomas Willekens

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

2014•2015
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Werknemersflexibiliteit in een Dual-Resource Constrained
productiesysteem: een simulatie - optimalisatie kader

Promotor :
Prof. dr. Katrien RAMAEKERS

Copromotor :
Mevrouw Hanne POLLARIS

Thomas Willekens

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

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur met als afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek aan de Universiteit Hasselt. De opleidingsonderdelen waarin simulatie van (productie)systemen aan bod kwam, hebben de interesse voor dat onderwerp aangewakkerd. Het bestuderen van en zoeken naar een optimale werknemersflexibiliteit in een productiesysteem kadert niet enkel binnen mijn afstudeerrichting en het domein logistiek, maar speelt ook een zeer belangrijke rol in het huidige bedrijfsleven. Planning en allocatie van bedieningseenheden hebben een belangrijk aandeel in de concurrentiepositie van ondernemingen. In dat opzicht was de analyse van een Dual Resource Constrained systeem in deze masterproef een leerrijke gebeurtenis.

Het schrijven van een masterproef verloopt uiteraard niet zonder slag of stoot. Ik wil daarom van deze gelegenheid gebruik maken om alle personen te bedanken die hebben bijgedragen tot de realisatie van deze masterproef.

Vooreerst wil ik graag mijn oprechte dank betuigen aan mijn promotor prof. dr. Katrien Ramaekers en mijn co-promotor mevrouw Hanne Pollaris. Hun begeleiding, deskundig advies en constructieve feedback gedurende de afgelopen twee academiejaren waren ontzettend belangrijk. Verder wil ik mijn naaste familieleden en vrienden bedanken voor de steun, de aanmoedigingen en het vertrouwen. Tot slot ook nog een speciaal dankwoord aan mijn ouders omdat zij mij de mogelijkheid hebben gegeven om deze studie aan te vatten.

Thomas Willekens

Mol, mei 2015

Samenvatting

Vandaag bekampen veel ondernemingen problemen zoals het inplannen van werknemers en het rangschikken van producten in het productieproces. Trends van de laatste jaren zorgen voor meer flexibele en klantgerichte productiesystemen. Klanten hebben hoge verwachtingen in verband met service, kwaliteit en leversnelheid. Begrippen zoals levertijd, doorlooptijd, veiligheidsvoorraad, lotgrootte zijn voor ondernemingen niet meer weg te denken. Die factoren hebben een invloed op de klanttevredenheid en winstgevendheid van ondernemingen.

Hoe gaan ondernemingen optimaal produceren indien de vraag plotseling de productiecapaciteit of doorloopcapaciteit overstijgt? Dienen ondernemingen te anticiperen? Welke orders krijgen voorrang zodat de einddatum gerespecteerd wordt? Een van de belangrijkste doelstellingen van een onderneming is het op tijd leveren van de goederen aan de klant. Dat is een zeer belangrijke factor om de klanttevredenheid te behouden en de bedrijfsreputatie te waarborgen. Ondernemingen kunnen klanten aantrekken door bijvoorbeeld een kortere levertijd te beloven ten opzichte van de concurrent, maar eenmaal ze die einddatum afgesproken hebben, dienen ze die ook na te leven.

Werknemersflexibiliteit is een concept dat voor bovenstaande uitdagingen een oplossing biedt. Door werknemers op een flexibele manier in het productieproces in te schakelen, wordt planning nog belangrijker. Werknemersflexibiliteit kan de *bottleneck* ontlasten en biedt de mogelijkheid om in te spelen op een veranderende vraag. Dual Resource Constrained (DRC) systemen voorzien dat werknemers kunnen getransfereerd worden naar machines waar op dat moment arbeid vereist is. Een DRC-systeem gebruikt dus niet te allen tijde al zijn machines, maar zet zijn arbeiders flexibel in. De optimale planning nastreven gebeurt mede door rekening te houden met de unieke eigenschappen van de machines en werknemers.

Eerst wordt het belang van een sterke organisatiecultuur aangetoond. In DRC-systemen krijgen werknemers veel training om hun taken volgens de bedrijfsnormen uit te voeren. Veel training geven aan de werknemers is een van de kenmerken van “de lerende onderneming”. Dat type ondernemingen heeft als doel de werknemers meer te betrekken bij het productieproces om de productiviteit, en daarbij de klantensatisfactie, te laten stijgen en een sterke bedrijfscultuur te ontwikkelen. Het aanmoedigen van werknemers, het beslissingsproces en de verantwoordelijkheden van werknemers zijn een onderdeel van zo’n ‘strategie’. Werknemers worden dus steeds meer gezien als mensen, als deel van het gebeuren en minder vaak als een machine die slechts één taak uitvoert. Dergelijke cultuur vereist samenwerking en flexibiliteit om aan de behoeften van werkgever en werknemer te voldoen.

Ondernemingen die een DRC-systeem in een productieproces implementeren, voeren verandering door. Dat betekent dat de organisatie zich steeds zal aanpassen aan veranderende omstandigheden, uitgangspunten of doelstellingen om zo de efficiëntie en effectiviteit te doen toenemen. Het is belangrijk de werknemers bij verandering te betrekken.

DRC-systemen kennen vijf dimensies (vrijgave van taken, werknemersflexibiliteit, toewijzingsregels, transferkosten en wachtrijtheorieën) waarop beslissingen binnen een onderneming met DRC-systemen gebaseerd zijn. Voornamelijk ligt de focus op de verduidelijking van flexibiliteit en toewijzingsregels. De toewijzingsregels worden onderverdeeld in drie grote groepen: wanneer-regels, waar-regels en wie-regels.

De voordelen van het implementeren van werknemersflexibiliteit zijn groter dan de nadelen ervan. Hierna volgt een overzicht van de voornaamste voor- en nadelen. De werknemersflexibiliteit, de efficiëntie, de productkwaliteit, de capaciteit en de bezettingsgraad nemen toe. De werknemers kunnen bijspringen in bepaalde werkstations als ze in hun eigen werkstation een bepaalde tijd inactief zijn. Daardoor zal de totale productiviteit verhogen. Een ander voordeel is dat de doorlooptijd per product zal verminderen. Dat betekent dat producten sneller aan de klant worden afgeleverd. Cross-training biedt werknemers de mogelijkheid om flexibeler te worden. Ze zullen meer vaardigheden ontwikkelen die ook buiten hun job van belang zijn. De invoering van een DRC-systeem brengt voor een onderneming echter ook een aantal nadelen met zich mee. Zo dienen investeringen voor flexibiliteit gemaakt te worden. Veel flexibiliteit vereist veel cross-training, dus veel kosten. Zolang de werknemers niet over de juiste vaardigheden beschikken, kan de invoering van een DRC-systeem niet van start gaan. Het verlies in tijd is wel veel kleiner als voor geen flexibiliteit voor de meeste werknemers en veel flexibiliteit voor een kleiner aantal werknemers geopteerd wordt in plaats van voor weinig flexibiliteit voor alle werknemers. Te veel cross-training leidt wel tot een grote stijging van de kosten, een daling van de kwaliteit en een verandering in het gedrag van werknemers. Door het switchen tussen verschillende taken kunnen werknemers bijgevolg op een plaats staan waar ze de taak niet zo goed kunnen als op een andere plaats. De specialist van vroeger dreigt ook veel aan motivatie te verliezen omdat meer en meer andere werknemers de unieke functie nu ook kunnen uitvoeren.

Een productiesysteem waarbij verschillende DRC-systemen worden uitgetest, wordt gesimuleerd om de theoretische bevindingen toe te passen. De allocatie van werknemers aan de verschillende werkstations is daarin de cruciale factor. Elk alternatief scenario weerspiegelt een mogelijk DRC-systeem. Die alternatieven vormen de basis om met de oorspronkelijke, niet DRC, situatie te vergelijken en uiteindelijk een beslissing te nemen. Het opstellen van de alternatieven gebeurt op

basis van de literatuur. Om de optimale werknemersflexibiliteit te bepalen in het simulatiemodel dienen verschillende scenario's met verschillende trainingsschema's vergeleken te worden. In ieder scenario hebben werknemers een specifieke flexibiliteit. De werknemers beschikken dus over een aantal vaardigheden. Met elke vaardigheid kunnen de werknemers een taak in het productieproces uitvoeren. De tewerkstelling in een werkstation vereist de kennis van een specifieke taak. De vergelijking gebeurt op basis van drie verschillende onderzoeksvariabelen. De belangrijkste daarvan is de gemiddelde doorlooptijd per product. De doorlooptijd is de gemiddelde totale tijd die een entiteit in het systeem doorbrengt. Die maatstaf zal gebruikt worden om aan te duiden welk scenario beter is indien enkel naar het simulatiemodel gekeken wordt. De wachtrijen in de werkstations en de benuttingsgraad van iedere werknemer worden als ondersteunende onderzoeksvariabelen beschouwd. Die variabelen leveren een bijkomend argument om de keuze voor een bepaald scenario te staven. Om te bepalen of het ene scenario effectief verschilt van het andere scenario wordt gebruik gemaakt van een statistische analyse. Met behulp van 95% betrouwbaarheidsintervallen worden de onderzoeksvariabelen van de verschillende scenario's vergeleken met die van het basisscenario. Ook worden de scenario's onderling vergeleken.

Het scenario met een werknemersflexibiliteit van gemiddeld 1,67 wordt daarna aangeduid als het voordeligste scenario voor het onderzochte productieproces. Hier hebben niet alle werknemers dezelfde flexibiliteit. Vier werknemers kunnen elk aan de slag in twee verschillende werkstations. Ze hebben daardoor alle vier een flexibiliteit van twee. De andere twee werknemers kunnen elk daarentegen slechts aan de slag in één werkstation. Ze hebben daardoor beiden een flexibiliteit van één. De mix van flexibiliteit zorgt dat in werkstation drie en werkstation zes de productielijn niet vertraagt. Het scenario heeft een zeer lage doorlooptijd, gebruikt alle aangeleerde vaardigheden, bevat voldoende flexibiliteit om onregelmatigheden op te vangen en leidt tot de laagste bijkomende kosten voor de organisatie van cross-training. Ook worden tot slot enkele bemerkingen en suggesties voor verder onderzoek aangehaald.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting.....	III
Inhoudsopgave	VI
Lijst van tabellen.....	IX
Lijst van figuren	XI
1 Onderzoeksplan	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Onderzoeksvraag	3
1.3 Methodologie.....	4
1.3.1 Literatuur.....	4
1.3.2 Praktijk.....	4
2 Literatuurstudie	7
2.1 Organisatiecultuur	7
2.2 Organisatieverandering	8
2.3 Dual Resource Constrained systemen	9
2.3.1 Flexibiliteit	11
2.3.1.1 Cross-training.....	12
2.3.1.2 Voordelen	13
2.3.1.3 Nadelen.....	14
2.3.1.4 Mate van flexibiliteit	16
2.3.1.5 Human Resource Management	18
2.3.2 Kost voor het transfereren van werknemers	19
2.3.3 Toewijzingsregels	19
2.3.3.1 Wanneer-regel	19
2.3.3.2 Waar-regel	20
2.3.3.3 Wie-regel	20
2.3.4 Vrijgave van taken	21
2.3.5 Wachtrijtheorieën	21

2.4	Simulatie	22
3	Praktijk.....	25
3.1	Bevindingen uit de literatuur	25
3.2	Algemene informatie simulatiemodel	33
3.2.1	Productieproces	34
3.2.2	Terminologie.....	34
3.2.3	Assumpties	35
3.3	Basisscenario.....	37
3.3.1	Trainingsschema.....	38
3.3.2	Opbouw in Arena®.....	38
3.3.3	Replicatie parameters	40
3.3.4	Resultaten.....	41
3.3.4.1	Onderzoeksvariabelen	41
3.3.4.2	Resultaten basisscenario	42
3.4	Alternatieve scenario's	46
3.4.1	Scenario 1	47
3.4.2	Scenario 2	50
3.4.3	Scenario 3	52
3.4.4	Scenario 4	54
3.4.5	Scenario 5	56
3.4.6	Scenario 6.....	58
3.5	Bespreking van de resultaten	61
3.5.1	Individuele analyse.....	61
3.5.1.1	Scenario 1	61
3.5.1.2	Scenario 2	63
3.5.1.3	Scenario 3	64
3.5.1.4	Scenario 4	66
3.5.1.5	Scenario 5	67
3.5.1.6	Scenario 6	69
3.5.2	Vergelijking tussen scenario's	70

3.5.2.1	Scenario 1 en scenario 2	70
3.5.2.2	Scenario 1 en scenario 5	71
3.5.2.3	Scenario 3 en scenario 4	72
3.5.2.4	Scenario 4 en scenario 6	73
3.5.3	Tussentijdse conclusie	75
3.5.4	Scenario 4 en scenario 5.....	76
4	Conclusies en bemerkingen	79
4.1	Conclusie	79
4.2	Beperkingen en bijkomend onderzoek	81
	Lijst met geraadpleegde werken	83
	Bijlagen	89
	Bijlage 1: Figuur: bepaling opwarmperiode	89
	Bijlage 2: Scenario 1: model	90
	Bijlage 3: Scenario 1: beslissings- en toewijzingsmodules	91
	Bijlage 4: Scenario 2: model	93
	Bijlage 5: Scenario 2: beslissings- en toewijzingsmodules	94
	Bijlage 6: Scenario 3: model	96
	Bijlage 7: Scenario 3: beslissings- en toewijzingsmodules	97
	Bijlage 8: Scenario 4: model	101
	Bijlage 9: Scenario 4: beslissings- en toewijzingsmodules	102
	Bijlage 10: Scenario 5: model	106
	Bijlage 11: Scenario 5: beslissings- en toewijzingsmodules	107
	Bijlage 12: Scenario 6: model	108
	Bijlage 13: Scenario 6: beslissings- en toewijzingsmodules	109

Lijst van tabellen

Tabel 1: Bepaling grenswaarde om initiële werkstation te verlaten	37
Tabel 2: Trainingsschema basisscenario	38
Tabel 3: Procestijden	39
Tabel 4: Trainingsschema basisscenario: simulatie.....	39
Tabel 5: Trial and error: aantal replicaties	40
Tabel 6: Benuttingsgraad basisscenario	42
Tabel 7: Wachtrijen basisscenario.....	42
Tabel 8: Doorlooptijd, wachtrij en GIB basisscenario	43
Tabel 9: Basisscenario vergelijking doorlooptijd per product.....	45
Tabel 10: Trainingsschema scenario 1.....	47
Tabel 11: Trainingsschema scenario 1: simulatie.....	48
Tabel 12: Scenario 1: sets.....	48
Tabel 13: Trainingsschema scenario 2.....	50
Tabel 14: Trainingsschema scenario 2: simulatie.....	50
Tabel 15: Scenario 2: sets.....	51
Tabel 16: Trainingsschema scenario 3.....	52
Tabel 17: Trainingsschema scenario 3: simulatie.....	52
Tabel 18: Scenario 3: sets.....	53
Tabel 19: Trainingsschema scenario 4.....	54
Tabel 20: Trainingsschema scenario 4: simulatie.....	55
Tabel 21: Scenario 4: sets.....	55
Tabel 22: Trainingsschema scenario 5.....	57
Tabel 23: Trainingsschema scenario 5: simulatie.....	57
Tabel 24: Scenario 5: sets.....	57
Tabel 25: Trainingsschema scenario 6.....	59
Tabel 26: Trainingsschema scenario 6: simulatie.....	59
Tabel 27: Scenario 6: sets.....	59
Tabel 28: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 1)	62
Tabel 29: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 1)	62
Tabel 30: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 2)	63
Tabel 31: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 2)	64
Tabel 32: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 3)	64
Tabel 33: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 3)	65

Tabel 34: Verdeling werknemers over werkstations scenario 3	65
Tabel 35: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 4)	66
Tabel 36: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 4)	67
Tabel 37: Verdeling werknemers over werkstations scenario 4	67
Tabel 38: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 5)	68
Tabel 39: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 5)	68
Tabel 40: Verdeling werknemers over werkstations scenario 5	68
Tabel 41: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 6)	69
Tabel 42: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 6)	70
Tabel 43: Verdeling werknemers over werkstations scenario 6	70
Tabel 44: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 1 – scenario 2)	71
Tabel 45: Benuttingsgraad (scenario 1 – scenario 2)	71
Tabel 46: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 1 – scenario 5)	72
Tabel 47: Benuttingsgraad (scenario 1 – scenario 5)	72
Tabel 48: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 3 – scenario 4)	73
Tabel 49: Benuttingsgraad (scenario 3 – scenario 4)	73
Tabel 50: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 4 – scenario 6)	74
Tabel 51: Gemiddeld aantal minuten bijspringen in andere werkstations per acht uur (scenario 4) ..	75
Tabel 52: Benuttingsgraad (scenario 4 – scenario 6)	75
Tabel 53: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 4 – scenario 5)	76
Tabel 54: Benuttingsgraad (scenario 4 – scenario 5)	77

Lijst van figuren

Figuur 1: Belangrijke dimensies bij een DRC-systeem (Xu, Xu & Xie, 2011).	10
Figuur 2: Hiërarchische relaties (Norman et al., 2002)	13
Figuur 3: Vergelijking van cross-training strategieën (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)	26
Figuur 4: Patronen van vaardighedenoverlap (Yue et al., 2008).....	27
Figuur 5: Korte ketens versus een lange keten (Yue et al., 2008)	27
Figuur 6: Flexibiliteitsniveau (Yue et al., 2008)	28
Figuur 7: Flexibiliteitsconfiguraties (Felan & Fry, 2001).....	29
Figuur 8: Gedeeltelijke keten (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004)	29
Figuur 9: Cherry Picking (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004).....	30
Figuur 10: Een-voor-allen (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004).....	31
Figuur 11: Allen-voor-een (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)	32
Figuur 12: Cross-training tussen onderlinge paren (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004).....	33
Figuur 13: Basisscenario: simulatiemodel	38
Figuur 14: Bepaling opwarmperiode	41
Figuur 15: Scenario 1: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	49
Figuur 16: Scenario 2: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	51
Figuur 17: Scenario 3: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	54
Figuur 18: Scenario 4: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	56
Figuur 19: Scenario 5: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	58
Figuur 20: Scenario 6: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1	61

1 Onderzoeksplan

1.1 Probleemstelling

Vandaag bekampen veel ondernemingen problemen zoals het inplannen van werknemers en het rangschikken van producten in het productieproces. Sommige productieprocessen worden zelfs pas gestart door klanten die een order doorgeven aan het bedrijf. Klanten hebben hoge verwachtingen met betrekking tot service, kwaliteit en leversnelheid. Begrippen zoals levertijd, doorlooptijd, veiligheidsvoorraad en lotgrootte zijn voor ondernemingen niet meer weg te denken. Die factoren hebben een invloed op de klanttevredenheid en winstgevendheid van ondernemingen ondervinden Gansterer, Almeder en Hartl (2014).

Hoe ga je optimaal produceren als de vraag plotseling de productiecapaciteit of doorloopcapaciteit overstijgt? Dienen ondernemingen te anticiperen? Welke orders krijgen voorrang zodat de einddatum gerespecteerd wordt (Gansterer et al., 2014 en Koulouriotis, Xanthopoulos & Tourassis, 2010)? Zhang en Wu (2012) stellen dat een van de belangrijkste doelstellingen van een onderneming het op tijd leveren van de goederen aan de klant is. Op tijd leveren van goederen is dus een zeer belangrijke factor om de klanttevredenheid te behouden en de bedrijfsreputatie te waarborgen. Ondernemingen kunnen klanten aantrekken door een kortere levertijd te beloven ten opzichte van de concurrent, maar eenmaal ze die einddatum afgesproken hebben, dienen ze die ook na te leven.

Hoe zorgen ondernemingen ervoor dat de goederen op tijd geleverd kunnen worden? Bijkomende orders van klanten op tijd de deur uitkrijgen is ook een belangrijke factor. In de literatuur worden verschillende mogelijkheden afgetast. Volgens Dhouib, Gharbi en Ayed (2008) kan de indeling van het productieproces eventueel een rol spelen. Werkt alles even vlot als de machines een enkele productielijn volgen? Kunnen problemen vermeden en opgelost worden als in het productieproces meerdere parallele machines de bottleneck helpen? Een andere populaire mogelijkheid is het gebruik van een flow-shop. Kortom, de structuur en indeling van het productieproces zijn een belangrijke tool voor de winstgevendheid en concurrentiepositie van de onderneming. Verder stellen zij zich, zoals veel andere onderzoekers (bijvoorbeeld: Cave, Nahavandi & Creighton (2006) en Ng, Bernedixen & Syberfeldt (2012)) en ondernemingen, de vraag of het aanleggen of groter maken van de veiligheidsvoorraad bijdraagt tot de verbetering van het productieproces. Voorraden verouderen en kosten tenslotte geld.

Twee belangrijke begrippen die de productiviteit en concurrentiekracht van een onderneming bepalen zijn doorlooptijd en productiecapaciteit. Die begrippen leveren veel stof tot onderzoek (Azadeh, Negahban & Moghaddam, 2012, Wisittipanich & Kachitvichyanukul, 2012 en Cortés, Garcia & Hernández, 2012).

Een ander veel geciteerd concept in de literatuur is planning. Planning kan bijvoorbeeld gezien worden als de allocatie van een beperkt aantal werknemers aan verschillende taken (Wisittipanich & Kachitvichyanukul, 2012). Een optimaal schema kan voorkomen dat bedrijven in tijdnood komen. Voor ondernemingen waar de productie de grootste kost met zich meedraagt, is het belangrijk om een goede planning te hebben (Weigert, Henlich & Klemmt, 2011). Planning is ook een factor die mee bepaalt of de *makespan* geminimaliseerd wordt en in hoeverre de levertijd en doorlooptijd optimaal zijn (Cortés et al., 2012). Hoe meer machines en werknemers aanwezig zijn in het productieproces hoe belangrijker en moeilijker planning wordt (Sarkheil & Jenab, 2012).

Flexibiliteit is een concept dat een oplossing biedt voor bovenstaande uitdagingen. Door werknemers op een flexibele manier in het productieproces in te schakelen, wordt planning nog belangrijker. Werknemersflexibiliteit kan de *bottleneck* ontlasten en biedt de mogelijkheid om in te spelen op een veranderende vraag (Jaber, Kher & Davis, 2003). Dual Resource Constrained (DRC) systemen voorzien dat werknemers kunnen getransfereerd worden naar machines waar op dat moment arbeid vereist is (Xu, Xu & Xie, 2011). Een DRC-systeem gebruikt dus niet te allen tijde al haar machines, maar zet haar arbeiders flexibel in (Yildiz & Tunali, 2007).

Verschillende auteurs verwijzen naar de belangrijkheid van simulatie van productiesystemen in bedrijven. Zo schrijven Koh en Bulfin (2004) dat in veel gevallen de werkelijke productiesystemen van een bedrijf meestal te ingewikkeld zijn om analytische procedures op toe te passen. Daardoor wordt vaak gegrepen naar simulatie als oplossing. Ook Chen en Paulraj (2004) vermelden dat simulatiemethoden gehanteerd worden om meer complexe systemen, die bijvoorbeeld veel meer beslissingsvariabelen vereisen, te voorzien van een optimale oplossing. Analytisch verrichte onderzoeken lijden onder het feit dat ze zeer abstract zijn. Dergelijke onderzoeken kunnen moeilijk de realiteit representeren omdat de consequenties van onder meer falingen en onderbrekingen van machines, toewijzingsregels, werknemersflexibiliteit en werknemerstransfers meestal niet worden opgenomen (Feyzioglu, Pierreval & Deflandre, 2005 en Yildiz & Tunali, 2007). Een goede oplossing is dus het simuleren van het productieproces. Op die manier ontdek je vele van de eventuele problemen en de gevolgen daarvan (Dhouib et al., 2009).

1.2 Onderzoeksvraag

De probleemstelling leidt tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

- “Hoe kan simulatie bijdragen tot het bepalen van de optimale werknemersflexibiliteit in een Dual Resource Constrained (DRC) systeem?”

Om de centrale onderzoeksvraag zo goed mogelijk te beantwoorden, worden daaraan enkele deelvragen gekoppeld. Dergelijke manier van werken geeft aan de masterproef een duidelijke structuur. De deelvragen zijn hoofdzakelijk bedoeld om de centrale onderzoeksvraag te ondersteunen:

- “Wat is een DRC-systeem?”

Na een kort overzicht van de organisatiecultuur waarin een DRC-systeem past, wordt overgegaan tot het beantwoorden van de deelvraag. DRC-systeem worden met vijf grote dimensies beschreven.

- “Wat zijn de voor- en nadelen van werknemersflexibiliteit?”

In deze masterproef ligt de nadruk voornamelijk op werknemersflexibiliteit. Door een studie van literatuur worden zowel de voordelen als de nadelen van werknemersflexibiliteit weergegeven.

- “Hoe worden de doorlooptijd per product, de benuttingsgraad en de wachtrijen in de werkstations in een simulatiemodel beïnvloed naarmate de werknemersflexibiliteit verandert?”

Eerst wordt theoretische kennis van de belangrijkste concepten opgedaan door de beschikbare literatuur te raadplegen. Na de literatuurstudie wordt overgegaan tot een simulatie. Zoals eerder vermeld, is simulatie een bepaalde manier om problemen en onzekerheden in productieprocessen op te lossen. Die problemen en onzekerheden vloeien vaak voort uit bedrijfsspecifieke aspecten. Simulatie wordt gebruikt om na te gaan wat de consequenties zijn bij veranderingen. Aan de hand van de literatuur zullen verschillende scenario's met verschillende trainingsschema's (ieder trainingsschema representeert een bepaalde werknemersflexibiliteit) opgesteld worden die nadien vergeleken worden. De doorlooptijd per product, de benuttingsgraad en de wachtrijen in de werkstations dienen als maatstaf voor de vergelijking tussen de verschillende scenario's.

- “Welke werknemersflexibiliteit leidt, rekening houdend met alle factoren, tot de voordeligste oplossing voor het geteste simulatiemodel?”

De koppeling van de analyse van het simulatiemodel en externe factoren, die weergegeven worden in de literatuur, zorgen voor het kiezen van de optimale oplossing.

1.3 Methodologie

Een literatuurstudie zal uitgevoerd worden om een bredere kennis te verkrijgen over DRC-systemen. Na de bespreking van de literatuur, zal in het praktijkgedeelte een simulatiemodel van een DRC-systeem uitgewerkt worden.

1.3.1 Literatuur

Allereerst is een bepaalde kennis vereist. Een literatuurstudie is dus het beste uitgangspunt voor deze masterproef. De literatuurstudie dient om inzicht te krijgen in de behandelde materie. Zo zullen onder meer de verschillende aspecten van DRC-systemen aan bod komen. Diverse literatuur is ook nodig om verschillende trainingsschema's op te stellen. Een goede kennis van de werking van DRC-systemen en werknemersflexibiliteit zijn daarbij dus onontbeerlijk.

De literatuur bestaat voornamelijk uit wetenschappelijke artikels in vaktijdschriften. Die worden gezocht met elektronische zoekmachines zoals *Google Scholar*. Het zoeken naar literatuur kan ook via de bibliotheek Universiteit Hasselt, waar tal van e-bronnen terug te vinden zijn. Zij stelt enkele databanken zoals *EBSCOhost* en *AtoZ e-journals* ter beschikking. Ook wordt extra informatie opgezocht in boeken en op websites die simulatiesoftware aanbieden.

Zoals eerder aangegeven wordt gezocht in databanken zoals *EBSCOhost* en *Google Scholar*. De identificatie van relevante literatuur gebeurt in eerste instantie door gebruik te maken van zoektermen zoals: *DRC-systems, flexibility, simulation, capacity-planning, ...* Heel veel van de literatuur kan gevonden worden in specifieke vaktijdschriften zoals: *International Journal of Production Research, Journal of Operations Management* en *Operations Research*. Vaak worden bij het zoeken van combinaties verschillende woorden gebruikt om zo sneller de geschikte literatuur te vinden. Eenmaal voldoende artikels gevonden zijn, is het ook mogelijk om via referenties van die artikels te zoeken naar literatuur binnen een specifiek onderzoeksgebied.

1.3.2 Praktijk

Verschillende studies tonen aan dat simulatie-optimalisatie een vaak geciteerde techniek is om bepaalde beslissingen in het productieproces te verantwoorden. De kosten van een simulatie zijn dermate laag dat het de moeite loont om eerst te kijken wat de invloed is op het werkelijke systeem vooraleer de verandering te integreren (Dong & Medeiros, 2012). Simulatie kan problemen oplossen door mogelijke veranderingen te simuleren. Volgens Azadeh en Maghsoudi (2010) zijn computersimulaties wereldwijd de meest gebruikte evaluatiesystemen. Uit verscheidene studies is gebleken dat die de output verbeteren.

Simulatie kan een goede oplossing bieden om de prestaties van een bepaald productieproces te meten. Simulatie laat toe de doorlooptijd te berekenen en te analyseren (Dhouib et al., 2009). Simulatie brengt *bottlenecks* aan het licht en op die manier kan overwogen worden om (meer) investeringen te doen in dat werkstation om zo het gehele productiesysteem beter te laten verlopen. Op die manier blijft een onderneming competitief. Een simulatie uitvoeren werkt kostenbesparend en verstrekt veel informatie over de eventuele verandering. Simulaties bieden de onderneming ook de mogelijkheid om met het huidige systeem te vergelijken zonder het gebruikte systeem te beïnvloeden (Kelton, Sadowski & Swets, 2010). Verschillende alternatieven kunnen bedacht, gemodelleerd en geanalyseerd worden. Het is echter nog steeds aan de beslissingsnemer om uit te maken welk alternatief het best aansluit bij de doelstellingen van de onderneming (Feyzioglu, Pierreval & Deflandre, 2005). Dat betekent samenvattend dat een simulatiemodel in detail afgestemd kan worden op het productieproces en op de behoeften van desbetreffende onderneming. Op die manier kunnen de complexere productieprocessen ook geoptimaliseerd worden (Weigert et al., 2011).

Zodra voldoende theoretische informatie verworven is, kan de focus gelegd worden op een specifiek productiesysteem. Zoals eerder vermeld kan simulatie de oplossing bieden voor ondernemingen die hun productiesysteem wensen te veranderen. Vooraleer veranderingen uit te voeren willen zij toch een simulatie doorvoeren om na te gaan of de verandering daadwerkelijk hun productiesysteem optimaliseert of verbetert. Eenmaal de simulatie uitgevoerd is, is het mogelijk om diverse alternatieven uit te werken om na te gaan welke het voordeligst is. Bedrijven doen er dus goed aan hun productieproces met een bepaalde simulatie te evalueren (Kelton, Sadowski & Swets, 2010).

Om het praktijkgedeelte te kunnen uitwerken dient een simulatiemodel opgesteld te worden om het bestaande of vooropgestelde model te analyseren. Daarvoor is een programma met simulatiesoftware zoals Arena[®] nodig. Arena[®] is in staat om wat als-ideeën, regelgevingen, bepaalde nieuwe strategieën, ... in een huidig gemodelleerd productieproces in te plannen om zo het effect op de prestatieparameters te analyseren en te bekijken welke invloed ze op de klant hebben. Het is een simulatie; het effectieve productieproces wordt dus niet beïnvloed (Kelton, Sadowski & Swets, 2010).

Nadat het probleem gedefinieerd is, wordt in deze masterproef voor simulatie gekozen. Daarna wordt op basis van gegevens van een bestaand productiesysteem een model uitgewerkt. Nadien worden aan de hand van de doelstellingen van de simulatie alternatieven opgesteld. De alternatieven worden zorgvuldig uitgewerkt, geanalyseerd en vergeleken.

2 Literatuurstudie

In de literatuurstudie wordt eerst het belang van een sterke organisatiecultuur aangetoond. In DRC-systemen krijgen werknemers veel training om hun taken volgens de bedrijfsnormen uit te voeren. Daarna wordt in de literatuurstudie uitleg gegeven over veranderingen die plaatsvinden in ondernemingen. De literatuurstudie bespreekt vervolgens de vijf dimensies (vrijgave van taken, werknemersflexibiliteit, toewijzingsregels, transferkosten en wachtrijtheorieën) waarop beslissingen binnen een onderneming met DRC-systemen gebaseerd zijn. Voornamelijk ligt de focus op de verduidelijking van flexibiliteit en toewijzingsregels. Nadat binnen de dimensie flexibiliteit het concept cross-training behandeld is, worden de voor- en nadelen van flexibiliteit besproken. Ook de mate van flexibiliteit en de taak van het Human Resource Management komen aan bod. De toewijzingsregels worden onderverdeeld in drie grote groepen van regels: wanneer-regels, waar-regels en wie-regels. Tot slot wordt in de literatuurstudie nog ingegaan op redenen waarom simulatie als methodiek is gekozen.

2.1 Organisatiecultuur

De organisatiecultuur van een onderneming omvat het geheel van waarden, normen en opvattingen die het functioneren, het samenwerken met collega's en andere afdelingen, het omgaan met de klant, het bewustzijn van de kwaliteitsnormen, ... beïnvloeden (Schein, 1984). De organisatiecultuur onderscheidt de ene onderneming van de andere en is dus een belangrijk thema om een competitief voordeel te kunnen realiseren (Santosh, 2013). Verder toont Santosh (2013) aan dat zowel managers als leiders de organisatiecultuur moeten begrijpen omdat die de manier waarop ondernemingen reageren op een behoefteverandering in de bedrijfsomgeving beïnvloedt.

Ook de inburgering van de cultuur in de organisatie is belangrijk. Zo zullen de waarden, attitudes en algemene oriëntatie van werknemers in dezelfde lijn liggen van de organisatiecultuur die de onderneming promoot (Casey, 1999). Werknemers in een onderneming ontwikkelen een soort van beknopt overzicht van elementen die leven binnen hun onderneming, meent Legge (2005). Met andere woorden: wat is hier belangrijk en wat vertegenwoordigt de organisatiecultuur. Achter elke werknemer schuilt een individu en elk individu heeft eigen voorkeuren en talenten. De gedragingen en overtuigingen van de werknemers helpen mee de organisatiecultuur van de onderneming te creëren. Zo begrijpen ze elkaar en kunnen ze efficiënt samenwerken (Legge, 2005).

De leiders en het management van een onderneming analyseren de bedrijfscultuur en kunnen eventueel een culturele verandering doorvoeren om productiever te worden (Gill, 2010). Cultuur heeft wel vaak diepe wortels en is moeilijk te wijzigen. Rolmodellen, opleiding en coaching kunnen

krachtige boodschappen overbrengen naar de werknemers toe. Als training tot de cultuur in een bepaalde organisatie behoort, dan zijn werknemers meer geneigd zich te schikken naar bijkomende trainingen in vergelijking met ondernemingen waar dat oorspronkelijk helemaal niet tot de organisatiecultuur behoort (Legge, 2005).

Casey (1999) staft dat “de lerende onderneming” in sommige ondernemingen in de organisatiecultuur ingeburgerd is. Die ondernemingen hebben als doel de werknemers meer te betrekken bij het productieproces om de productiviteit, en daarbij de klantensatisfactie, te laten stijgen en een sterke bedrijfscultuur te ontwikkelen. Ontwikkelen van waarden, normen, overtuigingen, gedachtegangen, houdingen, ... maakt daar deel van uit. Maar ook het aanmoedigen van werknemers, het beslissingsproces en de verantwoordelijkheden van werknemers zijn een onderdeel van zo’n ‘strategie’. In de meer recente culturen zijn kennis, vaardigheden en expertise van de werknemers belangrijke factoren die worden opgenomen in veel aspecten van een productieonderneming. Werknemers worden dus meer en meer gezien als mensen, als deel van het gebeuren en minder vaak als een machine die slechts één taak uitvoert. Dergelijke cultuur vereist samenwerking en flexibiliteit om aan de behoeften van werkgever en werknemer te voldoen (Casey, 1999).

2.2 Organisatieverandering

Ondernemingen over heel de wereld plannen bepaalde programma’s voor herstructurering en herontwerp van productieprocessen in. Vaak zijn die programma’s gebaseerd op gekende managementstrategieën. “De lerende onderneming” speelt daarbij een belangrijk rol (Gill, 2010 en Casey, 1999).

Bij veranderingsmanagement zal de onderneming zich steeds aanpassen aan veranderende omstandigheden, uitgangspunten of doelstellingen om zo de efficiëntie en effectiviteit te doen toenemen (Kleijn & Rorink, 2005).

Verandering is nodig om de onderneming draaiende te houden. Als ondernemingen willen veranderen is er echter vaak weerstand. Veel werknemers zien (gedwongen) verandering als iets negatiefs. Ze hebben een negatieve houding tegenover de verandering die beoogd wordt. De redenen daarvoor, in de ogen van de werknemers, worden beschreven door Henderickx, Janvier en Van Beirendonck, 2010:

- de huidige situatie biedt de werknemers comfort en veiligheid;
- de toekomstige situatie zorgt ervoor dat de werknemers slechter af zijn.;
- de opleidingen zijn tijdrovend en saai;

- de werknemers vrezen voor negatieve gevolgen, verrassingen, het onbekende, voor hun eigen positie, ... ;
- de werknemers hebben gebrek aan knowhow;
- de werknemers zien de noodzaak van de verandering niet in. Zij beschouwen het als: “iets positiefs voor de organisatie is meestal niet positief voor ons”.

Bij het opstellen van een plan tot verandering is het belangrijk om te anticiperen. Weerstand kan leiden tot sabotage, verzieking van de sfeer en afwezigheid op vergaderingen. Het management tracht daarom te voorzien wat de mogelijke weerstanden zijn en hoe daar mee om te gaan (Mullins, 2002). Daarom is het belangrijk de werknemers te betrekken bij verandering. Weerstand is echter niet per definitie fout. Werknemers kunnen op bepaalde zaken een andere kijk hebben en daardoor een bijdrage leveren in het veranderingsproces. Ze kunnen bijvoorbeeld alternatieven of verbeteringen voordragen aan het management. Het is de taak van het management om hier zorgvuldig mee om te springen om de veranderingen zo goed mogelijk te managen (Henderickx, Janvier & Van Beirendonck, 2010).

Een veel gebruikte techniek om verandering te managen wordt omschreven door Cooperrider en Whitney (2005) als *'appreciative inquiry'*. Daarbij gaat het management op zoek naar wat goed werkt bij de werknemers of in hun onderneming. Ze zoeken naar het beste wat er op dit moment is, het beste wat er zou kunnen en moeten zijn en hetgeen er zal zijn. Ze appreciëren de meningen van de werknemers en trachten zo te zoeken naar een systeem dat een meerwaarde biedt.

2.3 Dual Resource Constrained systemen

Trends van de laatste jaren zorgen voor meer flexibele en klantgerichte productiesystemen. Sneller introduceren van nieuwe producten, kleinere lotgroottes, sneller omschakelen naar productie van een ander product op dezelfde machine, kleine reactietijd en geïndividualiseerde producten zijn voorbeelden van uitdagingen die ondernemingen aangaan om hun concurrentiepositie te handhaven. Productieflexibiliteit, met een goede planning van bedieningseenheden, is daarbij onontbeerlijk (Hottenstein & Bowman, 1998). De optimale planning nastreven gebeurt mede door rekening te houden met de unieke eigenschappen van de machines en werknemers. DRC-systemen worden gedefinieerd als systemen waarbij niet alleen machines maar ook werknemers de beperkende factor zijn. Dat systeem voorziet dat werknemers kunnen getransfereerd worden naar machines in werkstations waar op dat moment arbeid vereist is (Xu, Xu & Xie, 2011). Een DRC-systeem gebruikt dus niet te allen tijde al zijn machines. Zo'n systeem voorziet dat in een bepaalde sectie van een onderneming meer machines operationeel zijn dan werknemers die beschikbaar zijn

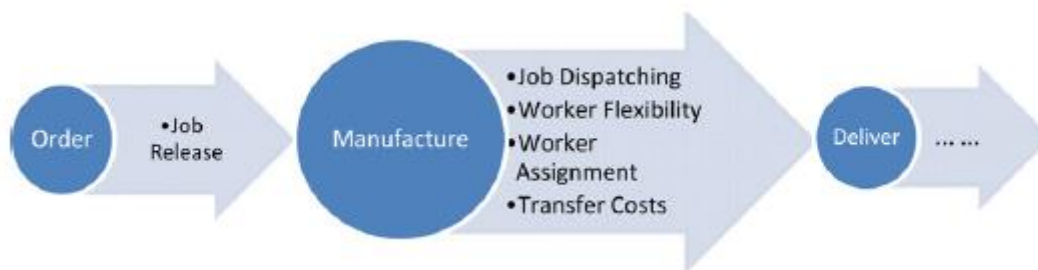
om die machines te bedienen. Door werknemers te transfereren van werkstation naar werkstation worden alle machines gebruikt, weliswaar niet op hetzelfde moment (Yildiz & Tunali, 2007).

Ondernemingen dienen daarom rekening te houden met veel factoren typisch voor DRC-systemen (Xu, Xu & Xie, 2011):

- werknemersflexibiliteit;
- werknemerstransfers;
- transferkosten;
- beschikbaarheid van zowel machines als werknemers;
- wachtrij theorieën;
- cross-training (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004).

Jaber, Kher en Davis (2003) bewijzen dat werknemersflexibiliteit een belangrijk concept is binnen DRC-systemen. Werknemersflexibiliteit maakt het hanteren van een DRC-systeem eenvoudiger voor ondernemingen. Het laat toe om extra werknemers te plaatsen waar nodig, om in te spelen op een fluctuerende vraag, om de doorlooptijd te reduceren en om de voorraden goederen in bewerking (GIB) te doen afnemen. Dergelijke aanpak biedt werknemers een brede taakverantwoordelijkheid, teamparticipatie en de mogelijkheid om beslissingen te nemen in een team (Henderickx, Janvier, & Van Beirendonck, 2010).

Xu, Xu, en Xie (2011) definiëren vijf dimensies, die in Figuur 1 weergegeven zijn, waarop beslissingen binnen een onderneming met DRC-systemen gebaseerd zijn. Vrijgave van taken, werknemersflexibiliteit, toewijzingsregels, transferkosten en wachtrijtheorieën behoren tot die vijf en zullen hierna verder besproken worden. Vrijgave van taken en wachtrijtheorieën zijn vooral belangrijk in *flow shops* (gebruikt op maat gemaakte machines om vergelijkbare producten te vervaardigen). Zij hebben in deze masterproef geen belangrijke rol.



Figuur 1: Belangrijke dimensies bij een DRC-systeem (Xu, Xu & Xie, 2011).

2.3.1 Flexibiliteit

Procter en Ackroyd (2001) geven een ruime definitie van flexibiliteit: "At its broadest it is perhaps best understood as the quality by which an entity adapts itself to a change in the demands made upon it" (p. 219).

Bedrijven streven naar meer efficiëntie en productiviteit. Voorbeelden daarvan zijn productflexibiliteit, kortere doorlooptijden, minder voorraden en betere kwaliteit (Henderickx, Janvier & Van Beirendonck, 2010).

Twee algemene vormen van flexibiliteit worden onderscheiden. Flexibiliteit van arbeid kan uitgedrukt worden als de mogelijkheid en bereidheid van werknemers om een breder takenpakket uit te voeren, meer vaardigheden aan te leren enerzijds en anderzijds als de mogelijkheid voor ondernemingen om arbeid in te zetten naargelang de vraag naar producten, aldus Yue et al. (2008). Werknemersflexibiliteit bestaat uit drie aspecten, gaan de onderzoekers verder. Het eerste aspect omschrijft het niveau van multifunctionaliteit. Dat geeft weer hoeveel verschillende vaardigheden elke werknemer bezit. Het tweede aspect omvat het patroon van vaardighedenoverlap. Dat is het aantal capaciteiten en aantal werknemers die deel uitmaken van een keten van vaardighedenoverlap. Het derde en laatste aspect bestaat uit de verdeling van de verschillende vaardigheden onder de werknemers. Welke werknemer krijgt welke cross-training, is de centrale vraag bij het derde aspect (Yue et al., 2008).

Flexibiliteit van technologie handelt zowel over technologie omtrent machines als over knowhow en technieken (Procter & Ackroyd, 2001). In ondernemingen zijn natuurlijk alle vormen van flexibiliteit belangrijk. Bij een DRC-systeem echter vereist flexibiliteit van arbeid meer aandacht dan flexibiliteit van technologie. De focus ligt daar voornamelijk op werknemersflexibiliteit. Deze vorm van flexibiliteit komt meestal tot stand na overleg tussen werkgever en werknemer (Procter & Ackroyd, 2001). Een mogelijke techniek om flexibiliteit na te streven is het gebruiken van zeer flexibele technieken in een lijnsysteem. Op die manier komen jobrotatie en taakverbreding tot uiting. Jobrotatie is een systeem waarbij werknemers in eenzelfde onderneming op verschillende functies terechtkomen voor bepaalde periodes en dus een betere kennis hebben van verschillende afdelingen in de onderneming. Bij taakverbreding krijgen werknemers meer zeggenschap en zelfstandigheid bij bijvoorbeeld de planning, de uitvoering en de controle van de arbeid die ze dienen te verrichten (Jorgensen, 2005 en Kaymaz, 2010). Beide methodes zijn effectief om de motivatie te verhogen en vaardigheden te ontwikkelen. Het zijn met andere woorden twee belangrijke factoren in ondernemingen. Een grote uitdaging voor een lijnsysteem bij aanvang van de productie is het invullen van alle plaatsen door werknemers die hun taak kwalitatief kunnen uitvoeren. Indien dat

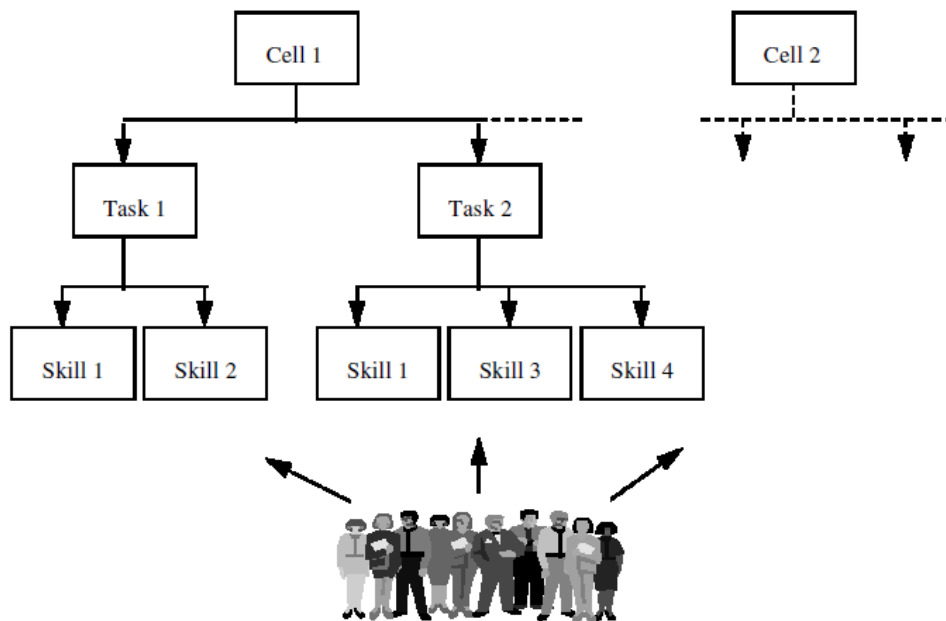
niet gebeurt, dreigt het risico op stilvallen van de assemblagelij. Voor ondernemingen is het dus uiterst belangrijk om over werknemers te beschikken die op meerdere plaatsen inzetbaar zijn. Een grote flexibiliteit is daarom wenselijk (Henderickx, Janvier & Van Beirendonck, 2010).

Volgens Slomp en Molleman (2002) is ziekteverzuim een bijkomende belangrijke factor voor de onderneming om in arbeidsflexibiliteit te investeren. Ze stellen voorop dat elke taak door ten minste twee werknemers uitvoerbaar hoort te zijn om de negatieve impact van afwezige werknemers te beperken.

2.3.1.1 Cross-training

Als de onderneming investeert in training voor haar werknemers waardoor het aantal vaardigheden toeneemt, spreken we van *cross-training* (Slomp & Molleman, 2002). Cross-training is een belangrijke en kritische techniek om polyvalente werknemers te creëren (Molleman & Slomp, 1999). Cross-training van werknemers biedt dus de mogelijkheid om werknemers flexibel in te zetten afhankelijk van de werkbelasting (Yang, 2007). De werknemers kunnen aansluiten bij de taak of functie waar het op dat moment nodig is (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004). Werknemers die verschillende taken kunnen uitvoeren, roteren in het bedrijf om zo te reageren op de veranderende werkbelasting. Wachtrijen en voorraden worden op die manier verminderd (Felan & Fry, 2001).

Cross-training is echter niet enkel toepasbaar voor technische vaardigheden zoals set-up, uitvoering van het takenpakket of inspectie van afgewerkte producten. De vaardigheden die werknemers bijgebracht worden, kunnen ook communicatief en interpersoonlijk zijn. Communicatie, oplossen van problemen en conflicten, beslissingen nemen of leiderschap zijn voorbeelden daarvan. Die combinatie van vaardigheden maakt dat een werknemer geschikt is om een bepaalde taak in een bepaalde cel uit te voeren, zoals te zien in Figuur 2 (Norman, Tharmmaphornphilas, Needy, Bidanda & Warner, 2002).



Figuur 2: Hiërarchische relaties (Norman et al., 2002)

Cross-training creëert een voorraad aan capaciteit die meehelpt om het team effectiever te laten handelen bij bijvoorbeeld een verandering in de vraag. Zoals eerder aangehaald, betekent cross-training dat het aantal vaardigheden van de werknemers toeneemt waardoor mogelijkheden voor jobrotatie ontstaan. Volgens Slomp en Molleman (2002) is het door jobrotatie waarschijnlijk dat werknemers een duidelijker beeld krijgen van hoe de verschillende processen een invloed op elkaar hebben. Op die manier zullen werknemers afwijkingen in voorgaande stappen sneller kunnen waarnemen en corrigeren. Die correcties verbeteren de kwaliteit van het eindproduct. Cross-training biedt werknemers dus de kans om samen te werken en de werklast te delen zodat zowel werkgever als werknemer zich in een betere situatie bevinden (Slomp & Molleman, 2002).

Een onderneming kan haar werknemers echter niet oneindig trainen. Rekening dient gehouden te worden met de totale kost van training, de maximale flexibiliteit van de werknemers en de totale trainingstijd. Elke onderneming zal zoeken naar een optimale verhouding tussen de kosten en opbrengsten van een cross-training (Slomp & Molleman, 2002).

2.3.1.2 Voordelen

In een DRC-systeem met toepassing van cross-training worden werknemers niet behandeld als een middel om de gewenste doelen te bereiken (Xu, Xu & Xie, 2011). Cross-training is over het algemeen altijd voordelig (Yang, 2007). Zo zal de flexibiliteit en de bezettingsgraad toenemen (McDonald, Ellis, Van Aken & Koelling, 2009). De bevindingen van Ruiz-Torres en Mahmoodi (2007) liggen in dezelfde

lijn. Ze staven dat de voordelen van het implementeren van werknemersflexibiliteit groter zijn dan de nadelen ervan.

Hopp, Tekin en Van Oyen (2004) vinden dat cross-training de efficiëntie voor zowel de onderneming als voor de werknemers verhoogt. Zo kunnen werknemers bijspringen in bepaalde werkstations als ze in hun eigen werkstation een bepaalde tijd inactief zijn. Molleman (1998) toont met zijn onderzoek aan dat multifunctionaliteit inderdaad een capaciteitsbuffer creëert. De totale productiviteit zal verhogen met cross-training. Als werknemers in een bepaald werkstation hun taak afgerond hebben, daarmee wordt bedoeld dat als ze verder werken ze een voorraad creëren voor de volgende in lijn, ze simpelweg aansluiten bij een ander werkstation om zo wachtrijen en grote voorraden te vermijden (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004). Ondanks het feit dat bekwaamere werknemers duurder zijn, blijft het voordelig werknemers te trainen zodat ze flexibel zijn en kunnen ingeschakeld worden bij meerdere taken (Norman et al., 2002).

Door het aanbieden van cross-training hebben ondernemingen met DRC-systemen een kortere doorlooptijd. Producten worden sneller afgeleverd aan de klant omdat onder andere de bewerkingstijden dalen (Yue et al. , 2008). Vaak is één van de wensen van de klant een snelle levertijd. Door het DRC-systeem is het dus mogelijk de producten sneller te leveren dan de concurrent die geen DRC-systeem toepast. DRC-systemen zijn daardoor een bepalende factor in de concurrentiepositie van ondernemingen (Felan & Fry, 2001).

Cross-training biedt werknemers de mogelijkheid om flexibeler te worden (Adnett, Bougheas & Georgellis, 2003). De werknemers ondergaan daarbij een training die van belang is voor het functioneren in de onderneming. Ze zullen door de extra training meer vaardigheden ontwikkelen die ook buiten hun job van belang zijn. De ontwikkeling van vaardigheden draagt bij tot het groeiproces van iedere werknemer.

Bekwaamere werknemers betekent dat die werknemers hun taak beter uitoefenen. Een hoger vaardigheidsniveau leidt tot een verhoging van de kwaliteit van de producten met minstens twintig procent (Norman et al., 2002). Doordat de werknemer na de cross-training meer van het gehele productieproces begrijpt, kan hij helpen zoeken naar verbeteringen en oplossingen voor kleine fouten. Zo zal de kwaliteit ook toenemen (Slomp & Molleman, 2002).

2.3.1.3 Nadelen

De invoering van een DRC-systeem vereist enkele aanpassingen voor een onderneming. Zo dienen investeringen voor cross-training gemaakt te worden. Zo'n investeringen kosten geld. De kost van de training van meerdere werknemers dient gerechtvaardigd te worden door de opbrengsten die

ontstaan door de creatie van de extra vaardigheden. Niet alle ondernemingen slagen er echter in om de opbrengsten de kosten te laten overtreffen (Yang, 2007). De grootte van de kosten is afhankelijk van de mate van flexibiliteit die de onderneming voor ogen heeft. Veel flexibiliteit vereist veel cross-training, dus veel kosten (Felan & Fry, 2001 en Molleman, 1998).

Bij de invoering van DRC-systemen wordt veel verloren tijd gecreëerd. Zolang de werknemers niet over de juiste vaardigheden beschikken, kan de invoering niet van start gaan. Daarom worden werknemers getraind. Eenmaal de werknemers hun nieuwe taken kennen, zal de verloren tijd stilaan afnemen. Het verlies aan efficiëntie bij de start van cross-training is natuurlijk ook sterk afhankelijk van de gekozen samenstelling van cross-training. Het verlies is veel groter als voor weinig flexibiliteit voor alle werknemers geopteerd wordt. Geen flexibiliteit voor de meeste werknemers en veel flexibiliteit voor een kleiner aantal werknemers heeft veel minder verlies aan efficiëntie tot gevolg (Felan & Fry, 2001). Norman et al., (2002) voegen daar wel aan toe dat het voor ondernemingen duurder is om werknemers zodanig te trainen dat ze over een hoger aantal vaardigheden beschikken dan wanneer ze getraind worden tot een minder hoog niveau. Een bijkomend nadeel is dat het management een keuze zal maken over welke werknemers eerst te trainen (Slomp & Molleman, 2002). De samenstelling en mate van flexibiliteit zal later in deze masterproef nog besproken worden. Wel kan reeds aangehaald worden dat te veel cross-training leidt tot een grote stijging van de kosten (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004), een daling van de kwaliteit (Pinker & Shumsky, 2000) en een verandering in het gedrag van werknemers (Schultz, McClain & Thomas, 2003).

Door het switchen tussen verschillende taken kunnen werknemers op een plaats staan waar ze de taak niet zo goed kunnen als op een andere plaats. Bij een hoge flexibiliteit, is die kans groter. Daardoor treedt licht productiviteitsverlies op (Felan & Fry, 2001).

De tijd die nodig is om iets te leren en vooral om dat iets na verloop van tijd bij te scholen, zal (soms te) lang zijn (Malhortra & Kher, 1994). Vooral het onderhouden van de vaardigheden kost veel tijd en inzet vonden Slomp, Bokhorst en Molleman (2005) en Molleman (1998). Die idee kan beschreven worden met de term *learning curve* (onder andere: Yue, Slomp, Molleman & Van Der Zee, 2008 en Xu, Xu & Xie, 2011). Ondernemingen trainen hun werknemers op bepaalde vaardigheden. Na verloop van tijd zullen die vaardigheden opnieuw bijgetraind worden omdat werknemers niet alle nieuwe dingen kunnen onthouden, zeker als ze de vaardigheden slechts sporadisch nodig hebben. Elke onderneming heeft werknemers die snel bijleren en werknemers die traag bijleren. Ook hebben nieuwe werknemers vaak meer training nodig dan werknemers die reeds in die onderneming werken. Die verschillen brengen voor de onderneming extra kosten en productiviteitsverlies met zich mee (Xu, Xu & Xie, 2011).

Ondernemingen kunnen de trainingskosten drukken door werknemers een laag initieel loon aan te bieden. Die maatregel heeft als gevolg dat werknemers daardoor in eerste instantie financieel benadeeld worden. De verantwoording daarvoor is dat werknemers veel vaardigheden ontwikkelen die ook buiten hun job van toepassing kunnen zijn. Ze doorlopen een groeiproces waar zowel de onderneming als de werknemer van kan profiteren. Eenmaal de gewenste flexibiliteit bereikt is, bieden ondernemingen de getrainde werknemers vaak een hoger loon aan. Zo wordt het initieel lage loon gecompenseerd (Adnett, Bougheas & Georgellis, 2003). Volgens Norman et al. (2002) hebben werknemers met meer vaardigheden in de meeste gevallen inderdaad een hoger loon.

Elke tak van een onderneming heeft wel ergens een taak die geen enkele werknemer graag doet. Iedereen verschuilt zich achter de vele vaardigheden die ze bezitten. Meer algemeen kan deze vorm gedefinieerd worden als sociaal lanterfanten (Slomp & Molleman, 2002). Toch wordt die eenvoudige en saaie taak ook uitgevoerd. Werknemers met veel vaardigheden kunnen gedemotiveerd geraken als ze steeds dezelfde eenvoudige taken uitvoeren, waarvoor ze hun hoge vaardigheden niet nodig hebben.

Werknemers die een bepaalde taak in hun onderneming als één van de enigen kunnen uitvoeren voelen zich vaak uniek en onmisbaar (Fazakerley, 1967). Als veel cross-training aanwezig is in die onderneming kunnen meer en meer andere werknemers die functie ook uitvoeren en verdwijnt langzamerhand de diversiteit die voordien aanwezig was. De specialist van vroeger kan daardoor veel aan motivatie verliezen (Fazakerley, 1967).

In het vorige hoofdstuk viel te lezen dat cross-training voornamelijk voordelen oplevert. Die voordelen worden echter wel kleiner als de werknemers niet van nature uit over de mogelijkheid tot ontwikkeling van hoge vaardigheden beschikken. De flexibiliteit wordt dan beperkt door de aantal extra vaardigheden dat de werknemers kunnen verwerken (Yang, 2007).

2.3.1.4 Mate van flexibiliteit

Enkelvoudige flexibiliteit houdt in dat alle werknemers in een onderneming dezelfde graad van training krijgen. Meervoudige flexibiliteit daarentegen betekent dat sommige werknemers meer training krijgen dan andere om zo verschillende niveaus van vaardigheden te creëren (Felan & Fry, 2001). Zoals verder zal blijken is in de literatuur geen eensgezindheid over welke methode nu de beste is. Yang (2007) vindt dat een onderneming de cross-training beter kan spreiden over meerdere werknemers met een gelijkaardig aantal vaardigheden in plaats van enkele werknemers op te leiden zodat ze veel vaardigheden hebben. Ook Slomp en Molleman (2002) en Bokhorst, Slomp en Molleman (2004) sluiten zich bij die redenering aan. Felan en Fry (2001) daarentegen besluiten dat het beter is een mix te hebben van flexibele en niet-flexibele werknemers dan werknemers met

allemaal hetzelfde aantal vaardigheden. Sommige werknemers kunnen bepaalde taken beter aan dan andere werknemers, ook na cross-training. Werknemers dienen ook de aangeleerde vaardigheden genoeg te kunnen gebruiken. Een te uitgebreid programma van vaardigheden is dus nadelig (Molleman, 1998). De combinatie veel werknemers met één vaardigheid, zodat die hun taak zeer efficiënt kunnen uitvoeren, en een kleiner aantal werknemers met veel vaardigheden, om de extra belasting te kunnen helpen wegwerken bij de verschillende taken, lijkt volgens Felan en Fry (2001) daardoor voordelig. Zij besloten dus uit hun onderzoek dat het beter is om sommige werknemers heel goed te trainen dan alle werknemers een beetje te trainen. Maar zoals reeds aangegeven, zijn niet alle onderzoekers het eens met die aanpak. De meesten sluiten zich eerder aan bij een gelijke flexibiliteit voor alle werknemers.

Het management dient rekening te houden met psychologische, sociale en organisatorische gevolgen waardoor volledige flexibiliteit vaak niet wenselijk is. De gekozen methode zal afhangen van de behoeften van de onderneming. Het is een complexe mix van motieven en belangen die de cross-trainingbeslissingen beïnvloeden (Slomp & Molleman, 2002). Zo zullen factoren zoals persoonlijkheid, vermoeidheid en teambuilding in rekening gebracht worden om meer accurate systemen te kunnen ontwikkelen (Xu, Xu & Xie, 2011).

Yue et al. (2008) vinden dat cross-training tot twee vaardigheden (= de gekozen multifunctionaliteit) in DRC-systemen voor de meeste ondernemingen tot de beste prestaties leidt. Ook Yang (2007), Fryer (1974b), Fryer (1975), Park (1991) en Scudder (1986) komen tot deze vaststelling. Die redenering is gedeeltelijk gebaseerd op de idee dat niet alle werknemers even bekwaam zijn om meerdere vaardigheden te onthouden en uit te oefenen. Daardoor is het vaak beter om werknemers te trainen in minder vaardigheden dan hen ondeskundig te trainen in meerdere vaardigheden (Yang, 2007). Dergelijke conclusie trekken ook Slomp en Molleman (2002) en Molleman (1998). Volgens hen is het niet realistisch werknemers met veel vaardigheden te hebben als de uit te voeren taken vrij complex en gevarieerd zijn omdat werknemers een beperkte leercapaciteit hebben en omdat de trainingskosten (Felan & Fry, 2001) dan te hoog zouden liggen. Indien het budget een beperkende factor is, raden Norman et al. (2002) ondernemingen aan te investeren in zowel technische als sociale vaardigheden.

Omdat het niet mogelijk om alle werknemers tegelijk te trainen, definiëren Slomp en Molleman (2002) vier methodes om de problematiek omtrent “welke werknemer trainen we als volgende?” op te lossen. In *the critical task policy* wordt allereerst de taak met de hoogste waarde geselecteerd. Dat wordt gezien als de belangrijkste taak. Die taak heeft de hoogste waarde voor de kritische ratio: [vraag / bekwame werknemers voor de uitvoering van de taak]. Een hoge vraag en weinig

gekwalficeerde werknemers levert hogere belangrijkheid op. De werknemer die de belangrijkste job niet kan uitvoeren en het minst nodig is voor andere taken wordt als eerste getraind. “De werknemer die het minst nodig is” wordt bepaald als de werknemer met de kleinste kritische ratio. *The worker flexibility policy* selecteert eerst de werknemer met het minst aantal vaardigheden. Die werknemer wordt getraind voor de meest belangrijke taak waarvoor hij niet over de vaardigheden beschikt. De managers zoeken naar een balans in multifunctionaliteit voor de beschikbare werknemers. *The random policy* is een verzamelnaam voor alle beleidsvormen die beslissingen niet baseren op informatie over werknemers en taken. De werknemers worden willekeurig gekozen voor een volgende taak. *The bottleneck redundancy policy* selecteert in een eerste stap alle werknemers met de meeste werklast, die niet verminderd kan worden door werk door te schuiven naar andere werknemers. De tweede stap selecteert van een bottleneckwerknemer de taak waarvan de kritische ratio het meest verminderd kan worden door de werknemer een vaardigheid bij te trainen. De derde stap kiest de werknemer die de taak uit stap twee niet kan uitoefenen en die een minimale werkbelasting heeft. Felan en Fry (2001) voegen als maatstaf de productiviteit van een werknemer toe. Productieve werknemers krijgen de kans om zich verder te ontplooiën tot een flexibele werknemer door de aangeboden training.

2.3.1.5 Human Resource Management

Het *Human Resource Management* (HRM) departement heeft een belangrijke taak binnen een onderneming. De aanwezigheid van HRM is van nog groter belang als die onderneming DRC-systemen gebruikt. Belangrijke taken rusten op de schouders van de HRM-dienst. Hij speelt een belangrijke rol in de aanwerving, training, ontwikkeling, verloning en motivatie van werknemers.

De aanwerving van personeel hoort te gebeuren in functie van de hele onderneming. Zo wordt rekening gehouden met de vaardigheden van de potentiële werknemer, de mogelijkheid om de werknemer bij te trainen en de attitude van de werknemer tegenover de cross-training (Molleman, 1998). Ook het profiel van nieuwe leidinggevendenden en managers dient te passen in de filosofie van de onderneming met DRC-systemen (Molleman, 1998).

De HRM-dienst bedenkt een bepaald verloningssysteem waarbij zowel het aantal vaardigheden als productiviteitsvariabelen in rekening gebracht worden. Op sommige momenten doen werknemers met meer vaardigheden hetzelfde werk als de niet-flexibele. De manier waarop een evenwicht voor verloning opgesteld wordt, ligt in handen van HRM (Felan & Fry, 2001). De ontwikkeling, training en motivatie van de werknemers kan aan het verloningssysteem gelinkt worden. Door interesse te tonen in werknemers en hen niet te beschouwen als een middel om de doelstellingen te bereiken, kunnen de werknemers gemotiveerd blijven (Molleman, 1998). Door de nadruk te leggen op het

menselijk aspect kunnen ondernemingen een serieus competitief voordeel realiseren (Norman et al., 2002). Verder dienen de HRM-medewerkers te zorgen voor socialisatie en inburgering van de (nieuwe) werknemers.

Ontslagkosten kunnen hoog oplopen. Als een onderneming veel investeringen in een werknemer gedaan heeft, lopen die kosten nog hoger op. Ook als de werknemers vrijwillig vertrekken en de onderneming grote investeringen voor cross-training in die werknemers gedaan heeft, ondervindt de onderneming financieel nadeel (Adnett, Bougheas & Georgellis, 2003). Acemoglu (1997) vindt dat het invoeren van financiële sancties voor werknemers die ontslag nemen nadat ze cross-training kregen een positief effect heeft op de efficiëntie van de investeringen in cross-training.

Volgens Huber en Brown (1991) leiden cross-training en multifunctionaliteit ertoe dat in ondernemingen meer naar een vorm van geïntegreerd management gestreefd wordt. De functies van specialisten en managers verdwijnen langzamerhand omdat werknemers meer en meer dezelfde vaardigheden hebben. HRM staat alle personeelsleden daarin bij en zorgt dat veranderingen correct gecommuniceerd en gemanaged worden (Huber & Brown, 1991).

2.3.2 Kost voor het transfereren van werknemers

Vergeten en opnieuw leren door werknemers is een proces dat bij DRC-systemen niet weg te denken is. Als werknemers vaak overschakelen van de ene naar de andere machine ontstaat een licht productieverlies met bijhorende kosten tot gevolg (Xu, Xu & Xie, 2011). Volgens Jaber, Kher en Davis (2003) kan het productieverlies minimaal gehouden worden door een verbetering van het transferbeleid of door meer training in de beginfase. Bij het overschakelen op een andere taak verliezen werknemers tijd doordat de verplaatsing van punt A naar punt B effectief gemaakt dient te worden (Hottenstein & Bowman, 1998).

2.3.3 Toewijzingsregels

Toewijzingsregels zijn regels die werknemers toekennen aan bepaalde werkstations (Xu, Xu & Xie, 2011). Met behulp van drie grote soorten toewijzingsregels wordt de planning geoptimaliseerd. Hieronder worden de wanneer-regel, waar-regel en wie-regel besproken.

2.3.3.1 Wanneer-regel

“Wanneer schuiven werknemers door van het ene naar het andere werkstation?”, is de vraag die wanneer-regels beantwoorden. De twee meest voorkomende wanneer-regels zijn volgens de literatuur de gecentraliseerde controleregel en de gedecentraliseerde regel (Hottenstein & Bowman, 1998, Salum & Araz, 2009, Xu, Xu & Xie, 2011, ...). De gecentraliseerde controleregel laat toe de werknemer te transfereren naar een ander werkstation zodra hij zijn taak uitgevoerd heeft, zelfs als

nog andere in de wachtrij staan bij dat werkstation. De gedecentraliseerde controleregel daarentegen laat enkel toe de werknemer te transfereren naar een ander werkstation als de wachtrij geen taak meer bevat (Hottenstein & Bowman, 1998 en Xu, Xu & Xie, 2011).

2.3.3.2 Waar-regel

“Naar welke werkstations worden de werknemers overgeplaatst als ze vrijgegeven worden bij het vorige werkstation?”, is de vraag die waar-regels beantwoorden. In studies van Jensen (2000), Xu, Xu en Xie (2011), Salum en Araz (2009), Kher (2000a), Kher en Fry (2001) en Hottenstein en Bowman (1998) komen onder andere volgende waar-regels aan bod:

- willekeurig;
- langste wachtrij (LNQ);
- *earliest due date* (EDD);
- cyclisch;
- meeste taken met de hoogste prioriteit;
- *first come, first served* (FCFS);
- *first in system, first served* (FISFS);
- *last come, first served* (LCFS);
- werkstation met kortste bewerkingstijd (SOT);
- werkstation waar werknemers de hoogste efficiëntiegraad behalen.

De werknemer kan enkel getransfereerd worden naar een werkstation als hij over de juiste vaardigheden (= flexibiliteit) beschikt om de taak in dat werkstation naar behoren uit te voeren.

2.3.3.3 Wie-regel

“Wie van de werknemers wordt getransfereerd”, is de vraag die wie-regels beantwoorden. De wie-regel houdt rekening met het individu en aangeleerde vaardigheden (Bokhorst, Slomp & Molleman, 2004).

De wie-regel is vooral van toepassing in twee scenario's (Bokhorst, Slomp & Molleman, 2004). Het eerste scenario schetst de situatie waarbij een taak arriveert bij een onbemand werkstation. De wie-regel bepaalt wie van de beschikbare werknemers de taak zal uitvoeren. Het tweede scenario schetst de situatie waarbij een taak in een werkstation beëindigd is. In het geval van de gecentraliseerde controleregel wordt via een waar-regel bepaald naar welk werkstation de werknemers worden overgeplaatst als ze worden vrijgegeven in het vorige. Vaak wordt dan gewerkt met “transfereer naar het werkstation waar werknemers de hoogste efficiëntiegraad behalen”. Aan de hand van de wie-regel wordt dan bepaald welke werknemer het huidige werkstation verlaat en welke werknemer zijn

plaats inneemt. In het geval waarbij de gedecentraliseerde controleregel geldt, zal de procedure van waar- en wie-regels pas doorlopen worden als alle taken aan dat werkstation voltooid zijn. Een bijkomend verschil ten opzichte van de gecentraliseerde controleregel is dat de vertrekkende werknemer in het huidige werkstation nu niet dient vervangen te worden (Bokhorst, Slomp & Molleman, 2004).

Bokhorst, Slomp, en Molleman (2004) definiëren enkele wie-regels:

- willekeurig;
- *longest idle time* (LIT);
- prioritair;
- voorrang geven aan minder flexibele persoon.

2.3.4 Vrijgave van taken

De order review release (ORR) regel bepaalt wanneer taken worden vrijgegeven. Om dergelijke beslissing te nemen, is veel input van informatie nodig. Zo is informatie over de huidige werkbelasting (*Current Workload Information, CWI*) nodig. Dat is alle informatie betreffende de taken op de werkvloer. Het biedt dus informatie over de beschikbaarheid van machines in werkstations op de route van de vrij te geven taak. De toekomstige werkbelasting (*Future Workload Information, FWI*) hebben we ook nodig. Dat is alle informatie over de taken, de nog niet vrijgegeven taken en de taken die volgens de voorspellingen binnenkomen. Verder hebben we ook de huidige arbeidsinformatie (*Current Labour Information, CLI*) nodig. Die verschaft ons informatie over de beschikbaarheid van werknemers (Fredendall, Melnick & Ragatz, 1996). Fredendall, Melnick en Ragatz (1996) schrijven dat het gebruik van huidige en toekomstige informatie over de werkbelasting duidelijk voordeel oplevert.

2.3.5 Wachtrijtheorieën

De sectie omtrent wachtrijtheorieën handelt over de verschillende volgordes waarin taken kunnen uitgevoerd worden. Welke taak heeft voorrang op de andere? Xu, Xu en Xie (2011) geven de meest gebruikte weer:

- *first come, first served* (FCFS);
- *first in system, first served* (FISFS);
- *last come, first served* (LCFS);
- kleinste *critical ratio* (CR): $([due\ date - \text{huidige datum}] / \text{aantal resterende werkdagen})$;
- werkstation met kortste bewerkingstijd eerst (SOT);
- *earliest due date* (EDD);

- *slack time remaining* (STR): (*due date* - resterende procestijd);
- STR per bewerking (STR/OP).

Afhankelijk van de doelstellingen (minimaliseren van de flow time, minimaliseren van goederen in bewerking, streven naar de vervaldatum, ...) van de onderneming wordt een keuze gemaakt uit bovenstaand lijstje.

2.4 Simulatie

Simulatie verwijst naar een breed gamma van methoden en toepassingen die werkelijke systemen nabootsen. Het is een proces waarbij een geautomatiseerd model van een werkelijke situatie ontworpen en gecreëerd wordt met als doel het uitvoeren van enkele numerieke experimenten, om zo een beter beeld te vormen van het gedrag van het systeem onder bepaalde (test)voorwaarden. Technologie, zoals computers en bijhorende software, is bijna onmisbaar geworden in onze maatschappij. De populariteit en kracht van simulaties is door technologische vooruitgang zeer hard toegenomen (Kelton, Sadowski & Swets, 2010).

Simulatie laat toe om zeer ingewikkelde modellen te analyseren en correcte conclusies te trekken. Bepaalde simulatiemethoden worden steeds meer benut omdat verschillende complexiteiten behandeld kunnen worden. In productiebedrijven kunnen modellen een dermate complexe vorm aannemen dat analytische methoden tekort schieten (Jahangirian, Eldabi, Naseer, Stergioulas & Young, 2010). Ondanks die moeilijke modellen is simulatie eenvoudig te gebruiken dankzij onder meer de vooruitgang in hardware en software die zorgt voor constante verbeteringen en snellere analyses. Niet alleen de vooruitgang in hardware en software, maar ook de verbeteringen in de prijs/prestatie ratio van hardware zorgen voor een stijging van de populariteit van simulatie. Verder wordt de verwerkingsmethode steeds meer kosteneffectief. Ook geeft simulatie een zekere flexibiliteit die gebruikers ten eerste appreciëren (Kelton, Sadowski & Swets, 2010).

Simulatie wordt voornamelijk gebruikt als een keuze gemaakt wordt tussen alternatieven die te maken hebben met het concept 'planning' (Jahangirian et al., 2010). Het is een nuttige methode om het optimaal aantal bedieningseenheden (machines, werknemers) te bepalen. Die beslissing kan veranderen naargelang bijvoorbeeld de vraag fluctueert of de arbeidskost stijgt (Feyzioglu, Pierreval & Deflandre, 2005). Ook wordt simulatie gebruikt voor het onderzoeken van nieuwe, niet bestaande systemen. Het kan bestaande problemen oplossen door alternatieven en wijzigingen te simuleren. Nog veel belangrijker echter is het feit dat simulatie van een bepaald systeem ook problemen kan blootleggen. Op die manier kunnen eventuele hindernissen op tijd en stond weggewerkt worden alvorens zij in de werkelijke wereld optreden (Kuo & Yang, 2011).

Beslissingsnemers stellen zich bij simulatie steeds de vraag: wat-als. Op die manier kunnen ze begrijpen hoe het model reageert als bepaalde inputgegevens een andere waarde, verdeling, procestijd, ... krijgen. Door de output van verschillende alternatieven te bekijken kan aan de hand van statistische verwerkingen een gefundeerde beslissing genomen worden (McHaney en Cronan, 2000). Vooraleer de output vergeleken wordt, zal het simulatiemodel enkele replicaties ondergaan. Meer replicaties betekent meer betrouwbaarheid. Door op deze manier te werken, zullen de resultaten een goed beeld weergeven. Conclusies trekken op basis van een specifieke simulatierun die afwijkend is van de gemiddelde resultaten, wordt zo vermeden (Rennard, 2005).

3 Praktijk

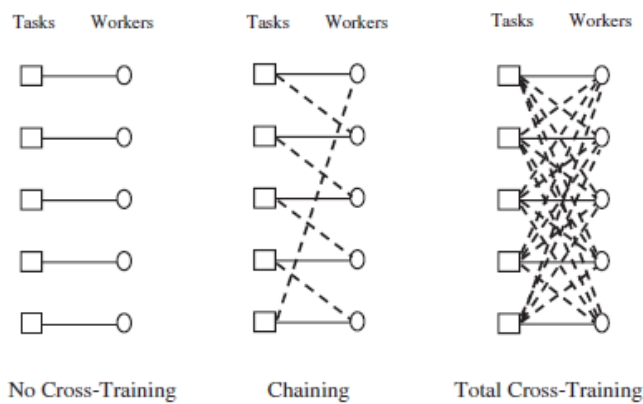
In dit hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven van de relevante literatuur voor het opstellen van het simulatiemodel. Vervolgens worden de verschillende onderdelen van het basisscenario en daarna elk individueel alternatief scenario toegelicht. Eenmaal het simulatiemodel is opgesteld, wordt de output van de verschillende scenario's geanalyseerd en vergeleken.

3.1 Bevindingen uit de literatuur

Flexibiliteit is uiterst belangrijk om concurrentieel te blijven. Sneller introduceren van nieuwe producten, kleinere lotgroottes, sneller omschakelen naar productie van een ander product op dezelfde machine, kleine reactietijd en geïndividualiseerde producten zijn voorbeelden van uitdagingen die ondernemingen aangaan om hun concurrentiepositie te handhaven. Verder dienen ondernemingen soms het productieproces stil te leggen omdat een bepaald werkstation de snelheid van de productielijn niet aankan en daardoor de producten niet verwerkt krijgt (Hottenstein & Bowman, 1998). Ook wordt een productiesysteem zwaar op de proef gesteld als bijvoorbeeld het aantal afwezige werknemers op de productielijn groter is dan het aantal stand-by werknemers. De onderneming gaat elders binnen het bedrijf op zoek naar werknemers die in desbetreffende productielijn kunnen inspringen. De vervanger zal vaak het tempo van de productielijn niet kunnen aanhouden met als gevolg dat de productielijn doorheen de dag af en toe stopgezet of onderbroken wordt zodat de vervanger kan bijwerken. Als niet elke taak kan opgenomen worden door een daarvoor getrainde werknemer dan faalt het systeem. Werknemersflexibiliteit biedt een oplossing voor zowel bovenvermelde uitdagingen als falingen (Hottenstein & Bowman, 1998). De werknemersbetrouwbaarheid geeft de kans weer dat elke taak door een daarvoor getrainde werknemer uitgevoerd wordt. Een groep werknemers met cross-training zal daardoor productiever zijn dan een groep gespecialiseerde werknemers omdat meer mogelijkheden tot het balanceren van de werklasten aanwezig zijn. Het doel is om de werknemersbetrouwbaarheid te maximaliseren en daarbij de investeringen in cross-training te minimaliseren (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004). Vele onderzoekers zoals bijvoorbeeld Felan en Fry (2001), Hopp et al. (2004), Inman, Jordan en Blumenfeld (2004) en Yue et al. (2008) claimen dat gedeeltelijk en volledig ketenen een effectieve cross-training strategie is in veel situaties. Door te ketenen wordt een beter evenwicht van de werklasten tussen werknemers gerealiseerd (Yue et al., 2008).

Het begrip ketenen kan verduidelijkt worden aan de hand van Figuur 3. Die figuur vergelijkt geen cross-training met ketenen en met een volledige cross-training voor een productiesysteem met vijf werknemers en vijf taken. In de situatie zonder cross-training is elke werknemer getraind om slechts een taak uit te voeren. Bij ketenen krijgen alle werknemers een training zodat ze twee taken kunnen

uitvoeren. Daarbij is de toewijzing van de taken aan de werknemers zodanig georganiseerd dat ze een gesloten keten vormen. In de situatie met volledige cross-training voeren alle werknemers alle taken uit (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004).



Figuur 3: Vergelijking van cross-training strategieën (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)

Het begrip ketenen hoort drie eigenschappen te bezitten vooraleer we van een volledig geketend productieproces spreken (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004). Ten eerste moet elk werkstation een werknemer van een ander werkstation als back-up hebben. Ten tweede moet een werknemer van elk werkstation cross-training krijgen om in een ander werkstation aan de slag te kunnen. Ten derde moeten alle werkstations onderling verbonden zijn. Een keten is compleet als de volledige keten afgelegd kan worden, startend van een willekeurig werkstation of werknemer, zonder een bepaalde verbinding tussen twee knooppunten meer dan een keer te gebruiken (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004).

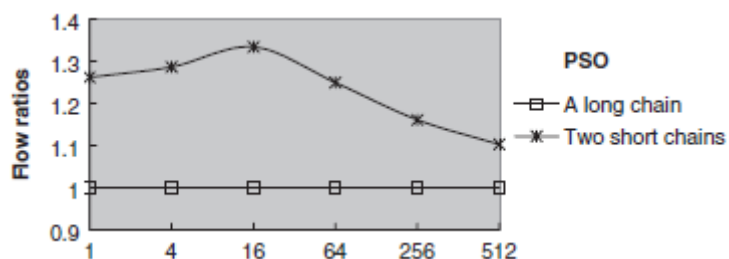
Ketens kunnen zowel lang als kort zijn (Yue et al., 2008). Figuur 4 presenteert een voorbeeld van beide. In het eerste model maken twee werknemers deel uit van de keten. Die situatie bestaat daardoor uit twee korte ketens. In model twee daarentegen behoren de vier werknemers tot eenzelfde lange keten. De twee modellen hebben echter wel evenveel vaardigheden per uit te voeren taak (= vaardighedenoverlap), namelijk twee, ter beschikking. In een lange keten wordt de werknemerscapaciteit beter benut en kan het systeem flexibeler reageren op schommelingen in de werklasten.

Workers	Pattern							
	I				II			
	Two short chains				Long chain			
	Departments				Departments			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
W1	1	1			1	1		
W2	1	1				1	1	
W3			1	1			1	1
W4			1	1				1

Figuur 4: Patronen van vaardighedenoverlap (Yue et al., 2008)

De literatuur schetst verschillende mogelijkheden om cross-training en multifunctionaliteit in ondernemingen te organiseren. Onder andere Fryer (1974b), Fryer (1975), Malhotra et al. (1993), Park (1991), Scudder (1986), Yang (2007) en Yue et al. (2008) vinden dat cross-training tot twee vaardigheden (= de gekozen multifunctionaliteit) in DRC-systemen voor de meeste ondernemingen tot de beste prestaties leidt. Dergelijk trainingsschema wordt daarom zeker en vast in de praktijkstudie opgenomen. Vooraleer de verschillende trainingsschema's te formuleren, worden op basis van de literatuur enkele voorbeeldtrainingsschema's beschreven.

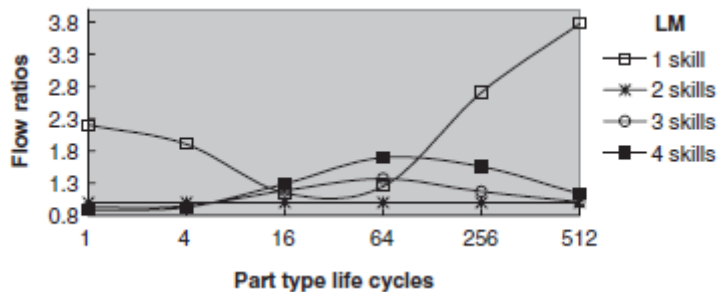
Yue et al. (2008) gebruiken als maatstaf de tijd die nodig is om een bepaalde hoeveelheid taken af te werken. Onderstaande figuur (Figuur 5) toont aan dat flexibiliteit in een lange keten georganiseerd voordeliger is dan in twee korte ketens. Immers hoe lager de doorstroomratio (gemiddelde doorstroomtijd gedeeld door de basisconfiguratie) hoe beter voor de onderneming. Naarmate de grootte van de levenscyclus van het geproduceerde product (*part type life cycles*) toeneemt, wordt het verschil tussen beide wel kleiner. De variabele *part type life cycles* wordt gepresenteerd op de x-as.



Figuur 5: Korte ketens versus een lange keten (Yue et al., 2008)

Yue et al. (2008) onderzoeken ook welk aantal vaardigheden leidt tot de beste prestaties. Zij argumenteren dat een evenredig verdeeld flexibiliteitsniveau van twee, drie en vier steeds meer gelijk presteert naarmate de omgeving minder dynamisch (toename grootte van de levenscyclus van

het geproduceerde product) wordt. Het beschikken over een enkele vaardigheid wordt in dergelijke omgeving problematisch. De werklasten kunnen niet gespreid worden omdat alle werknemers slechts één taak kunnen uitvoeren. Hun conclusie luidt dat een flexibiliteit van twee vaardigheden in de meeste situaties leidt tot de beste prestaties. Dat toont Figuur 6.



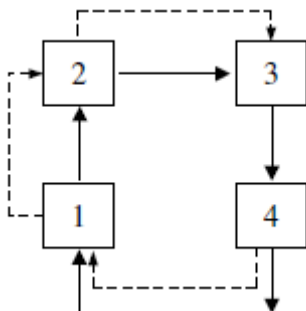
Figuur 6: Flexibiliteitsniveau (Yue et al., 2008)

Felan en Fry (2001) daarentegen sluiten zich niet volledig aan bij de resultaten van Yue et al. (2008). Zij onderzochten een gelijke en niet gelijke verdeling van vaardigheden onder de werknemers. Een ongelijke verdeling waarbij bijvoorbeeld sommige werknemers slechts één vaardigheid en andere werknemers volledige flexibiliteit hebben, levert volgens hun de beste prestaties. Met dergelijke ongelijke verdeling van vaardigheden in het achterhoofd is het nog steeds mogelijk om tal van configuraties te vergelijken. Zo bekijken Felan en Fry (2001) in hun studie dertien verschillende schema's, zoals weergegeven in Figuur 7. De gemiddelde flexibiliteit varieert van 1,0 tot 4,0. Bepaalde flexibiliteitsniveaus kunnen op verschillende manieren bereikt worden. Zo zijn er twee testscenario's voor een flexibiliteit van 1,7, 2,7, en drie voor een flexibiliteit van 2,0. Daardoor kan de flexibiliteitsamenstelling ook vergeleken worden in plaats van enkel het flexibiliteitsniveau. Ook hier resulteert een flexibiliteit van een enkele vaardigheid tot het laagste prestatieniveau. Zij concluderen dat een flexibiliteit van 1,7 tot even goede resultaten leidt dan een flexibiliteit van 2,0. Dat is een belangrijke uitkomst omdat minder geld en tijd aan training gependend wordt om een flexibiliteit van 1,7 te bereiken in plaats van een flexibiliteit van 2,0.

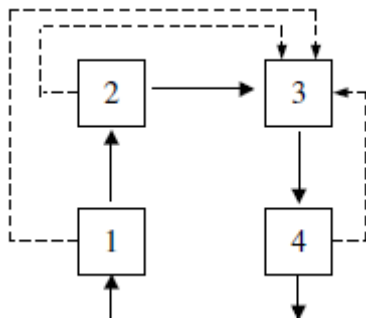
Configuration	Level	Department				Flexibility	Configuration	Level	Department				Flexibility
		1	2	3	4				1	2	3	4	
1	1	3	3	3	3	1.0	8	1	1	1	1	2.3	
	2	0	0	0	0			2	2				
	3	0	0	0	0			4	4				
2	1	2	2	2	2	1.3	9	1	1	1	1	2.7	
	2	2	2	2	2			1	1				
	3	0	0	0	0			6	6				
3	1	2	2	2	2	1.7	10	1	0	0	0	2.7	
	2	1	1	1	1			4	4				
	3	2	2	2	2			4	4				
4	1	1	1	1	1	1.7	11	1	1	1	1	3.0	
	2	4	4	4	4			0	0				
	3	0	0	0	0			8	8				
5	1	2	2	2	2	2.0	12	1	0	0	0	3.3	
	2	0	0	0	0			2	2				
	3	4	4	4	4			8	8				
6	1	1	1	1	1	2.0	13	1	0	0	0	4.0	
	2	3	3	3	3			0	0				
	3	2	2	2	2			12	12				
7	1	0	0	0	0	2.0							
	2	6	6	6	6								
	3	0	0	0	0								

Figuur 7: Flexibiliteitsconfiguraties (Felan & Fry, 2001)

Hopp, Tekin en Van Oyen (2004) vergelijken het produceren in een volledige keten met produceren in een gedeeltelijke keten en *cherry picking* (CP). In een gedeeltelijke keten beschikken de werknemers van de *bottleneck* niet over meerdere vaardigheden, zoals weergegeven in Figuur 8. Alle andere werkstations kunnen immers aan de theoretische 100 procent capaciteit werken zonder dat de *bottleneck* werknemers cross-training doorlopen. De keten is gedeeltelijk omdat niet voldaan is aan alle hierboven vermelde voorwaarden. Bij CP wordt capaciteit in werkstations weggenomen en toegevoegd bij de *bottleneck*, wat te zien is in Figuur 9. In het algemeen leidt volgens Hopp, Tekin en Van Oyen (2004) het produceren in een volledige keten tot de beste resultaten.

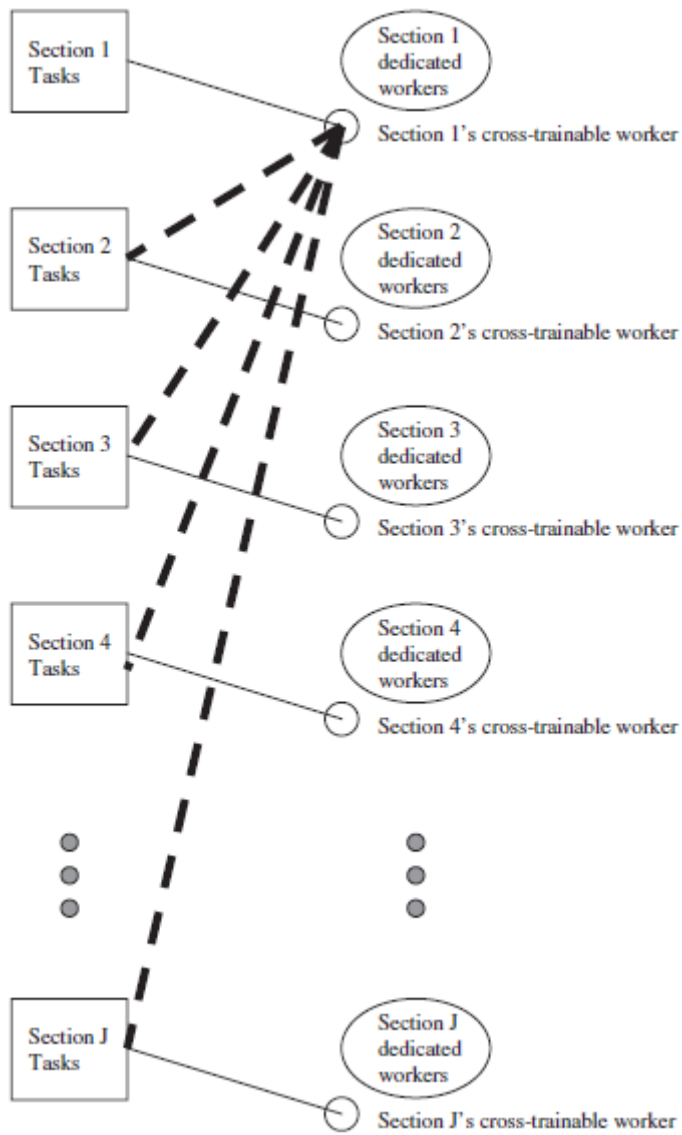


Figuur 8: Gedeeltelijke keten (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004)

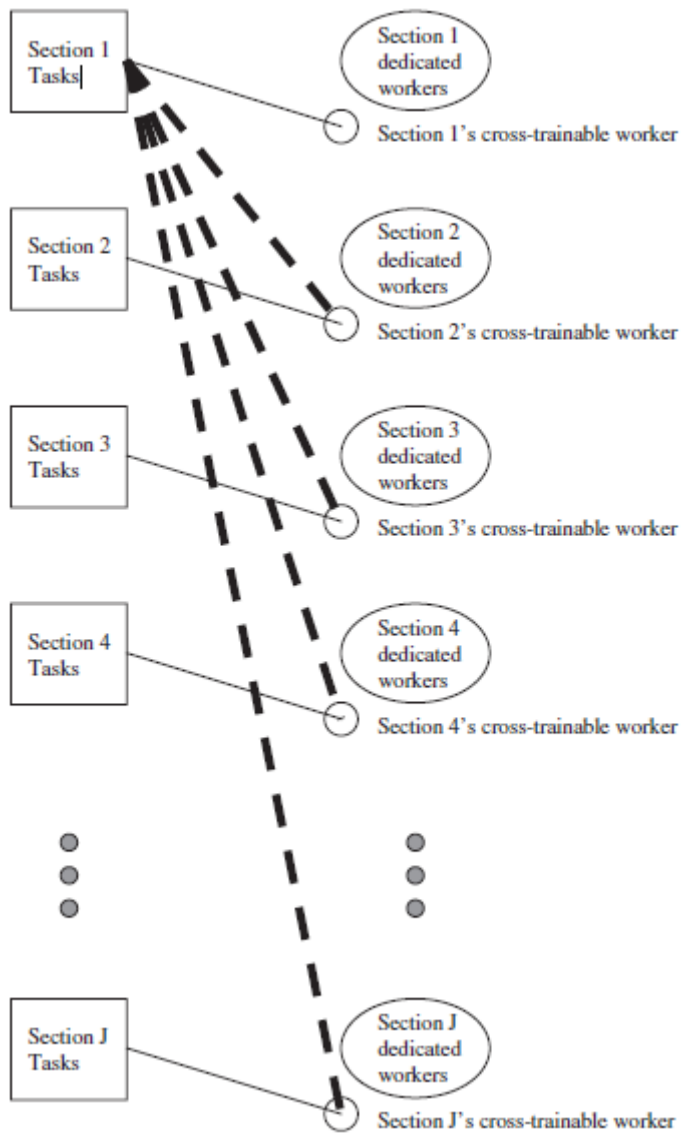


Figuur 9: Cherry Picking (Hopp, Tekin & Van Oyen, 2004)

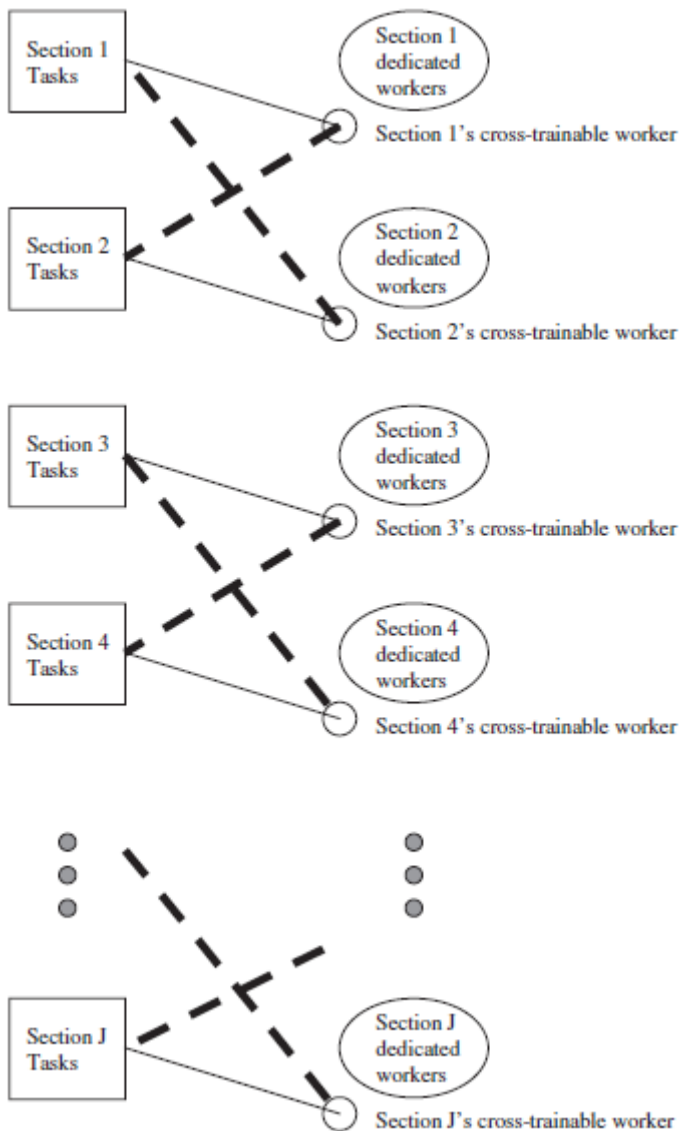
Tot slot geven Inman, Jordan en Blumenfeld (2004) nog enkele algemene voorbeelden van hoe cross-training georganiseerd kan worden. Het eerste trainingsbeleid (Figuur 10) is 'een-voor-allen' waarbij een enkele werknemer voor alle taken getraind wordt. In het tweede trainingsbeleid (Figuur 11) 'allen-voor-een' daarentegen worden alle werknemers van een extra vaardigheid voor een dezelfde taak voorzien. Een derde trainingsbeleid bestaat uit het cross-trainen van de werknemer voor de taak waarmee zijn oorspronkelijk taak een paar vormt. Dat beleid krijgt de naam 'cross-training tussen onderlinge paren'. Figuur 12 verduidelijkt de derde beleidsvorm. Voorts beschrijven de auteurs ook het beleid waarbij geen cross-training, volledige cross-training en geketende cross-training aanwezig zijn.



Figuur 10: Een-voor-alen (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)



Figuur 11: Allen-voor-een (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)



Figuur 12: Cross-training tussen onderlinge paren (Inman, Jordan & Blumenfeld, 2004)

3.2 Algemene informatie simulatiemodel

Een productiesysteem waarbij verschillende DRC-systemen worden uitgetest, wordt gesimuleerd. De allocatie van werknemers aan de verschillende werkstations is daarin de cruciale factor. Elk alternatief scenario weerspiegelt een mogelijk DRC-systeem. Die alternatieven vormen de basis om met de oorspronkelijke, niet DRC, situatie te vergelijken en uiteindelijk een beslissing te nemen. Het opstellen van de alternatieven gebeurt op basis van de literatuur en zal later toegelicht worden.

Zoals eerder aangehaald wordt in deze masterproef gebruik gemaakt van een computersimulatie. Het is een populaire methode om productieprocessen te analyseren en evalueren. De mogelijkheid om complexe en veranderende situaties aan te pakken, maakt van computersimulatie een zeer aantrekkelijk methode. Het softwareprogramma Arena[®] wordt daarvoor gebruikt. Die software is

gekend voor het hanteren van een discrete gebeurtenissimulatie. Unieke en specifieke gebeurtenissen kenmerken een productieproces onderhevig aan zo'n discrete gebeurtenissimulatie.

Deze sectie zal ten eerste algemene informatie over het te simuleren productieproces weergeven. Ten tweede worden enkele specifieke begrippen in verband met de simulatie verduidelijkt. Ten derde worden de verschillende gemaakte assumpties in het simulatiemodel uitgelegd.

3.2.1 Productieproces

Het proces bestaat uit een seriële productielijn met zes verschillende werkstations met elk hun eigen procestijden. Alle producten dienen alle werkstations sequentieel te passeren. Ieder product doorloopt met andere woorden de volledige productielijn. Het gesimuleerde productieproces is slechts een van de processen die het product in de onderneming dient te doorlopen. De output van het te simuleren productieproces vormt de input voor het volgende productieproces. In de huidige situatie van het gesimuleerde productieproces zijn zes werknemers aanwezig die aan een specifiek workstation worden toegewezen. Elke werknemer kan daardoor slechts zijn eigen workstation bedienen. Om die laatste reden worden verschillende alternatieve scenario's opgesteld en vergeleken met elkaar en met de oorspronkelijke situatie. In elk alternatief scenario worden verschillende DRC-systemen uitgetest. Telkens ondergaan de werknemers een bepaalde cross-training om vaardigheden te ontwikkelen waardoor ze ingeschakeld kunnen worden in meer dan een workstation, weliswaar niet tegelijkertijd. Het blijft echter belangrijk dat de werknemers niet constant van hier naar daar gestuurd worden. De hoofdactiviteit van de werknemer blijft het uitvoeren van zijn initiële taken.

3.2.2 Terminologie

Alvorens de specifieke opbouw van het simulatiemodel beschreven kan worden, horen enkele termen verduidelijkt te worden die van toepassing zijn in het gehanteerde simulatiemodel. De toelichting is beperkt tot het noodzakelijke om het simulatiemodel in deze masterproef te begrijpen. Kelton, Sadowski en Swets (2010) beschrijven een **entiteit** als een actor (persoon, product, ...) die doorheen het simulatiemodel beweegt. Ze verandert de status, beïnvloedt en wordt beïnvloed door andere entiteiten en heeft een effect op de verkregen resultaten. Een entiteit wordt gecreëerd door een **creatiemodule**. De creatiemodule doet een aantal entiteiten ontstaan op bepaalde tijdstippen volgens een type (kans)verdeling die wordt toegekend aan de creatiemodule. In deze masterproef representeren de entiteiten telkens een producteenheid. De logische entiteiten die aan bod komen en gegenereerd worden door een andere creatiemodule kunnen niet gelinkt worden met iets materieels. Zij dienen echter om bepaalde zaken te kunnen modelleren. Entiteiten hebben meestal nood aan een dienst. Die dienst wordt geleverd door een bedieningseenheid. In deze masterproef is

iedere bedieningseenheid een werknemer. Elke bedieningseenheid heeft een eigen **schema**. Dergelijk schema geeft de beschikbaarheid van de bedieningseenheid weer. Bedieningseenheden die dezelfde taak kunnen uitvoeren, worden gebundeld in een **set** die toebehoort aan die taak. De uitvoering van de dienst gebeurt in de **procesmodule**. Als een entiteit in een procesmodule arriveert wordt een beschikbare bedieningseenheid uit de bijhorende set gegrepen. De entiteit ondergaat gedurende een zekere tijd een behandeling. Eenmaal de behandeling uitgevoerd is, wordt de bedieningseenheid opnieuw vrijgegeven en kan een andere entiteit om die bedieningseenheid vragen. Tijdens het doorlopen van het simulatiemodel stoot de entiteit soms op een **beslissingsmodule** of **toewijzingsmodule**. In de beslissingsmodule wordt de entiteit een bepaald pad opgestuurd dat afhankelijk is van de test waaraan ze is onderworpen. In de toewijzingsmodule wordt een bepaalde toewijzing gedaan. Zo kan in die module de waarde van een **variabele** worden gewijzigd. Een variabele krijgt een initiële waarde toegekend die door het volgen van een specifiek pad in het simulatiemodel gewijzigd kan worden in een andere waarde. Na het doorlopen van het volledige simulatiemodel verlaat een entiteit het simulatiemodel via de **eindmodule** (Kelton, Sadowski & Swets, 2010).

In het simulatieprogramma en in tabellen bij de bespreking van de resultaten worden ook verschillende afkortingen gehanteerd. Een overzicht van de meest voorkomende staan hieronder opgesomd.

- Aantal in de wachtrij: NQ
- Capaciteit: Cap
- Gemiddelde: Gem
- Minuten: Min
- Standaardafwijking: σ
- Werknemer: WN
- Werkstation: WS

3.2.3 Assumpties

De eerste assumptie houdt in dat ieder werkstation de capaciteit heeft om zes verschillende werknemers tegelijkertijd aan zes verschillende entiteiten te laten werken.

De tweede assumptie veronderstelt dat de taken aan ieder werkstation worden uitgevoerd door werknemers. Die werknemers werken in een tweeshiftensysteem gedurende acht uren per dag, vijf dagen op zeven. Dat maakt dat het productieproces zestien uur per dag actief is.

De derde assumptie zegt dat de taken in de werkstations voornamelijk handenarbeid vereisen. De machines die daarvoor worden gebruikt, worden verondersteld niet te falen gedurende de simulatie. Onderhoud en herstellingen voor de hele onderneming gebeuren op zaterdag door een andere groep werknemers en staan los van het te simuleren productieproces.

De vierde assumptie legt een beperking op aan de tijd tussen verplaatsingen van werknemers. Werknemers kunnen slechts om de tien minuten tussen werkstations wisselen. Het kan daarom zijn dat een werknemer enige tijd geen taak kan uitvoeren omdat alle taken in het huidige werkstation zijn uitgevoerd en de werknemer niet mag worden ingezet in een ander werkstation. De tijdseenheid van tien minuten wordt in deze simulatie niet verder verlaagd. Als werknemers bijvoorbeeld om de vijf minuten van werkstation kunnen wisselen, is er praktisch de hele dag heen en weer geloop. Als de tijdseenheid niet als beperkende factor wordt opgenomen en de werknemers, indien voldaan aan de toewijzingsregels (die later worden gedefinieerd), ieder moment kunnen wisselen tussen werkstations, wordt niet zozeer de voordeligste werknemersflexibiliteit onderzocht, maar wel het voordeligste aantal werknemers in het vooropgestelde productieproces. Dat laatste is niet het doel van deze masterproef.

In de literatuurstudie werden reeds verschillende mogelijke toewijzingsregels besproken. De vijfde assumptie verduidelijkt de toewijzingsregels voor dit simulatiemodel. Die assumptie stelt ook een grenswaarde van de wachtrijen in de werkstations voorop. Die grenswaarde is van belang bij de toewijzingsregels die nu gedefinieerd worden. Als wanneer-regel wordt een combinatie van de gecentraliseerde controleregel en de gedecentraliseerde controleregel gebruikt. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de werknemers die hun initiële werkstation (het werkstation waarvoor de werknemers de vaardigheid hebben alvorens ze cross-training ondergaan) willen verlaten om in een ander werkstation, waarvoor ze cross-training ondergingen, bij te springen en de werknemers die terugkeren naar hun initiële werkstation nadat ze in een ander werkstation bijgesprongen hebben. De gedecentraliseerde controleregel is van toepassing op de eerste groep werknemers. De werknemers kunnen daardoor pas transfereren naar een ander werkstation als de wachtrij van hun initiële werkstation geen taak meer bevat en de wachtrij van het (de) in aanmerking komende werkstation(s) de grenswaarde van tien taken heeft overschreden. De assumptie van nul taken is zo gemaakt om het productieproces minimaal op te stropen. Aangezien ieder werkstation slechts een initiële werknemer heeft, is het plausibel dat wanneer een taak arriveert aan dat initiële werkstation de bijhorende werknemer terugkeert om die taak uit te voeren. Ook de literatuur voorziet dergelijke regel. De bijkomende vooropstelling van tien taken als grenswaarde om te kunnen inspringen bij een ander werkstation, is zo gekozen omdat een lagere grenswaarde zorgt voor een hogere doorlooptijd van producten. De werknemers springen dan te vaak bij aan een ander werkstation en zijn daardoor

te weinig aanwezig bij het initiële werkstation waardoor het productieproces vertraagt. Een hogere grenswaarde daarentegen zorgt ervoor dat de werknemers te weinig bijspringen in een ander werkstation waardoor het productieproces ook vertraagt. Sommige grenswaarden dienen gewoon vastgelegd te worden. Tabel 1 staft bovenstaande keuze. De werknemers kunnen slechts om de tien minuten tussen werkstations wisselen en de grenswaarde voor het initiële werkstation is nul. De simulatie is uitgevoerd met twintig replicaties. Visueel kan worden vastgesteld dat de simulaties met grenswaarde tien in de meeste scenario's leidt tot de laagste doorlooptijd per product.

Doorlooptijd per product	Grenswaarde 5	Grenswaarde 10	Grenswaarde 15
Scenario 1	53 min	49 min	62 min
Scenario 2	96 min	80 min	102 min
Scenario 3	100 min	102 min	109 min
Scenario 4	50 min	48 min	53 min
Scenario 5	61 min	46 min	45 min
Scenario 6	56 min	55 min	63 min

Tabel 1: Bepaling grenswaarde om initiële werkstation te verlaten

Over het zoeken naar de ideale parameters voor dit productiesysteem kan een volledige masterproef geschreven worden. Dat is echter niet de bedoeling van deze masterproef, daarom worden dergelijke parameters gewoon vastgelegd. De gecentraliseerde controleregel is van toepassing op de tweede groep werknemers. De werknemers kunnen transfereren naar een ander werkstation zodra hun taak is uitgevoerd, zelfs als nog andere jobs in de wachtrij staan bij dat werkstation. Daarvoor dient wel een wachtrij gecreëerd te zijn aan het initiële werkstation of de wachtrij van een ander in aanmerking komend werkstation, waarvan de wachtrij de grenswaarde van tien taken heeft overschreden, is groter dan de wachtrij van het huidige werkstation waar de werknemers tewerkgesteld zijn. De waar-regel is reeds grotendeels vervat in de wanneer-regel. Als meerdere werkstations in aanmerking komen, worden de werknemers getransfereerd naar het werkstation met de langste wachtrij. Die waar-regel is echter niet altijd van toepassing. Een wachtrij gecreëerd aan het initiële werkstation heeft voorrang op eender welke wachtrij van andere werkstations. In dergelijke situatie worden de werknemers getransfereerd naar het initiële werkstation.

3.3 Basisscenario

Het basisscenario is het scenario waarmee alle alternatieven vergeleken zullen worden. Eerst wordt het basisscenario uitgelegd en daarna wordt dat scenario beschreven zoals het in het simulatieprogramma wordt gebruikt. Het gebruik van de verschillende replicatieparameters wordt verklaard. Tot slot worden de resultaten van het basisscenario besproken.

3.3.1 Trainingsschema

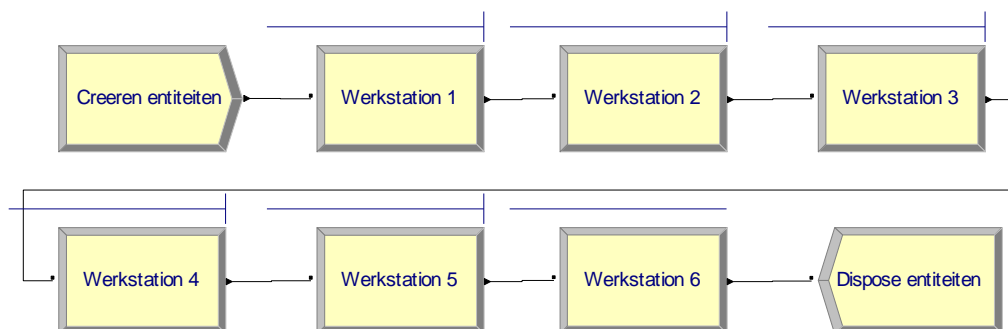
Het basisscenario is de situatie waarbij de flexibiliteit voor alle werknemers één bedraagt. Geen enkele werknemer beschikt over de vaardigheden om meer dan één taak uit te voeren. In het basisscenario vinden geen transfers van werknemers tussen werkstations plaats. Het bijhorende eenvoudige trainingsschema is weergegeven in Tabel 2. De werknemers van werkstation 1 werken enkel in werkstation 1, de werknemers van werkstation 2 werken enkel in werkstation 2. Dat patroon wordt verder gezet voor de hele productielijn. Die situatie wordt als standaard gebruikt om te vergelijken met de overige scenario's. Ieder scenario met bijhorend trainingsschema, dat een onderneming in overweging neemt, dient minstens beter te presteren dan het standaard, oorspronkelijke scenario.

Basisscenario: flexibiliteit 1	Werkstation					
	1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	1				
	2		1			
	3			1		
	4				1	
	5					1
	6					

Tabel 2: Trainingsschema basisscenario

3.3.2 Opbouw in Arena®

Onderstaande Figuur 13 toont de creatiemodule, procesmodules en de eindmodule van het simulatiemodel.



Figuur 13: Basisscenario: simulatiemodel

Entiteiten worden gegenereerd door de creatiemodule 'Creëren entiteiten'. Iedere creatie stelt een product voor dat het productieproces doorloopt. Elke zestien uur durende werkdag arriveren producten in het productieproces tijdens de eerste vijftien en half uur. Gemiddeld worden 30 entiteiten per uur gegenereerd. Tijdens het laatste half uur van een zestien uur durende werkdag, genereert de creatiemodule geen entiteiten.

De verschillende procesmodules stellen de zes verschillende werkstations in het productieproces voor. De procesmodules hebben elk een specifieke verdeling van procestijden (Tabel 3). De procestijden representeren de tijd (in seconden) om een taak in dat werkstation uit te voeren en ze zijn telkens triangulair verdeeld. De keuze voor die procestijden maakt dat het derde en het zesde werkstation trager handelen dan de andere vier werkstations. Voor dit onderzoek is het belangrijk dat er een knelpunt in het basisscenario van het productieproces aanwezig is. Indien zich geen problemen zouden voordoen, kunnen ook geen alternatieve scenario's getest worden.

Procesmodule	Procestijden (in seconden)
Werkstation 1	TRIA(85, 100, 120)
Werkstation 2	TRIA(80, 100, 105)
Werkstation 3	TRIA(110, 125, 150)
Werkstation 4	TRIA(105, 115, 125)
Werkstation 5	TRIA(80, 95, 105)
Werkstation 6	TRIA(115, 135, 150)

Tabel 3: Procestijden

De zes verschillende bedieningseenheden in het simulatiemodel stellen telkens een van de zes werknemers in hun initieel werkstation in het productieproces voor. Iedere bedieningseenheid wordt toegewezen aan de bijhorende procesmodule. In het simulatiemodel betekent dat het volgende: WN1WS1 behoort tot Werkstation 1, WN1WS2 behoort tot Werkstation 2, ... , WN1WS6 behoort tot Werkstation 6 (Tabel 4). Zo behoort iedere werknemer tot het werkstation waarvoor hij over de juiste vaardigheid beschikt.

		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer werkstation	in 1	WN1WS1					
	2		WN1WS2				
	3			WN1WS3			
	4				WN1WS4		
	5					WN1WS5	
	6						WN1WS6

Tabel 4: Trainingsschema basisscenario: simulatie

Elke bedieningseenheid heeft in het simulatiemodel een capaciteit van nul of één. Capaciteit nul betekent dat de bedieningseenheid geen taak kan uitvoeren. Heeft de bedieningseenheid een capaciteit van één dan kan die bedieningseenheid wel haar taak uitvoeren. De capaciteit van iedere bedieningseenheid is een variabele. Die variabele wordt in het basisscenario initieel op waarde één gezet. Het basisscenario bevat geen toewijzingsmodules waardoor die waarde niet kan wijzigen. In het basisscenario hebben de zes bedieningseenheden dus tijdens de hele simulatietijd een capaciteit van één.

Alle entiteiten die het simulatiemodel hebben doorlopen, komen in de eindmodule ‘Dispose entiteiten’ terecht. Die laatste module zorgt ervoor dat de entiteit het productiesysteem verlaat.

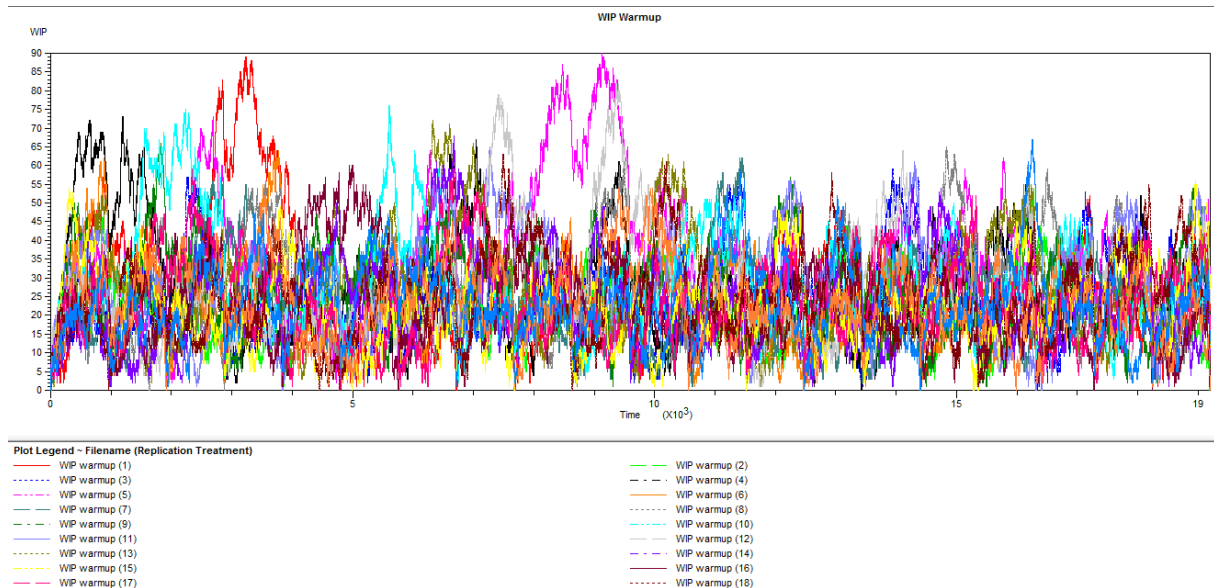
3.3.3 Replicatie parameters

Het simulatiemodel wordt zestien uur per dag gedurende vijf dagen per week gerund en dat gedurende een volledige maand (twintig werkdagen). 30 onafhankelijke en statistisch identieke replicaties worden uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de simulatie te garanderen. Het aantal is bekomen door middel van trial and error tal van replicaties te simuleren, zoals te zien in Tabel 5. Om voldoende nauwkeurig te werk te gaan wordt voor 30 replicaties gekozen. Enkele onderzoeksvariabelen worden vergeleken om te bepalen of de resultaten fel wijzigen na het verhogen van het aantal replicaties.

Onderzoeksvariabelen Aantal replicaties	Wachtrij WS 3	Wachtrij WS 6	Doorlooptijd	GIB
5	152	166	673 minuten	326
15	169	165	706 minuten	342
30	184	166	738 minuten	358
40	181	167	729 minuten	355
50	182	167	737 minuten	357
60	185	167	741 minuten	360

Tabel 5: Trial and error: aantal replicaties

Bij de simulatie van een productieproces zijn de initiële omstandigheden niet van belang. In een steady-state simulatie start het productieproces niet elke dag volledig opnieuw. Sommige entiteiten zitten nog in het systeem nadat de eerste dag afgelopen is. Daarom is het belangrijk een opwarmperiode in te lassen waardoor de analyse van het systeem pas start na het opwarmen van het productieproces en het wegwerken van de initiële omstandigheden (Kelton, Sadowski & Swets, 2010). Om die redenen wordt voor een opwarmperiode van één shift, namelijk acht werkuren, gekozen. De grafiek in Figuur 14 staft die keuze. De x-as presenteert de tijd in minuten ($\times 10^3$) en de y-as presenteert het aantal GIB. Op de grafiek worden dus de GIB weergegeven. Na ongeveer tijdseenheid 0,5 is in alle replicaties een bepaald aantal GIB aanwezig. Een soort evenwichtstoestand wordt daardoor bereikt na 500 minuten. De schommelingen zijn echter heel groot, maar de initiële omstandigheden zijn wel weggewerkt. De assumptie van een opwarmperiode van acht werkuren wordt daardoor bevestigd. In Bijlage 1 wordt deze grafiek in een groter formaat weergegeven.



Figuur 14: Bepaling opwarmperiode

3.3.4 Resultaten

Vooraleer verschillende alternatieve scenario's worden opgesteld, wordt een analyse gemaakt van het basisscenario. De gebruikte onderzoeksvariabelen en resultaten van het basisscenario worden in deze sectie besproken.

3.3.4.1 Onderzoeksvariabelen

Om de verschillende scenario's te vergelijken worden verschillende onderzoeksvariabelen gebruikt. Zoals de literatuur reeds aangaf is de **doorlooptijd per product** een heel belangrijke maatstaf. De doorlooptijd is de gemiddelde totale tijd die een entiteit in het systeem doorbrengt. Daarom zal als eerste de gemiddelde totale tijd per entiteit (product) in de verschillende scenario's vergeleken worden. Het gesimuleerde productieproces is slechts een van de processen die het product in de onderneming dient te doorlopen. Het is belangrijk dat dat zo snel mogelijk gebeurt zodat andere processen niet dienen te wachten op de input, die door het gesimuleerde productieproces aangeleverd wordt.

Voor ieder scenario wordt bekeken wat de **benuttingsgraad** is van iedere werknemer over al zijn werkstations heen. Het is de tweede onderzoeksvariabele in deze masterproef. De benuttingsgraad van een werknemer in de werkstations, waarvoor hij in aanmerking komt, wordt verkregen door de som van de effectieve bezetting in ieder werkstation gedurende de hele run te delen door de capaciteit in de werkstations gedurende de hele run, die in dit simulatiemodel steeds één zal zijn. De benuttingsgraad representeert dus het percentage dat de werknemer effectief een taak uitvoert. Via deze onderzoeksvariabele wordt gekeken in welke mate de werknemers effectief taken uitvoeren.

Tot slot tonen de **wachtrijen** in de werkstations aan welke de doorloop van de producten vertragen. Ieder scenario kan een andere wachtrij hebben. Door de wachtrijen te vergelijken kan gekeken worden of de eventuele problemen in het basisscenario opgelost zijn.

3.3.4.2 Resultaten basisscenario

Op een doorsnee werkdag doorlopen 8425 producten het volledige productieproces. Een product heeft gemiddeld 738,34 minuten nodig om de zes werkstations te passeren. Van die 739 minuten worden de producten gemiddeld slechts elf minuten bewerkt. Gemiddeld genomen heeft het productieproces 358 goederen in bewerking. De producten staan duidelijk heel veel minuten in de wachtrij. Vooral aan het derde en het zesde werkstation staan lange wachtrijen (Tabel 7). Die werkstations vormen de *bottlenecks* van het productieproces en voeren ieder ogenblik een taak uit om zo te trachten de doorlooptijd van de producten klein te houden. De werknemers aan het derde (99,96 procent) en zesde (100 procent) werkstation zijn daardoor heel druk bezet (Tabel 6). Zij voeren dus de hele acht uur durende shift taken uit in hun werkstation aangezien geen falingen en onderbrekingen worden gesimuleerd.

Benuttingsgraad	Percentage dat de werknemer effectief een taak uitvoert
Werknemer 1	82,16%
Werknemer 2	76,79%
Werknemer 3	99,96%
Werknemer 4	89,57%
Werknemer 5	72,69%
Werknemer 6	100%
Gemiddelde benuttingsgraad	86.86%

Tabel 6: Benuttingsgraad basisscenario

Wachtrij per werkstation	Gemiddelde wachtrij (aantal entiteiten)
Werkstation 1	2.23
Werkstation 2	0
Werkstation 3	184,79
Werkstation 4	0
Werkstation 5	0
Werkstation 6	166,58

Tabel 7: Wachtrijen basisscenario

Als we het productieproces simuleren over 40 werkdagen in plaats van twintig werkdagen, nemen de gemiddelde doorlooptijd per product en de wachtrijen van het derde en zesde werkstation significant toe (Tabel 8). De doorlooptijd stijgt tot gemiddeld 1423 minuten per product. De gemiddelde wachtrijen van het derde en zesde werkstation stijgen respectievelijk tot gemiddeld 346 en 335 producten. Die trend zet zich zo verder naarmate meer werkdagen worden gesimuleerd. Dat indiceert dat entiteiten steeds langer in het systeem vertoeven. Het aantal producten in het systeem

neemt ook significant toe wanneer meer dagen worden gesimuleerd (Tabel 8). Het basisscenario is dus niet geschikt om de gevraagde producten af te leveren. De onderneming is in het basisscenario genoodzaakt om op regelmatige basis een extra shift in te lassen om de producten af te werken en de GIB terug te laten dalen. Deze masterproef onderzoekt of het invoeren van een DRC-systeem een oplossing voor dat probleem is. De verschillende alternatieve scenario's zoeken naar een systeem waarbij de doorlooptijd per product en de wachtrijen in het derde en zesde werkstation verminderen.

Basisscenario	Gem _{Basis20}	Gem _{Basis40}	Gem _(Basis20 – Basis40)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	1423,39 min	-685,05 min *	75,59 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	2,21	0,02 min	0,15 min
Wachtrij werkstation 2	0	0	0	0
Wachtrij werkstation 3	184,79	345,53	-160,74 *	34 min
Wachtrij werkstation 4	0	0	0	0
Wachtrij werkstation 5	0	0	0	0
Wachtrij werkstation 6	166,58	335,42	-168,84 *	3,92 min
GIB	358,30	688,39	-330,09 *	38,2

Tabel 8: Doorlooptijd, wachtrij en GIB basisscenario

In Tabel 8 worden twee scenario's statistisch vergeleken aan de hand van een 95%-betrouwbaarheidsinterval (BI). Hierna wordt aan de hand van het betrouwbaarheidsinterval voor de vergelijking van de doorlooptijd per product toegelicht hoe die intervallen tot stand komen en welke waarden in Tabel 8 worden weergegeven.

Om te testen of een bepaald scenario beter presteert dan een ander wordt gebruik gemaakt van een gepaarde t-test. Die test heeft als voorwaarde dat de scenario's die vergeleken worden een gelijk aantal replicaties hebben. Allereerst worden paren aangemaakt per replicatie van de twee scenario's, (X_{1j}, X_{2j}) waarbij j een replicatie voorstelt. Daarna wordt per replicatie het verschil genomen tussen X_{1j} en X_{2j} . De parameter Z_j geeft dat verschil weer, $Z_j = X_{1j} - X_{2j}$. Het betrouwbaarheidsinterval wordt als volgt gedefinieerd:

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\widehat{Var}(\bar{Z}_{(n)})}{n}}$$

Met

$$\widehat{Var}(\bar{Z}_{(n)}) = \frac{\sum_{j=1}^n [Z_j - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n - 1}$$

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n}$$

$$Z_j = X_{1j} - X_{2j}$$

n = aantal replicaties

t = kritieke waarde

α = significantieniveau

X_{ij} geobserveerde waarde in replicatie j van scenario i ($i=1$ voor scenario 1 en $i=2$ voor scenario 2)

Een betrouwbaarheidsinterval dat strikt positief of strikt negatief is, toont aan dat het ene scenario consequent beter of slechter scoort dan het andere. De verschillen zijn dus significant op het gehanteerde betrouwbaarheidsniveau. Bevat het betrouwbaarheidsinterval echter de waarde nul, dan zijn de verschillen tussen beide scenario's niet significant.

Voor de vergelijking van de doorlooptijd per product voor het basisscenario met twintig werkdagen en het basisscenario met 40 werkdagen, geeft dat onderstaande berekeningen (Tabel 9).

Replicatie	X _{1j}	X _{2j}	Z _j
1	759,5	1332,21	-572,71
2	701,31	1307,74	-606,43
3	579,53	1202,16	-622,63
4	876,48	1637,59	-761,11
5	634,81	1321,81	-687
6	591,17	1300,04	-708,87
7	869,35	1491,61	-622,26
8	896,22	1586,05	-689,83
9	614,33	1312,06	-697,73
10	754,65	1316,47	-561,82
11	761,91	1506,3	-744,39
12	605,27	1273,37	-668,1
13	765,49	1451,34	-685,85
14	796,53	1549,07	-752,54
15	725,41	1441,43	-716,02
16	796,09	1277,84	-481,75
17	808,9	1494,26	-685,36
18	887,42	1609,13	-721,71
19	729,57	1340,93	-611,36
20	799,99	1496,81	-696,82
21	758,35	1472,36	-714,01
22	890,5	1568,74	-678,24
23	539,71	1198,84	-659,13
24	778,61	1601,59	-822,98
25	631,99	1364,62	-732,63
26	829,3	1610,11	-780,81
27	873,05	1670,63	-797,58
28	659,85	1326,96	-667,11
29	715,22	1290,5	-575,28
30	728,62	1349,2	-620,58
$\bar{Z}_{(n)}$			-678,088

Tabel 9: Basisscenario vergelijking doorlooptijd per product

De variantie wordt als volgt berekend:

$$\widehat{Var}(\bar{Z}_{(n)}) = \frac{\sum_{j=1}^n [Z_j - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n - 1} = 5713,267$$

De standaardafwijking bedraagt 75,59 minuten en wordt ook in Tabel 8 weergegeven. De kritieke waarde horende bij een 95% betrouwbaarheid wordt gevonden in de tabel voor de t-verdeling. De t-waarde voor 30 replicaties en 5% significantieniveau is 2,045.

$$t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} = t_{29; 0.975} = 2,045$$

Nu wordt enkel het betrouwbaarheidsinterval nog berekend via:

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\widehat{Var}(\bar{Z}_{(n)})}{n}} = -678,088 \pm 2,045 \sqrt{\frac{5713,267}{30}}$$
$$[-706,309 ; -649,867]$$

Het 95%-betrouwbaarheidsinterval is hier strikt negatief. Dat wil zeggen dat de onderzoeksvariabele doorlooptijd significant lager is in het basisscenario met twintig werkdagen. In Tabel 8 wordt dat significant verschil op 95% betrouwbaarheid weergegeven door een asterisk (*) achter het gemiddelde verschil te plaatsen. Was het 95%-betrouwbaarheidsinterval hier strikt positief geweest, wil dat zeggen dat de onderzoeksvariabele doorlooptijd significant hoger was in het basisscenario met twintig werkdagen. In dat laatste geval wordt ook asterisk achter het gemiddelde verschil geplaatst.

Als twee scenario's worden vergeleken in deze masterproef, wordt bovenstaande methode toegepast. Later wordt enkel nog het gemiddelde verschil, de standaardafwijking en eventueel een asterisk achter het gemiddelde verschil weergegeven en dus niet telkens de hele berekening. Als in de bespreking van de resultaten gezegd wordt dat een variabele al dan niet significant verschillend is in twee scenario's dan is dat telkens op het 95%-betrouwbaarheidsniveau.

3.4 Alternatieve scenario's

Sectie 3.1 behandelt de manieren waarop cross-training en de daarbij horende flexibiliteit in ondernemingen georganiseerd kan worden. Om de optimale werknemersflexibiliteit te bepalen in het simulatiemodel dienen verschillende scenario's vergeleken te worden. Een scenario houdt een bepaald trainingsschema in waarbij werknemers een specifieke flexibiliteit hebben. Ze beschikken dus over een aantal vaardigheden. Met elke vaardigheid kunnen de werknemers een taak uitvoeren. In tegenstelling tot het basisscenario beschikken (sommige) werknemers nu dus over de vaardigheden om in meer dan één werkstation tewerkgesteld te worden.

De tewerkstelling in een werkstation vereist de kennis van een specifieke taak. Alle werknemers kunnen over hetzelfde aantal vaardigheden beschikken of een aantal werknemers hebben meer vaardigheden dan andere werknemers. Daarnaast kunnen de vaardigheden van de werknemers zodanig aangeleerd zijn dat ze geketend zijn. Het is ook mogelijk om in vaardighedenblokken te werken waardoor geen volledige maar een gedeeltelijke keten ontstaat. De vaardighedenoverlap geeft weer hoeveel uit te voeren taken meermaals bezet zijn. Als de vaardighedenoverlap bijvoorbeeld drie is, wil dat zeggen dat drie verschillende werknemers de desbetreffende taak

kunnen uitvoeren. De trainingsschema's van elk scenario zijn tot stand gekomen door middel van een selectie uit de literatuur in combinatie met problemen in het basisscenario.

Het gesimuleerde productieproces zoals beschreven in het basisscenario blijft wel ongewijzigd. Het simulatiemodel bevat nog steeds de creatiemodule, de zes procesmodules met bijhorende procestijden en de eindmodule.

3.4.1 Scenario 1

Het eerste scenario heeft een keten als trainingsschema (Tabel 10) waarbij de werknemer van ieder werkstation een flexibiliteit van twee heeft. Het cijfer "1" toont telkens aan in welke werkstations de werknemer van het initiële werkstation een taak kan uitvoeren. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de twee werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Het trainingsschema is geketend omdat elk werkstation een werknemer van een ander werkstation als back-up heeft, omdat de werknemers van elk werkstation cross-training krijgen om in een ander werkstation aan de slag te kunnen en omdat alle werkstations onderling verbonden zijn. Volgens veel bronnen in de literatuur geeft deze samenstelling de beste uitkomst voor de onderneming. Om die reden wordt dit trainingsschema zeker en vast getest.

Flexibiliteit 2, volledige keten		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemers in werkstation	1	1	1				
	2		1	1			
	3			1	1		
	4				1	1	
	5					1	1
	6	1					1

Tabel 10: Trainingsschema scenario 1

Omdat iedere werknemer in twee verschillende werkstations aan de slag kan, komt elke werknemer overeen met twee verschillende bedieningseenheden. Beide bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend. De benaming van de bedieningseenheden speelt daarin een zeer belangrijke rol. De werknemer van bijvoorbeeld het initiële werkstation 1 kan tewerkgesteld worden in werkstation 1 of in werkstation 2. De bijhorende bedieningseenheden zijn dan respectievelijk WN1WS1 en WN1WS1Pseudo2. De bedieningseenheid WN1WS1 betekent dat de werknemer een taak uitvoert in het initieel eigen werkstation. De bedieningseenheid WN1WS1Pseudo2 betekent dat de werknemer een taak uitvoert in werkstation 2, een werkstation waarvoor de werknemer cross-training onderging ten opzichte van het basisscenario. Een werknemer kan slechts in één werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Daarom is de som van de capaciteiten van de werknemer van werkstation 1 gelijk aan één. Dat betekent dat de capaciteit van

bedieningseenheid WN1WS1 en bedieningseenheid WN1WS1Pseudo2 nooit beide één kunnen zijn. Ze kunnen dus nooit allebei tegelijkertijd een taak uitvoeren. In Tabel 11 is daarom de som van de capaciteiten van de bedieningseenheden van elke rij (horizontale lijn) gelijk aan één. Het simulatiemodel voorziet toewijzingsmodules waardoor deze som altijd gelijk aan één zal zijn.

In dit scenario kan ieder werkstation worden bediend door twee verschillende werknemers (Tabel 11, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval twee verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 12). Telkens als een entiteit een procesmodule binnengaat, wordt een bedieningseenheid uit de bijhorende set gegrepen. Elke set heeft als regel 'Preferred Order' toegewezen gekregen. Die regel wijst steeds, indien beschikbaar (de bedieningseenheid heeft capaciteit één en is niet toegewezen aan een andere entiteit in de procesmodule), de eerste bedieningseenheid van de set toe aan de procesmodule. Indien de eerste niet beschikbaar is, grijpt de procesmodule de tweede, ... Dat algoritme wordt herhaald totdat een bedieningseenheid beschikbaar is om de taak in de procesmodule uit te voeren. Zolang er geen bedieningseenheid beschikbaar is, wordt de entiteit in de wachtrij van de procesmodule geplaatst. De 'Preferred Order'-regel wordt gekozen zodat de werknemer van het initiële werkstation voorrang krijgt op het initiële werkstation om een taak uit te voeren. De werknemer van een initieel werkstation kan immers de taak aan het initiële werkstation het best uitvoeren.

		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1	WN1WS1Pseudo2				
	2		WN1WS2	WN1WS2Pseudo3			
	3			WN1WS3	WN1WS3Pseudo4		
	4				WN1WS4	WN1WS1Pseudo5	
	5					WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6	WN1WS6Pseudo1					WN1WS6

Tabel 11: Trainingschema scenario 1: simulatie

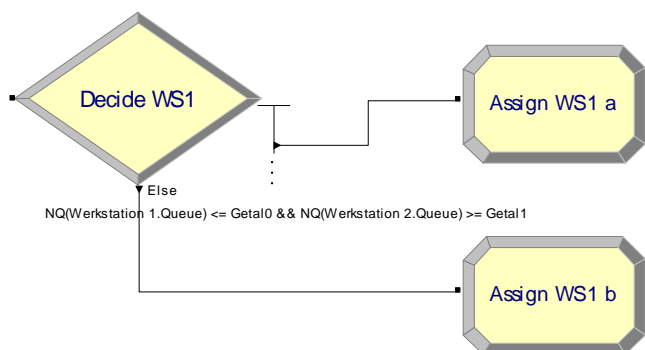
	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2
Set WS1	WN1WS1	WN1WS6Pseudo1
Set WS2	WN1WS2	WN1WS1Pseudo2
Set WS3	WN1WS3	WN1WS2Pseudo3
Set WS4	WN1WS4	WN1WS3Pseudo4
Set WS5	WN1WS5	WN1WS4Pseudo5
Set WS6	WN1WS6	WN1WS5Pseudo6

Tabel 12: Scenario 1: sets

Het simulatiemodel bevat enkele beslissings- en toewijzingsmodules. Om de tien minuten wordt een logische entiteit gegenereerd. Die entiteit zal een pad doorheen die beslissings- en toewijzingsmodules volgen. Het afgelegde pad bepaalt de capaciteit van iedere bedieningseenheid

tot een nieuwe logische entiteit gegenereerd wordt en dat proces opnieuw start. Omdat de logische entiteit om de tien minuten wordt gegenereerd, kunnen de werknemers slechts om de tien minuten (eventueel) aan de slag in een ander werkstation.

Het proces voor het eerste scenario bestaat uit zes beslissingsmodules en twaalf toewijzingsmodules (Bijlage 2). In de beslissingsmodule van Werkstation 1 (Figuur 15) wordt gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul en het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 (het andere werkstation waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) groter is dan of gelijk aan tien. De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als aan de voorwaarde voldaan is, zal met behulp van een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 nul worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 één. Als de voorwaarde niet voldaan is zal met behulp van een andere toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 nul. Na het passeren van een van de twee toewijzingsmodules, komt de logische entiteit de beslissingsmodule van procesmodule Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad zes beslissingsmodules en zes toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat. In Bijlage 3 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 15: Scenario 1: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

De methodiek van de benaming van bedieningseenheden, van de toewijzing en sommatie van de capaciteiten en van de uitwerking van iedere set is voor ieder alternatief scenario hetzelfde. Ook de creatiemodule die het proces van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden start, is in ieder alternatief scenario hetzelfde. In de alternatieven die later worden behandeld, wordt dat niet meer besproken.

3.4.2 Scenario 2

Het tweede scenario heeft een trainingsschema (Tabel 13) waarbij de werknemer van ieder werkstation een flexibiliteit van twee heeft. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de twee werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Het trainingsschema is niet geketend over de gehele productielijn omdat niet alle werkstations onderling verbonden zijn. Het trainingsschema kan wel onderverdeeld worden in drie kleine onafhankelijke ketens. Het is een cross-training tussen onderlinge paren. Zo vormen Werkstation 1 en 2, Werkstation 3 en 4 en Werkstation 5 en 6 paren.

Flexibiliteit 2, korte ketens	Werkstation						
	1	2	3	4	5	6	
Werknemer in werkstation	1	1	1				
	2	1	1				
	3			1	1		
	4			1	1		
	5					1	1
	6					1	1

Tabel 13: Trainingsschema scenario 2

Omdat iedere werknemer aan de slag kan in twee verschillende werkstations, komt elke werknemer overeen met twee verschillende bedieningseenheden (Tabel 14, rijen). Beide bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend. Maar iedere werknemer kan slechts in een werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Om die reden zijn de capaciteiten van bijvoorbeeld de bedieningseenheden WN1WS2Pseudo1 en WN1WS2 nooit allebei tegelijkertijd gelijk aan één.

In dit scenario kan ieder werkstation worden bediend door twee verschillende werknemers (Tabel 14, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval twee verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 15).

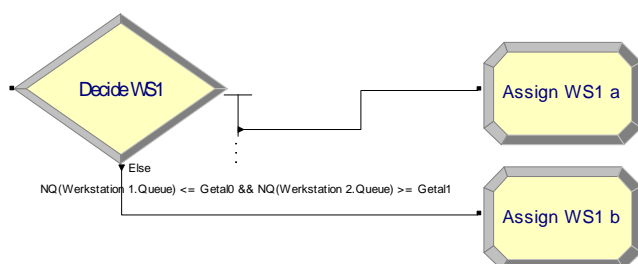
		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1	WN1WS1Pseudo2				
	2	WN1WS2Pseudo1	WN1WS2				
	3			WN1WS3	WN1WS3Pseudo4		
	4			WN1WS4Pseudo3	WN1WS4		
	5					WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6					WN1WS6Pseudo5	WN1WS6

Tabel 14: Trainingsschema scenario 2: simulatie

	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2
Set WS1	WN1WS1	WN1WS2Pseudo1
Set WS2	WN1WS2	WN1WS1Pseudo2
Set WS3	WN1WS3	WN1WS4Pseudo3
Set WS4	WN1WS4	WN1WS3Pseudo4
Set WS5	WN1WS5	WN1WS6Pseudo5
Set WS6	WN1WS6	WN1WS5Pseudo6

Tabel 15: Scenario 2: sets

Het proces van de start van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden voor het tweede scenario bestaat uit zes beslissingsmodules en twaalf toewijzingsmodules (Bijlage 4). In de beslissingsmodule horende bij de werknemer van Werkstation 1 (Figuur 16) wordt gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul en het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 (het andere werkstation waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) groter of gelijk is aan tien. De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als de voorwaarde voldaan is, zal met behulp van een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 nul worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 één. Als de voorwaarde niet voldaan is zal met behulp van een andere toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 nul. Na het passeren van een van de twee toewijzingsmodules, komt de logische entiteit de beslissingsmodule van de werknemer van Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad zes beslissingsmodules en zes toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat. In Bijlage 5 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 16: Scenario 2: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

3.4.3 Scenario 3

Het derde scenario heeft een keten als trainingsschema (Tabel 16) waarbij de werknemer van ieder werkstation een flexibiliteit van drie heeft. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de drie werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Het trainingsschema is geketend omdat elk werkstation werknemers van twee andere werkstations als back-up heeft, omdat de werknemers van elk werkstation cross-training krijgen om in twee andere werkstations aan de slag te kunnen en omdat alle werkstations onderling verbonden zijn.

Flexibiliteit 3, volledige keten	Werkstation						
	1	2	3	4	5	6	
Werknemer in werkstation	1	1	1	1			
	2		1	1	1		
	3			1	1	1	
	4				1	1	1
	5	1				1	1
	6	1	1				1

Tabel 16: Trainingsschema scenario 3

Omdat iedere werknemer aan de slag kan in drie verschillende werkstations, komt elke werknemer overeen met drie verschillende bedieningseenheden (Tabel 17, rijen). De drie bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend, maar iedere werknemer kan slechts in één werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Om die reden zijn de capaciteiten van bijvoorbeeld de bedieningseenheden WN1WS2, WN1WS2Pseudo3 en WN1WS2Pseudo4 nooit alle tegelijkertijd gelijk aan één.

In dit scenario kan ieder werkstation door drie verschillende werknemers worden bediend (Tabel 17, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval drie verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 18).

		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1	WN1WS1Pseudo2	WN1WS1Pseudo3			
	2		WN1WS2	WN1WS2Pseudo3	WN1WS2Pseudo4		
	3			WN1WS3	WN1WS3Pseudo4	WN1WS3Pseudo5	
	4				WS4	WN1WS4Pseudo5	WN1WS4Pseudo6
	5	WN1WS5Pseudo1				WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6	WN1WS6Pseudo1	WN1WS6Pseudo2				WN1WS6

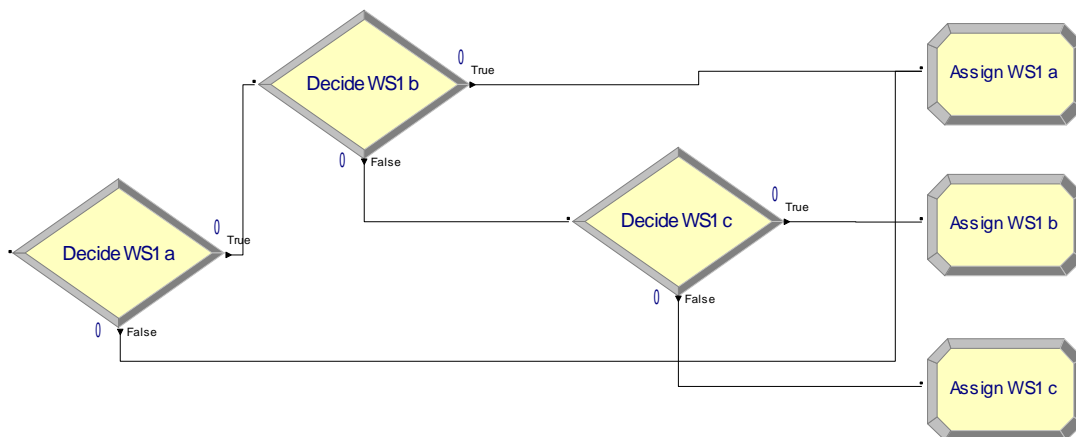
Tabel 17: Trainingsschema scenario 3: simulatie

	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2	Bedieningseenheid 3
Set WS1	WN1WS1	WN1WS5Pseudo1	WN1WS6Pseudo1
Set WS2	WN1WS2	WN1WS6Pseudo2	WN1WS1Pseudo2
Set WS3	WN1WS3	WN1WS1Pseudo3	WN1WS2Pseudo3
Set WS4	WN1WS4	WN1WS2Pseudo4	WN1WS3Pseudo4
Set WS5	WN1WS5	WN1WS3Pseudo5	WN1WS4Pseudo5
Set WS6	WN1WS6	WN1WS4Pseudo6	WN1WS5Pseudo6

Tabel 18: Scenario 3: sets

Het proces van de start van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden voor het derde scenario bestaat uit achttien beslissingsmodules en achttien toewijzingsmodules (Bijlage 6).

In de beslissingsmodules horende bij de werknemer van Werkstation 1 (Figuur 17) wordt eerst gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul ('Decide WS1 a'). Is er niet voldaan aan deze voorwaarde dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 en WN1WS1Pseudo3 nul. Als aan die eerste voorwaarde wel voldaan is, wordt nagegaan of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 en het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 (de andere werkstations waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) kleiner is dan tien ('Decide WS1 b'). De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als de voorwaarde voldaan is zal daarom met behulp van de eerder vernoemde toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 en WN1WS1Pseudo3 nul. Als het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 echter groter of gelijk is aan GETAL1 dan wordt getest welke van die twee wachtrijen het grootst is ('Decide WS1 c'). Is de wachtrij van Werkstation 2 het grootst dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 c) de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo3 nul. Is de wachtrij van Werkstation 3 groter dan of gelijk aan die van Werkstation 2 wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo2 nul. Nadat de logische entiteit een van de drie verschillende toewijzingsvariabelen heeft doorlopen, komt ze de beslissingsmodule van de werknemer van Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad een aantal beslissingsmodules en zes toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat. In Bijlage 7 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 17: Scenario 3: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

3.4.4 Scenario 4

Het vierde scenario (Tabel 19) heeft een trainingsschema waarbij de werknemer van ieder werkstation een flexibiliteit van drie heeft. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de drie werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Het trainingsschema is niet geketend over de gehele productielijn omdat niet alle werkstations onderling verbonden zijn. Het trainingsschema kan wel onderverdeeld worden in twee kleine onafhankelijke ketens. Het is onderlinge cross-training. Werkstation 1, 2 en 3 en Werkstation 4, 5 en 6 hangen onderling samen.

Flexibiliteit 3, korte ketens	Werkstation					
	1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	1	1	1		
	2	1	1	1		
	3	1	1	1		
	4			1	1	1
	5			1	1	1
	6			1	1	1

Tabel 19: Trainingsschema scenario 4

Omdat iedere werknemer aan de slag kan in drie verschillende werkstations, komt elke werknemer overeen met drie verschillende bedieningseenheden (Tabel 20, rijen). De drie bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend, maar iedere werknemer kan slechts in één werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Om die reden zijn de capaciteiten van bijvoorbeeld de bedieningseenheden WN1WS4, WN1WS4Pseudo5 en WN1WS4Pseudo6 nooit allemaal tegelijkertijd gelijk aan één.

In dit alternatief kan ieder werkstation worden bediend door drie verschillende werknemers (Tabel 20, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval drie verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 21).

		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1	WN1WS1Pseudo2	WN1WS1Pseudo3			
	2	WN1WS2Pseudo1	WN1WS2	WN1WS2Pseudo3			
	3	WN1WS3Pseudo1	WN1WS3Pseudo2	WN1WS3			
	4				WN1WS4	WN1WS4Pseudo5	WN1WS4Pseudo6
	5				WN1WS5Pseudo4	WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6				WN1WS6Pseudo4	WN1WS6Pseudo5	WN1WS6

Tabel 20: Trainingschema scenario 4: simulatie

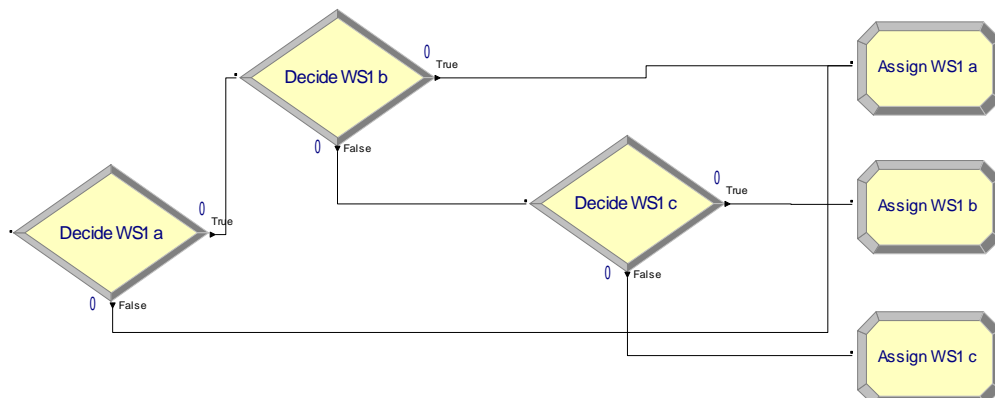
	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2	Bedieningseenheid 3
Set WS1	WN1WS1	WN1WS2Pseudo1	WN1WS3Pseudo1
Set WS2	WN1WS2	WN1WS3Pseudo2	WN1WS1Pseudo2
Set WS3	WN1WS3	WN1WS1Pseudo3	WN1WS2Pseudo3
Set WS4	WN1WS4	WN1WS5Pseudo4	WN1WS6Pseudo4
Set WS5	WN1WS5	WN1WS6Pseudo5	WN1WS4Pseudo5
Set WS6	WN1WS6	WN1WS4Pseudo6	WN1WS5Pseudo6

Tabel 21: Scenario 4: sets

Het proces van de start van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden voor het vierde alternatief bestaat uit achttien beslissingsmodules en achttien toewijzingsmodules (Bijlage 8).

In de beslissingsmodules horende bij de werknemer van Werkstation 1 (Figuur 18) wordt eerst gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul ('Decide WS1 a'). Is er niet voldaan aan deze voorwaarde dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 en WN1WS1Pseudo3 nul. Als aan die eerste voorwaarde wel voldaan is, wordt nagegaan of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 en het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 (de andere werkstations waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) kleiner is dan tien ('Decide WS1 b'). De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als de voorwaarde voldaan is, zal daarom met behulp van de eerder vernoemde toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 en WN1WS1Pseudo3 nul. Als het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 2 of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 echter groter of gelijk is aan tien dan wordt getest welke van die twee wachtrijen het grootst is ('Decide WS1 c'). Is de wachtrij van Werkstation 2 het grootst dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 c) de capaciteit van WN1WS1Pseudo2 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo3 nul. Is de wachtrij van Werkstation 3 groter dan of gelijk aan die van Werkstation 2 wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van

WN1WS1Pseudo3 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo2 nul. Nadat de logische entiteit een van de drie verschillende toewijzingsvariabelen heeft doorlopen, komt ze de beslissingsmodule van de werknemer van Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad een aantal beslissingsmodules en zes toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat. In Bijlage 9 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 18: Scenario 4: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

3.4.5 Scenario 5

Het vijfde scenario heeft een trainingsschema (Tabel 22) waarbij de werknemers een gemiddelde flexibiliteit van 1,67 hebben over alle werkstations heen. Hier hebben niet alle werknemers dezelfde flexibiliteit, wat in voorgaande scenario's wel het geval is. De mix van flexibiliteit zorgt dat in werkstation drie en werkstation zes de productielijn niet vertraagt. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Werknemers die geen cross-training genoten, kunnen enkel aan de slag in hun initiële werkstation en worden dus niet ingezet bij andere. Van alle onderzochte scenario's is dit het scenario met de kleinste flexibiliteit. In deze masterproef is bewust gekozen om de flexibiliteit niet verder te verlagen dan in dit scenario om toch nog voldoende flexibel te kunnen reageren in het productieproces. Als de flexibiliteit nog verder verlaagd wordt, bestaat de kans dat niet op onverwachte gebeurtenissen kan gereageerd worden.

Het trainingsschema is niet geketend over de gehele productielijn omdat niet elk werkstation werknemers van andere werkstations als back-up heeft, omdat werknemers van bepaalde werkstations geen cross-training krijgen om in andere werkstations aan de slag te kunnen en omdat niet alle werkstations onderling verbonden zijn.

Flexibiliteit 1.67		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	1		1			
	2		1	1			
	3			1			
	4				1		1
	5					1	1
	6						1

Tabel 22: Trainingsschema scenario 5

De werknemers die aan de slag kunnen in twee verschillende werkstations, behoren elk tot twee verschillende bedieningseenheden (Tabel 23, rijen). Beide bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend, maar iedere werknemer kan slechts in één werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Om die reden zijn de capaciteiten van bijvoorbeeld de bedieningseenheden WN1WS2 en WN1WS2Pseudo3 nooit allebei tegelijkertijd gelijk aan één.

In dit scenario kan enkel het derde en zesde werkstation worden bediend door twee verschillende werknemers (Tabel 23, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval een of twee verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 24).

		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1		WN1WS1Pseudo3			
	2		WN1WS2	WN1WS2Pseudo3			
	3			WN1WS3			
	4				WN1WS4		WN1WS4Pseudo6
	5					WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6						WN1WS6

Tabel 23: Trainingsschema scenario 5: simulatie

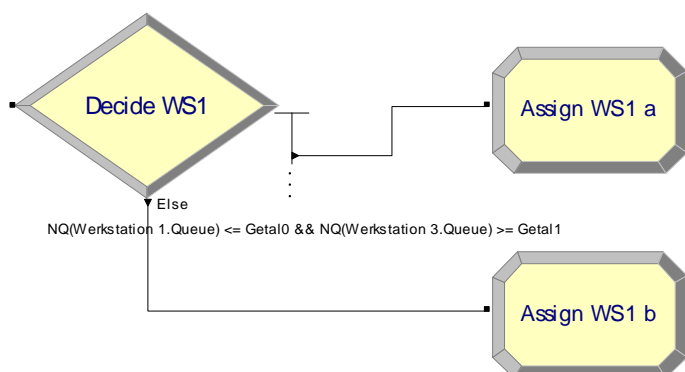
	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2	Bedieningseenheid 3
Set WS1	WN1WS1		
Set WS2	WN1WS2		
Set WS3	WN1WS3	WN1WS1Pseudo3	WN1WS2Pseudo3
Set WS4	WN1WS4		
Set WS5	WN1WS5		
Set WS6	WN1WS6	WN1WS4Pseudo6	WN1WS5Pseudo6

Tabel 24: Scenario 5: sets

Het proces van de start van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden voor het vijfde scenario bestaat uit vier beslissingsmodules en acht toewijzingsmodules (Bijlage 10). In de beslissingsmodule horende bij de werknemer van Werkstation 1 (Figuur 19) wordt gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul en het aantal entiteiten in de

wachtrij van Werkstation 3 (het andere werkstation waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) groter is dan of gelijk aan tien. De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als de voorwaarde voldaan is, zal met behulp van een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 nul worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 één. Als de voorwaarde niet voldaan is zal met behulp van een andere toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 nul. Na het passeren van een van de twee toewijzingsmodules, komt de logische entiteit de beslissingsmodule van de werknemer van Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad vier beslissingsmodules en vier toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat.

De werknemers van het derde en vierde werkstation hebben geen nood aan een beslissingsmodule omdat zij slechts in het initiële werkstation aan de slag kunnen. In Bijlage 11 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 19: Scenario 5: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

3.4.6 Scenario 6

Het zesde scenario heeft een trainingsschema (Tabel 25) waarbij de werknemers een gemiddelde flexibiliteit van 2,33 hebben over alle werkstations heen. Hier hebben ook niet alle werknemers dezelfde flexibiliteit. De mix van flexibiliteit zorgt dat in werkstation drie en werkstation zes de productielijn niet vertraagt. De werknemers kunnen dus elk tewerkgesteld worden in een van de werkstations waarvoor zij een cross-training ondergingen. Werknemers die geen cross-training genoten, kunnen enkel aan de slag in hun initiële werkstation en worden dus niet ingezet bij andere. Het trainingsschema is niet geketend over de gehele productielijn omdat niet elk werkstation werknemers van andere werkstations als back-up heeft, omdat werknemers van bepaalde

werkstations geen cross-training krijgen om in andere werkstations aan de slag te kunnen en omdat niet alle werkstations onderling verbonden zijn.

Flexibiliteit 2.33	Werkstation					
	1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	1		1		1
	2		1	1		1
	3			1		
	4			1	1	1
	5			1		1
	6					1

Tabel 25: Trainingsschema scenario 6

De werknemers die aan de slag kunnen in drie verschillende werkstations, behoren elk tot drie verschillende bedieningseenheden (Tabel 26, rijen). De drie bedieningseenheden worden ieder aan een andere procesmodule toegekend, maar iedere werknemer kan slechts in een werkstation tegelijkertijd een taak uitvoeren. Om die reden zijn de capaciteiten van bijvoorbeeld de bedieningseenheden WN1WS2, WN1WS2Pseudo3 en WN1WS2Pseudo6 nooit tegelijkertijd gelijk aan één.

In dit scenario kan enkel het derde en zesde werkstation worden bediend door meerdere werknemers (Tabel 26, kolommen). Dat betekent dat iedere procesmodule een set van bedieningseenheden, met in dit geval één of vijf verschillende bedieningseenheden, toegewezen krijgt (Tabel 27).

Flexibiliteit 2.33		Werkstation					
		1	2	3	4	5	6
Werknemer in werkstation	1	WN1WS1		WN1WS1Pseudo3			WN1WS1Pseudo6
	2		WN1WS2	WN1WS2Pseudo3			WN1WS2Pseudo6
	3			WN1WS3			
	4			WN1WS4Pseudo3	WN1WS4		WN1WS4Pseudo6
	5			WN1WS5Pseudo3		WN1WS5	WN1WS5Pseudo6
	6						WN1WS6

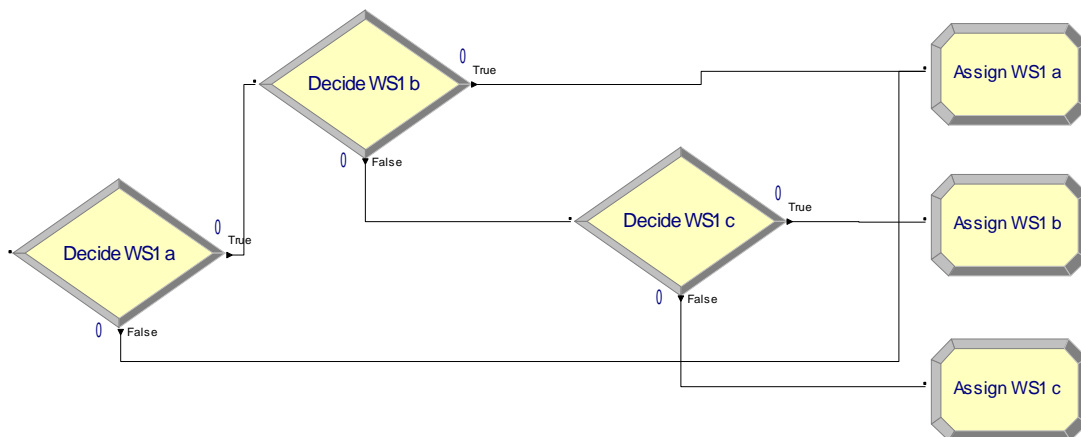
Tabel 26: Trainingsschema scenario 6: simulatie

	Bedieningseenheid 1	Bedieningseenheid 2	Bedieningseenheid 3	Bedieningseenheid 4	Bedieningseenheid 5
Set WS1	WN1WS1				
Set WS2	WN1WS2				
Set WS3	WN1WS3	WN1WS6Pseudo3	WN1WS4Pseudo3	WN1WS2Pseudo3	WN1WS1Pseudo3
Set WS4	WN1WS4				
Set WS5	WN1WS5				
Set WS6	WN1WS6	WN1WS1Pseudo6	WN1WS2Pseudo6	WN1WS4Pseudo6	WN1WS6Pseudo6

Tabel 27: Scenario 6: sets

Het proces van de start van de bepaling en toewijzing van de capaciteit van bedieningseenheden voor het zesde scenario bestaat uit twaalf beslissingsmodules en twaalf toewijzingsmodules (Bijlage 12). In de beslissingsmodules horende bij de werknemer van Werkstation 1 (Figuur 20) wordt eerst gekeken of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 1 gelijk is aan nul ('Decide WS1 a'). Is er niet voldaan aan die voorwaarde dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één en de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 en WN1WS1Pseudo6 nul. Als aan die eerste voorwaarde wel voldaan is, wordt nagegaan of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 en het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 6 (de andere werkstations waar de werknemer van het initiële werkstation 1 een taak kan uitvoeren) kleiner is dan tien ('Decide WS1 b'). De werknemer mag namelijk het initiële werkstation pas verlaten als zijn initiële werkstation geen producten in de wachtrij heeft en als het andere werkstation waar de werknemer tewerkgesteld kan worden een wachtrij heeft die groter is dan de vooraf bepaalde grenswaarde. Als de voorwaarde voldaan is zal daarom met behulp van de eerder vernoemde toewijzingsmodule (Assign WS1 a) de capaciteit van WN1WS1 één worden en de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 en WN1WS1Pseudo6 nul. Als het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 3 of het aantal entiteiten in de wachtrij van Werkstation 6 echter groter is dan of gelijk aan tien dan wordt getest welke van die twee wachtrijen het grootst is ('Decide WS1 c'). Is de wachtrij van Werkstation 3 het grootst dan wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 c) de capaciteit van WN1WS1Pseudo3 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo6 nul. Is de wachtrij van Werkstation 6 groter dan of gelijk aan die van Werkstation 3 wordt via een toewijzingsmodule (Assign WS1 b) de capaciteit van WN1WS1Pseudo6 één en de capaciteit van WN1WS1 en WN1WS1Pseudo3 nul. Nadat de logische entiteit één van de drie verschillende toewijzingsvariabelen heeft doorlopen, komt ze de beslissingsmodule van de werknemer van Werkstation 2 binnen. Daar zal net dezelfde methodiek toegepast worden. De logische entiteit zal iedere keer op haar pad een aantal beslissingsmodules en vier toewijzingsmodules kruisen alvorens ze via de eindmodule het proces verlaat.

De werknemers van het derde en zesde werkstation hebben geen nood aan een beslissingsmodule omdat zij slechts in het initiële werkstation aan de slag kunnen. In Bijlage 13 kan het volledige proces van de bepaling en toekenning van de capaciteiten worden teruggevonden.



Figuur 20: Scenario 6: beslissings- en toewijzingsmodules Werkstation 1

3.5 Bespreking van de resultaten

De output van de verschillende scenario's zal besproken worden en scenario's worden met elkaar vergeleken om te bepalen of het ene beter is dan het andere. De onderzoeksvariabelen die daarvoor worden gebruikt, zijn dezelfde als bij de analyse van het basisscenario.

3.5.1 Individuele analyse

In deze sectie wordt de output van de verschillende scenario's uiteengezet. Tijdens de analyse wordt elk scenario reeds vergeleken met het basisscenario.

3.5.1.1 Scenario 1

Een product heeft in het eerste scenario gemiddeld 47,93 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 690,41 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien is in Tabel 28. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatieve scenario.

Tabel 28 toont aan dat de wachtrijen van het derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 178,61 en 161,25 producten. De derde wachtrij bevat nu gemiddeld 6,13 producten en de zesde wachtrij gemiddeld 5,33 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 1,01, 2,30 en 0,87 producten. De stijging is te verwachten omdat die werknemers hun initiële werkstation soms verlaten om bij te springen in een ander werkstation. Op die momenten is er echter niemand aanwezig in de werkstations die de werknemers tijdelijk verlaten hebben waardoor geen taken worden uitgevoerd. Die redenering wordt in de analyse van de overige

vijf scenario's ook gevolgd als wachtrijen in een werkstation stijgen. Het aantal producten in de wachtrij van het eerste werkstation is niet significant verschillend.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 1}	Gem _(Basis – Scenario 1)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	47,93 min	690,41 *	102,03 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	2,14	0,09	0,29
Wachtrij werkstation 2	0	1,01	-1,01 *	0,16
Wachtrij werkstation 3	184,79	6,18	178,61 *	49,08
Wachtrij werkstation 4	0	2,30	-2,30 *	0,57
Wachtrij werkstation 5	0	0,87	-0,87 *	0,12
Wachtrij werkstation 6	166,58	5,33	161,25 *	9,35

Tabel 28: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 1)

De werknemers werken nu niet enkel aan hun initiële werkstation, maar springen ook bij in werkstations waarvoor zij cross-training ondergingen. Uit Tabel 29 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 6,72, 2,99 en 11,12 procentpunt. De werknemers van het tweede en vijfde werkstation bieden beiden hulp bij een *bottleneck* uit het basisscenario. Ze zijn namelijk respectievelijk gemiddeld 6,5 procent (31 minuten op een acht uur durende shift) en gemiddeld 7,7 procent (37 minuten op een acht uur durende shift) van hun shift ingepland in het werkstation (*bottleneck*) waarvoor ze cross-training ondergingen. De benuttingsgraad van de werknemer van het vierde werkstation stijgt daarentegen omdat de producten nu sneller aangeleverd worden door het derde werkstation. De werknemer van het vierde werkstation dient daardoor veel meer taken uit te voeren in zijn initiële werkstation.

De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het derde en zesde werkstation daalt in dit scenario lichtjes, gemiddeld 3,26 en 0,97 procentpunt, omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De benuttingsgraad van de werknemer van het eerste werkstation is niet significant verschillend. De gemiddelde benuttingsgraad over de werkstations heen stijgt met gemiddeld 3,14 procentpunt tot gemiddeld 90 procent in het eerste scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 29.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 1}	Gem _(Basis – Scenario 1)	σ
Werknemer 1	82,16%	81,82%	0,34	1,16
Werknemer 2	76,79%	83,51%	-6,72 *	1,86
Werknemer 3	99,96%	96,70%	3,26 *	0,61
Werknemer 4	89,57%	92,56%	-2,99 *	1,01
Werknemer 5	72,69%	83,81%	-11,12 *	2,79
Werknemer 6	100%	99,03%	0,97 *	0,46
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	90%	-3,14 *	1,11

Tabel 29: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 1)

Een nadeel van dit scenario is dat vier vaardigheden die via cross-training werden bijgetraind nauwelijks of niet worden gebruikt. Enkel de werknemers die bij de *bottleneck* inspringen maken gebruik van de extra vaardigheden die ze via cross-training hebben. Tijdens onverwachte gebeurtenissen kunnen alle werknemers wel inspringen, wat in het basisscenario niet mogelijk is.

3.5.1.2 Scenario 2

Een product heeft in het tweede scenario gemiddeld 79,77 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 658,57 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien in Tabel 30. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatief scenario.

Tabel 30 toont aan dat de wachtrijen van het eerste, derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 0,31, 163,92 en 161,08 producten. De eerste wachtrij bevat nu gemiddeld 1,92 producten, de derde wachtrij bevat gemiddeld 20,87 producten en de zesde wachtrij gemiddeld 5,5 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 0,5, 3,87 en 0,73 producten.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 2}	Gem _(Basis – Scenario 2)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	79,77 min	658,57 min *	105,91 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	1,92	0,31 *	0,26
Wachtrij werkstation 2	0	0,51	-0,51 *	0,14
Wachtrij werkstation 3	184,79	20,87	163,92 *	50,92
Wachtrij werkstation 4	0	3,87	-3,87 *	0,25
Wachtrij werkstation 5	0	0,73	-0,73 *	0,06
Wachtrij werkstation 6	166,58	5,5	161,08 *	9,39

Tabel 30: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 2)

Uit Tabel 31 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 0,48, 8,28 en 10,81 procentpunt. De werknemers van het vierde en vijfde werkstation bieden beiden hulp bij een *bottleneck* uit het basisscenario. Ze zijn namelijk respectievelijk gemiddeld 4,6 procent (22 minuten op een acht uur durende shift) en gemiddeld 7,3 procent (35 minuten op een acht uur durende shift) van hun shift ingepland aan het werkstation waarvoor ze cross-training ondergingen. De benuttingsgraad van de werknemer van het tweede werkstation stijgt daarentegen omdat die soms bijspringt bij het eerste werkstation.

De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het eerste, derde en zesde werkstation daalt in dit scenario lichtjes, respectievelijk gemiddeld 0,48, 1,24 en 0,38 procentpunt, omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De gemiddelde benuttingsgraad over de

werkstations heen stijgt met gemiddeld 2,91 procentpunt tot gemiddeld 89,77 procent in het tweede scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 31.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 2}	Gem _(Basis – Scenario 2)	σ
Werknemer 1	82,16%	81,68%	0,48 *	1
Werknemer 2	76,79%	77,27%	-0,48 *	0,78
Werknemer 3	99,96%	98,72%	1,24 *	0,53
Werknemer 4	89,57%	97,85%	-8,28 *	0,89
Werknemer 5	72,69%	83,50%	-10,81 *	1,13
Werknemer 6	100%	99,62%	0,38 *	0,46
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	89,77%	-2,91 *	0,57

Tabel 31: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 2)

Een nadeel van dit scenario is dat ook hier vier vaardigheden die via cross-training werden bijgetraind nauwelijks of niet worden gebruikt. Enkel de werknemers die bij de *bottleneck* inspringen maken gebruik van de extra vaardigheden die ze via cross-training hebben. Tijdens onverwachte gebeurtenissen kunnen alle werknemers wel inspringen, wat in het basisscenario niet mogelijk is.

3.5.1.3 Scenario 3

Een product heeft in het derde scenario gemiddeld 102,33 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 636,01 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien in Tabel 32. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatief scenario.

Tabel 32 toont aan dat de wachtrijen van het eerste, derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 0,68, 179,63 en 135,67 producten. De eerste wachtrij bevat nu gemiddeld 1,65 producten, de derde wachtrij bevat gemiddeld 5,16 producten en de zesde wachtrij gemiddeld 30,91 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 1,31, 3,38 en 1,86 producten.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 3}	Gem _(Basis – Scenario 3)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	102,33 min	636,01 min *	100,78 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	1,65	0,68 *	0,25
Wachtrij werkstation 2	0	1,31	-1,31 *	0,15
Wachtrij werkstation 3	184,79	5,16	179,63 *	49,12
Wachtrij werkstation 4	0	3,38	-3,38 *	0,39
Wachtrij werkstation 5	0	1,86	-1,86 *	0,26
Wachtrij werkstation 6	166,58	30,91	135,67 *	19,14

Tabel 32: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 3)

Uit Tabel 33 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 4,95, 8,39 en 10,8 procentpunt. De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het eerste, derde en zesde werkstation daalt in dit scenario lichtjes omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De gemiddelde benuttingsgraad over de werkstations heen stijgt met gemiddeld 2,63 procentpunt tot gemiddeld 89,49 procent in het derde scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 33.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 3}	Gem _(Basis – Scenario 3)	σ
Werknemer 1	82,16%	78,27%	3,89 *	0,93
Werknemer 2	76,79%	81,74%	-4,95 *	1,57
Werknemer 3	99,96%	95,93%	4,03 *	0,62
Werknemer 4	89,57%	97,96%	-8,39 *	1,13
Werknemer 5	72,69%	83,49%	-10,8 *	2,07
Werknemer 6	100%	99,56%	0,44 *	0,5
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	89,49%	-2,63 *	0,88

Tabel 33: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 3)

De werknemers van het eerste, tweede en vierde werkstation bieden allen hulp bij een *bottleneck* uit het basisscenario (respectievelijk gemiddeld 21, 19 en 33 minuten op een acht uur durende shift). Doordat de werknemer van het initiële eerste werkstation vaak bijspringt in het derde werkstation, ontstaat een wachtrij in het eerste werkstation waardoor de werknemer van het initiële vijfde werkstation bijspringt in het eerste werkstation (gemiddeld 76 minuten op een acht uur durende shift). Dat heeft als gevolg dat de werknemer van het initiële vijfde werkstation niet vaak kan helpen in het zesde werkstation, zoals te zien in Tabel 34.

Werknemer	Bijspringen in:	Percentage	Aantal minuten per acht uur
Werknemer 1	Werkstation 2	± 0	± 0
Werknemer 1	Werkstation 3	4,4%	21 minuten
Werknemer 2	Werkstation 3	4%	19 minuten
Werknemer 2	Werkstation 4	1,4%	7 minuten
Werknemer 3	Werkstation 4	± 0	± 0
Werknemer 3	Werkstation 5	± 0	± 0
Werknemer 4	Werkstation 5	± 0	± 0
Werknemer 4	Werkstation 6	6,8%	33 minuten
Werknemer 5	Werkstation 1	16%	76 minuten
Werknemer 5	Werkstation 6	± 0	± 0
Werknemer 6	Werkstation 1	± 0	± 0
Werknemer 6	Werkstation 2	± 0	± 0

Tabel 34: Verdeling werknemers over werkstations scenario 3

Een nadeel van dit scenario is dat maar liefst zeven vaardigheden die via cross-training werden bijgetraind, nauwelijks of niet worden gebruikt. Tijdens onverwachte gebeurtenissen kunnen zij wel inspringen, wat in het basisscenario niet mogelijk is. Zeven vaardigheden die niet benut worden, is echter een groot aantal.

3.5.1.4 Scenario 4

Een product heeft in het vierde scenario gemiddeld 50,32 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 688,02 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien in Tabel 35. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatief scenario.

Tabel 35 toont aan dat de wachtrijen van het derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 179,23 en 160,41 producten. De derde wachtrij bevat nu gemiddeld 5,56 producten en de zesde wachtrij bevat gemiddeld 6,17 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 2,33, 1,04, 2,85 en 1,06 producten.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 4}	Gem _(Basis – Scenario 4)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	50,32 min	688,02 min *	101,72 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	2,33	-0,1	0,05
Wachtrij werkstation 2	0	1,04	-1,04 *	0,12
Wachtrij werkstation 3	184,79	5,56	179,23 *	49,13
Wachtrij werkstation 4	0	2,85	-2,85 *	0,52
Wachtrij werkstation 5	0	1,06	-1,06 *	0,15
Wachtrij werkstation 6	166,58	6,17	160,41 *	9,53

Tabel 35: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 4)

Uit Tabel 36 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 2,05, 5,46, 2,98 en 11,26 procentpunt. Dat werkstation waar ze bijspringen is praktisch elke keer een *bottleneck* uit het basisscenario. Die laatste vaststelling is weergegeven in Tabel 37.

De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het derde en zesde werkstation daalt in dit scenario omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De gemiddelde benuttingsgraad over de werkstations heen stijgt met gemiddeld 2,71 procentpunt tot gemiddeld 89,57 procent in het vierde scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 36.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 4}	Gem _(Basis – Scenario 4)	σ
Werknemer 1	82,16%	84,21%	-2,05 *	1,26
Werknemer 2	76,79%	82,25%	-5,46 *	1,51
Werknemer 3	99,96%	95,90%	4,06 *	0,63
Werknemer 4	89,57%	92,55%	-2,98 *	0,85
Werknemer 5	72,69%	83,95%	-11,26 *	1,59
Werknemer 6	100%	98,55%	1,45 *	0,46
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	89,57%	-2,71 *	0,85

Tabel 36: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 4)

Werknemer	Bijspringen in:	Percentage	Aantal minuten per acht uur
Werknemer 1	Werkstation 2	± 0	± 0
Werknemer 1	Werkstation 3	2,61%	13 minuten
Werknemer 2	Werkstation 1	± 0	± 0
Werknemer 2	Werkstation 3	5,24%	25 minuten
Werknemer 3	Werkstation 1	± 0	± 0
Werknemer 3	Werkstation 2	± 0	± 0
Werknemer 4	Werkstation 5	± 0	± 0
Werknemer 4	Werkstation 6	1,65%	8 minuten
Werknemer 5	Werkstation 4	± 0	± 0
Werknemer 5	Werkstation 6	7,31%	35 minuten
Werknemer 6	Werkstation 4	± 0	± 0
Werknemer 6	Werkstation 5	± 0	± 0

Tabel 37: Verdeling werknemers over werkstations scenario 4

Een nadeel van dit scenario is dat maar liefst acht vaardigheden die via cross-training werden bijgetraind nauwelijks of niet gebruikt worden. Tijdens onverwachte gebeurtenissen kunnen zij wel inspringen, wat in het basisscenario niet mogelijk is. Acht vaardigheden die niet benut worden, is echter een groot aantal.

3.5.1.5 Scenario 5

Een product heeft in het vijfde scenario gemiddeld 48,06 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 690,28 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien in Tabel 38. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatief scenario.

Tabel 38 toont aan dat de wachtrijen van het derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 179,56 en 161,56 producten. De derde wachtrij bevat nu gemiddeld 5,23 producten en de zesde wachtrij bevat gemiddeld 5,02 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 2,50, 0,83, 3,57 en 0,76 producten.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Basis – Scenario 5)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	48,06 min	690,28 min *	101,87 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	2,50	-0,27 *	0,33
Wachtrij werkstation 2	0	0,83	-0,83 *	0,11
Wachtrij werkstation 3	184,79	5,23	179,56 *	49,16
Wachtrij werkstation 4	0	3,57	-3,57 *	0,86
Wachtrij werkstation 5	0	0,76	-0,76 *	0,11
Wachtrij werkstation 6	166,58	5,02	161,56 *	9,4

Tabel 38: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 5)

Uit Tabel 39 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 1,94, 5,2, 4,11 en 10,6 procentpunt. De werknemers van het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation bieden dan ook allen hulp bij een *bottleneck* uit het basisscenario. De bijdrage van de werknemer van het vierde initiële werkstation in werkstation 6 is slechts gemiddeld vijf minuten, wat helemaal niet veel is op een hele werkdag. De hulp van de eerste, tweede en vijfde werknemer bij een *bottleneck* is respectievelijk gemiddeld elf, 25 en 36 minuten op een acht uur durende werkdag, zoals weergegeven in Tabel 40. In tegenstelling tot de vier voorgaande scenario's worden in dit scenario wel alle aangeleerde vaardigheden gebruikt.

De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het derde en zesde werkstation daalt in dit scenario omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De gemiddelde benuttingsgraad over de werkstations heen stijgt met gemiddeld 2,77 procentpunt tot gemiddeld 89,63 procent in het vijfde scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 39.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Basis – Scenario 5)	σ
Werknemer 1	82,16%	84,10%	-1,94 *	1,13
Werknemer 2	76,79%	81,99%	-5,2 *	1,26
Werknemer 3	99,96%	96,02%	3,94 *	0,49
Werknemer 4	89,57%	93,68%	-4,11 *	0,99
Werknemer 5	72,69%	83,29%	-10,6 *	1,60
Werknemer 6	100%	98,72%	1,28 *	0,43
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	89,63%	-2,77 *	0,16

Tabel 39: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 5)

Werknemer	Bijspringen in:	Percentage	Aantal minuten per acht uur
Werknemer 1	Werkstation 3	2,24%	11 minuten
Werknemer 2	Werkstation 3	5,24%	25 minuten
Werknemer 4	Werkstation 6	1,07%	5 minuten
Werknemer 5	Werkstation 6	7,44%	36 minuten

Tabel 40: Verdeling werknemers over werkstations scenario 5

3.5.1.6 Scenario 6

Een product heeft in het zesde scenario gemiddeld 54,03 minuten nodig in plaats van gemiddeld 738,34 minuten, zoals in het basisscenario, om alle werkstations te passeren. Dat is een verlaging van gemiddeld 684,31 minuten ten opzichte van het basisscenario, zoals te zien in Tabel 41. Het verkrijgen van dergelijke daling is het opzet van het alternatief scenario.

Tabel 41 toont aan dat de wachtrijen van het derde en zesde werkstation dalen met respectievelijk gemiddeld 180,24 en 161,53 producten. De derde wachtrij bevat nu gemiddeld 4,55 producten en de zesde wachtrij bevat gemiddeld 5,05 producten. De daling van het aantal producten in de wachtrijen van het derde en zesde werkstation is zeer wenselijk voor het functioneren van het productieproces. Het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation kennen daarentegen een lichte stijging van de wachtrij tot respectievelijk gemiddeld 2,77, 1,17, 6,36 en 0,95 producten.

	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 6}	Gem _(Basis – Scenario 6)	σ
Doorlooptijd per product	738,34 min	54,03 min	684,31 min *	101,32 min
Wachtrij werkstation 1	2,23	2,77	-0,54 *	0,34
Wachtrij werkstation 2	0	1,17	-1,17 *	0,18
Wachtrij werkstation 3	184,79	4,55	180,24 *	49,11
Wachtrij werkstation 4	0	6,36	-6,36 *	1,34
Wachtrij werkstation 5	0	0,95	-0,95 *	0,14
Wachtrij werkstation 6	166,58	5,05	161,53 *	9,34

Tabel 41: Doorlooptijd en wachtrij (basisscenario – scenario 6)

Uit Tabel 42 blijkt dat de benuttingsgraad van de werknemers van het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation stijgt met respectievelijk gemiddeld 3,04, 6,78, 4,71 en 11,35 procentpunt. De werknemers van het eerste, tweede, vierde en vijfde werkstation bieden dan ook allen hulp bij een *bottleneck* uit het basisscenario. De bijdrage van de werknemer van het vierde initiële werkstation in werkstation 6 is verwaarloosbaar. De andere aangeleerde vaardigheden worden wel geregeld gebruikt. In dit laatste scenario wordt slechts één bijgetrainde vaardigheid niet benut. De verdeling van de werknemers over de in aanmerking komende werkstations wordt weergegeven in Tabel 43.

De vrij hoge benuttingsgraad in het basisscenario van de werknemers van het derde en zesde werkstation daalt in dit scenario omdat werknemers van andere werkstations bijspringen. De gemiddelde benuttingsgraad over de werkstations heen stijgt met gemiddeld 2,82 procentpunt tot gemiddeld 89,78 procent in het zesde scenario. De benuttingsgraad en bijhorende informatie staan genoteerd in Tabel 42.

Benuttingsgraad	Gem _{Basis}	Gem _{Scenario 6}	Gem _(Basis – Scenario 6)	σ
Werknemer 1	82,16%	85,20%	-3,04	2,68
Werknemer 2	76,79%	83,57%	-6,78	1,59
Werknemer 3	99,96%	94,38%	5,58	0,75
Werknemer 4	89,57%	94,28%	-4,71	1,18
Werknemer 5	72,69%	84,04%	-11,35	1,82
Werknemer 6	100%	97,18%	2,82	0,43
Gemiddelde benuttingsgraad	86,86%	89,78%	-2,92	1,18

Tabel 42: Benuttingsgraad (basisscenario – scenario 6)

Werknemer	Bijspringen in:	Percentage	Aantal minuten per acht uur
Werknemer 1	Werkstation 3	1,66%	8 minuten
Werknemer 1	Werkstation 6	2,20%	11 minuten
Werknemer 2	Werkstation 3	3,77%	18 minuten
Werknemer 2	Werkstation 6	4,64%	25 minuten
Werknemer 4	Werkstation 3	1,63%	8 minuten
Werknemer 4	Werkstation 6	± 0	± 0
Werknemer 5	Werkstation 3	4,46%	21 minuten
Werknemer 5	Werkstation 6	5,60%	27 minuten

Tabel 43: Verdeling werknemers over werkstations scenario 6

3.5.2 Vergelijking tussen scenario's

Uit de analyses van sectie 3.5.1 is duidelijk geworden dat ieder scenario leidt tot betere prestaties dan het basisscenario. Nu worden vergelijkende analyses gemaakt van de scenario's onderling om te bepalen welke de beste scenario's zijn. Allereerst worden het eerste en tweede scenario vergeleken. Beide hebben een gemiddelde flexibiliteit van twee. Daarna wordt het beste van de twee scenario's vergeleken met het vijfde scenario, een variant van het eerste dat de werknemers van de *bottleneck* geen cross-training aanbiedt.

Verder worden het derde en vierde scenario vergeleken. Beide hebben een gemiddelde flexibiliteit van drie. Daarna wordt het beste van de twee scenario's vergeleken met het zesde, een variant van het derde scenario dat de werknemers van de *bottleneck* geen cross-training aanbiedt.

3.5.2.1 Scenario 1 en scenario 2

Tabel 44 toont dat een product in het eerste scenario gemiddeld 47,93 minuten nodig heeft tegenover gemiddeld 79,77 minuten in het tweede scenario, om alle werkstations te passeren. Dat is gemiddeld 31,84 minuten minder ten opzichte van het tweede scenario. Het eerste scenario leidt daarom tot betere prestaties dan het tweede.

De wachtrijen van het eerste, tweede en vijfde werkstation zijn significant kleiner in het tweede scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar. De wachtrijen van het derde, vierde en zesde werkstation zijn groter in het tweede scenario. De wachtrij van het derde

werkstation is in het tweede scenario met gemiddeld 20,87 producten, gemiddeld 14,69 producten groter dan in het eerste scenario.

	Gem _{Scenario 1}	Gem _{Scenario 2}	Gem _(Scenario 1 – scenario 2)	σ
Doorlooptijd per product	47,93 min	79,77 min	-31,84 *	17,5
Wachtrij werkstation 1	2,14	1,92	0,23 *	0,23
Wachtrij werkstation 2	1,01	0,51	0,5 *	0,23
Wachtrij werkstation 3	6,18	20,87	-14,69 *	8,51
Wachtrij werkstation 4	2,30	3,87	-1,57 *	0,58
Wachtrij werkstation 5	0,87	0,73	0,14 *	0,13
Wachtrij werkstation 6	5,33	5,50	-0,17 *	0,34

Tabel 44: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 1 – scenario 2)

Tabel 45 geeft de benuttingsgraad voor alle werknemers. De gemiddelde benuttingsgraad is niet significant verschillend. De benuttingsgraad van de werknemer van het tweede initiële werkstation is in het eerste scenario gemiddeld 6,24 procentpunt hoger. De benuttingsgraad van de werknemer van het vierde initiële werkstation is in het eerste scenario daarentegen gemiddeld 5,29 procentpunt lager. Ook de werknemer van het derde en zesde initiële werkstation kent een kleinere benuttingsgraad. De gemiddelde benuttingsgraad per werknemer is in het eerste scenario daarom meer gelijk verdeeld omdat de percentages veranderen naar het gemiddelde toe.

Benuttingsgraad	Gem _{Scenario 1}	Gem _{Scenario 2}	Gem _(Scenario 1 – scenario 2)	σ
Werknemer 1	81,82%	81,68%	0,14	1,3
Werknemer 2	83,51%	77,27%	6,24 *	1,95
Werknemer 3	96,70%	98,72%	-2,02 *	0,8
Werknemer 4	92,56%	97,85%	-5,29 *	1,41
Werknemer 5	83,81%	83,50%	0,31	2,96
Werknemer 6	99,03%	99,62%	-0,59 *	0,65
Gemiddelde benuttingsgraad	90%	89,77%	0,23	1,30

Tabel 45: Benuttingsgraad (scenario 1 – scenario 2)

3.5.2.2 Scenario 1 en scenario 5

Het eerste scenario is beter dan het tweede scenario. Om die reden worden in deze sectie het eerste en het vijfde scenario vergeleken. Een product heeft in het eerste en vijfde scenario σ gemiddeld geen significant verschillende doorlooptijd per product. In beide scenario's hebben producten dus ongeveer evenveel minuten nodig om alle werkstations te passeren. Dat betekent dat geen van beide scenario's leidt tot betere prestaties.

De wachtrijen van het eerste en vierde werkstation zijn significant kleiner in het eerste scenario. De wachtrijen van het tweede, derde, vijfde en zesde werkstation zijn significant groter in het eerste scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar voor alle werkstations, zoals te merken in Tabel 46.

	Gem _{Scenario 1}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Scenario 1 – Scenario 5)	σ
Doorlooptijd per product	47,93 min	48,06 min	-0,13 min	5,32
Wachtrij werkstation 1	2,14	2,50	-0,36 *	0,39
Wachtrij werkstation 2	1,01	0,83	0,18 *	0,18
Wachtrij werkstation 3	6,18	5,23	0,95 *	1,01
Wachtrij werkstation 4	2,30	3,57	-1,27 *	1,07
Wachtrij werkstation 5	0,87	0,76	0,11 *	0,14
Wachtrij werkstation 6	5,33	5,02	0,31 *	0,27

Tabel 46: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 1 – scenario 5)

Tabel 47 geeft de benuttingsgraad voor alle werknemers. De gemiddelde benuttingsgraad is niet significant verschillend, net zoals de benuttingsgraad van de werknemer van het vijfde initiële werkstation. De benuttingsgraad van de werknemer van het eerste en vierde initiële werkstation is in het vijfde scenario significant hoger. De benuttingsgraad van de werknemer van het tweede, derde en zesde initiële werkstation is daarentegen lager in het vijfde scenario. De verschillen zijn echter verwaarloosbaar klein.

Benuttingsgraad	Gem _{Scenario 1}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Scenario 1 – Scenario 5)	σ
Werknemer 1	81,82%	84,10%	-2,28 *	1,32
Werknemer 2	83,51%	81,99%	1,52 *	1,84
Werknemer 3	96,70%	96,02%	0,68 *	0,63
Werknemer 4	92,56%	93,68%	-1,12 *	1,17
Werknemer 5	83,81%	83,29%	0,52	2,5
Werknemer 6	99,03%	98,72%	0,31 *	0,5
Gemiddelde benuttingsgraad	90%	89,63%	0,37	1,08

Tabel 47: Benuttingsgraad (scenario 1 – scenario 5)

3.5.2.3 Scenario 3 en scenario 4

Tabel 48 toont dat een product in het vierde scenario gemiddeld 50,32 minuten nodig heeft tegenover gemiddeld 102,33 minuten in het derde scenario, om alle werkstations te passeren. Dat is gemiddeld 52,01 minuten minder ten opzichte van het derde scenario. Het vierde scenario leidt daarom tot betere prestaties dan het derde.

De wachtrijen van het eerste en derde werkstation zijn significant groter in het vierde scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar. De wachtrijen van het tweede, vierde, vijfde en zesde werkstation zijn significant kleiner in het vierde scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar voor het tweede, vierde en vijfde. Uit Tabel 48 blijkt daarentegen dat het zesde werkstation een wachtrij heeft die gemiddeld 24,74 producten kleiner is. De langere wachtrij in het zesde werkstation in het derde scenario ligt aan de basis van de grotere doorlooptijd per product voor het derde scenario. De verklaring voor de langere wachtrij is dat in het derde scenario de werknemer van het initiële eerste werkstation vaak bijspringt in het derde werkstation. Daardoor ontstaat er een wachtrij in het eerste werkstation waardoor de werknemer van het initiële vijfde

werkstation bijspringt in het eerste werkstation. Dat heeft als gevolg dat de werknemer van het initiële vijfde werkstation niet vaak kan helpen in het zesde werkstation. In het vierde scenario echter helpen de werknemers voornamelijk de *bottlenecks*.

	Gem _{Scenario 3}	Gem _{Scenario 4}	Gem _(Scenario 3 – Scenario 4)	σ
Doorlooptijd per product	102,33 min	50,32 min	52,01 min *	34,61 min
Wachtrij werkstation 1	1,65	2,33	-0,68 *	0,17
Wachtrij werkstation 2	1,31	1,04	0,27 *	0,17
Wachtrij werkstation 3	5,16	5,56	-0,4 *	0,58
Wachtrij werkstation 4	3,38	2,85	0,53 *	0,61
Wachtrij werkstation 5	1,86	1,06	0,8 *	0,28
Wachtrij werkstation 6	30,91	6,17	24,74 *	16,44

Tabel 48: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 3 – scenario 4)

Tabel 49 geeft de benuttingsgraad voor alle werknemers. De gemiddelde benuttingsgraad is niet significant verschillend, net zoals de benuttingsgraad van de werknemer van het derde en vijfde initiële werkstation. De benuttingsgraad van de werknemer van het eerste en tweede initiële werkstation is in het derde scenario significant lager. De benuttingsgraad van de werknemer van het eerste initiële werkstation is in het derde scenario gemiddeld 5,94 procentpunt lager. De benuttingsgraad van de werknemer van het vierde en zesde initiële werkstation is daarentegen hoger in het derde scenario. De benuttingsgraad van de werknemer van het vierde initiële werkstation is in het derde scenario gemiddeld 5,41 procentpunt hoger.

Benuttingsgraad	Gem _{Scenario 3}	Gem _{Scenario 4}	Gem _(Scenario 3 – Scenario 4)	σ
Werknemer 1	78,27%	84,21%	-5,94 *	0,83
Werknemer 2	81,74%	82,25%	-0,51 *	1,56
Werknemer 3	95,93%	95,90%	0,03	0,88
Werknemer 4	97,96%	92,55%	5,41 *	1,1
Werknemer 5	83,49%	83,95%	-0,46	2,46
Werknemer 6	99,56%	98,55%	1,01 *	0,5
Gemiddelde benuttingsgraad	89,49%	89,57%	-0,08	0,95

Tabel 49: Benuttingsgraad (scenario 3 – scenario 4)

3.5.2.4 Scenario 4 en scenario 6

Het vierde scenario is beter dan het derde scenario. Om die reden worden in deze sectie het vierde en het zesde scenario vergeleken. Tabel 50 toont dat een product in het vierde scenario gemiddeld 50,32 minuten nodig heeft tegenover gemiddeld 54,03 minuten in het zesde scenario, om alle werkstations te passeren. Dat is gemiddeld 3,71 minuten minder ten opzichte van het zesde scenario. Het vierde scenario leidt daarom tot betere prestaties dan het zesde scenario.

Uit Tabel 50 blijkt dat de wachtrijen van het derde, vijfde en zesde werkstation significant groter zijn in het vierde scenario. De wachtrijen van het eerste, tweede en vierde werkstation zijn significant

kleiner in het vierde scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar voor het eerste en tweede. Het vierde werkstation daarentegen heeft een wachtrij die gemiddeld 3,51 producten kleiner is.

	Gem _{Scenario 4}	Gem _{Scenario 6}	Gem _(Scenario 4 – Scenario 6)	σ
Doorlooptijd per product	50,32 min	54,03 min	-3,71 *	5,79
Wachtrij werkstation 1	2,33	2,77	-0,44 *	0,32
Wachtrij werkstation 2	1,04	1,17	-0,13 *	0,19
Wachtrij werkstation 3	5,56	4,55	1,01 *	0,64
Wachtrij werkstation 4	2,85	6,36	-3,51 *	1,4
Wachtrij werkstation 5	1,06	0,95	0,11 *	0,17
Wachtrij werkstation 6	6,17	5,05	1,12 *	0,72

Tabel 50: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 4 – scenario 6)

De wachtrijen aan de *bottlenecks* verminderen en de wachtrij in drie andere werkstations vermeerderen in het zesde scenario. De producten verblijven in het zesde scenario daardoor minder lang in de *bottleneck* en langer in drie andere werkstations. Een mogelijke verklaring voor de kortere doorlooptijd per product in het vierde scenario wordt via Tabel 51 verduidelijkt. In het vierde scenario zijn de werknemers meer aanwezig in hun initiële werkstation dan in het zesde scenario. In het zesde scenario wordt door de werknemers meer gebruik gemaakt van de extra vaardigheden. Enkel de werknemer van het initieel vierde werkstation springt in beide scenario's ongeveer evenveel minuten bij in andere werkstations. Maar doordat in het zesde scenario de andere werknemers vaker de *bottleneck* helpen, worden de producten sneller doorgegeven naar onder andere het vierde werkstation. De werknemers zijn minder aanwezig in hun initiële werkstation om daar vertragingen te voorkomen. Ook het vierde werkstation kan daardoor niet volgen en vertraagt zo het productieproces. Dat laatste werd ook statistisch aangetoond door het significant verschil in lengte van de wachtrij van het vierde werkstation. In het vierde scenario zijn de wachtrijen van de *bottlenecks* wel langer, maar de werknemers zijn meer aanwezig in hun initiële werkstation en kunnen zo producten sneller het proces laten doorlopen.

Werknemer	Gemiddeld aantal minuten bijspringen in werkstations per acht uur
Werknemer 1, scenario 4	13
Werknemer 1, scenario 6	19
Werknemer 2, scenario 4	25
Werknemer 2, scenario 6	43
Werknemer 3, scenario 4	0
Werknemer 3, scenario 6	0
Werknemer 4, scenario 4	8
Werknemer 4, scenario 6	8
Werknemer 5, scenario 4	35
Werknemer 5, scenario 6	48
Werknemer 6, scenario 4	0
Werknemer 6, scenario 6	0

Tabel 51: Gemiddeld aantal minuten bijspringen in andere werkstations per acht uur (scenario 4)

Tabel 52 geeft de benuttingsgraad voor alle werknemers. De gemiddelde benuttingsgraad is niet significant verschillend, net zoals de benuttingsgraad van de werknemer van het vierde en vijfde initiële werkstation. De benuttingsgraad van de werknemer van het eerste en tweede initiële werkstation is in het vierde scenario significant lager. De benuttingsgraad van de werknemer van het derde en zesde initiële werkstation is daarentegen hoger in het vierde scenario.

Benuttingsgraad	Gem _{Scenario 4}	Gem _{Scenario 6}	Gem _(Scenario 4 – Scenario 6)	σ
Werknemer 1	84,21%	85,20%	-0,99 *	2,51
Werknemer 2	82,25%	83,57%	-1,32 *	1,85
Werknemer 3	95,90%	94,38%	1,52 *	0,88
Werknemer 4	92,55%	94,28%	-1,73	1,13
Werknemer 5	83,95%	84,04%	-0,09	2,24
Werknemer 6	98,55%	97,18%	1,37 *	0,59
Gemiddelde benuttingsgraad	89,57%	89,78%	-0,21	1,21

Tabel 52: Benuttingsgraad (scenario 4 – scenario 6)

3.5.3 Tussentijdse conclusie

De geteste onderzoeksvariabelen scoren in alle onderzochte scenario's beter dan in het basisscenario. Zowel de doorlooptijd per product als de wachtrijen zijn lager in alle scenario's. De benuttingsgraad van iedere werknemer neigt in de scenario's meer naar een gelijke verdeling tussen de werknemers. In alle alternatieve scenario's werken de werknemers voornamelijk in hun initiële werkstation, zoals het opzet was. De werknemers springen bij in andere werkstations wanneer nodig, maar ze voeren voornamelijk taken uit in hun initiële werkstation.

Zoals de analyses aangeven, is voor het onderzochte productieproces bij een flexibiliteit van twee het scenario met een volledige keten voordeliger dan het scenario met drie kleine ketens. Tussen het scenario met een volledige keten en het scenario waar de werknemers van de *bottleneck* geen cross-training krijgen (flexibiliteit van 1,67), zijn echter geen significante verschillen in het simulatiemodel

wat de onderzochte onderzoeksvariabelen betreft. Ze hebben beide ongeveer dezelfde doorlooptijd per product en min of meer dezelfde gemiddelde wachtrijen. De onderneming heeft daarom de keuze tussen beide scenario's. Beide leiden op de werkvloer tot even goede resultaten.

Bij een flexibiliteit van drie is het scenario met twee kleine ketens beter dan het scenario met een volledige keten. Dat komt omdat in het onderzochte productieproces in ieder van de twee kleine ketens één *bottleneck* aanwezig is. Het scenario met twee kleine ketens leidt ook tot betere prestaties dan het scenario waar de werknemers van de *bottleneck* geen cross-training krijgen (flexibiliteit van 2,33). Het scenario met twee kleine ketens heeft de laagste doorlooptijd per product van de scenario's horende bij een flexibiliteit van drie.

3.5.4 Scenario 4 en scenario 5

De laatste twee scenario's die vergeleken worden zijn het vierde en het vijfde scenario. Het vierde scenario is het beste van de tweede groep scenario's (scenario's horende bij een flexibiliteit van drie). Het vijfde is, zoals later zal blijken, het beste scenario van de eerste groep (scenario's horende bij een flexibiliteit van twee).

Tabel 53 toont dat een product in het vijfde scenario gemiddeld 48,06 minuten nodig heeft tegenover gemiddeld 50,32 minuten in het vierde scenario, om alle werkstations te passeren. Dat is gemiddeld 2,26 minuten minder ten opzichte van het vierde scenario. Het vijfde scenario leidt daarom tot betere prestaties dan het vierde.

De wachtrijen van het eerste en vierde werkstation zijn significant kleiner in het vierde scenario. De wachtrijen van het tweede, derde, vijfde en zesde werkstation zijn significant groter in het vierde scenario. Het verschil in absolute grootte is echter verwaarloosbaar voor alle werkstations, zoals te merken in Tabel 53.

	Gem _{Scenario 4}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Scenario 4 – Scenario 5)	σ
Doorlooptijd per product	50,32 min	48,06 min	2,26 min *	5,47 min
Wachtrij werkstation 1	2,33	2,50	-0,17 *	0,35
Wachtrij werkstation 2	1,04	0,83	0,21 *	0,16
Wachtrij werkstation 3	5,56	5,23	0,33 *	0,73
Wachtrij werkstation 4	2,85	3,57	-0,72 *	1,12
Wachtrij werkstation 5	1,06	0,76	0,3 *	0,18
Wachtrij werkstation 6	6,17	5,02	1,15 *	0,69

Tabel 53: Doorlooptijd en wachtrij (scenario 4 – scenario 5)

Tabel 54 geeft de benuttingsgraad voor alle werknemers. De gemiddelde benuttingsgraad is niet significant verschillend, net zoals de benuttingsgraad van de werknemer van het eerste, tweede, vierde en vijfde initiële werkstation. De benuttingsgraad van de werknemer van het derde en zesde

initiële werkstation is in het vijfde scenario significant hoger. De verschillen zijn echter verwaarloosbaar klein.

Benuttingsgraad	Gem _{Scenario 4}	Gem _{Scenario 5}	Gem _(Scenario 4 – Scenario 5)	σ
Werknemer 1	84,21%	84,10%	0,11	1,67
Werknemer 2	82,25%	81,99%	0,26	1,73
Werknemer 3	95,90%	96,02%	-0,12 *	0,77
Werknemer 4	92,55%	93,68%	-1,13	1,34
Werknemer 5	83,95%	83,29%	0,66	2,15
Werknemer 6	98,55%	98,72%	-0,17 *	0,48
Gemiddelde benuttingsgraad	89,57%	89,63%	-0,06	1,2

Tabel 54: Benuttingsgraad (scenario 4 – scenario 5)

4 Conclusies en bemerkingen

Vooreerst wordt in dit hoofdstuk de conclusie van de masterproef geformuleerd. Daarna worden enkele bemerkingen en opportuniteiten voor bijkomend onderzoek aangehaald.

4.1 Conclusie

Uit de literatuurstudie blijkt dat het invoeren van een DRC-systeem tal van voordelen biedt. Flexibele werknemers zijn werknemers die kunnen bijspringen in bepaalde werkstations, als ze in hun eigen werkstation een bepaalde tijd inactief zijn. In een DRC-systeem neemt de flexibiliteit toe. Doordat werknemers kunnen helpen in andere werkstations kunnen producten sneller worden behandeld. Dat heeft een positieve invloed op de productiviteit van de onderneming. Verder zorgt de cross-training ervoor dat werknemers bekwaamer zijn en daardoor betere kwaliteit afleveren. Dat alles is zeer positief voor de concurrentiepositie van de onderneming. De invoering van een DRC-systeem heeft echter ook enkele belangrijke nadelen. De invoering vereist cross-training voor de werknemers. De organisatie van die cross-training kost tijd en geld voor de onderneming. Hoe meer flexibiliteit, hoe hoger de kosten. Meer flexibiliteit betekent ook dat werknemers vaker een herhaling van de cross-training nodig hebben. Vooral het onderhouden van die vaardigheden kost veel geld, tijd en moeite.

Vaak komen de onderzoekers tot de conclusie dat een flexibiliteit van ongeveer twee vaardigheden per werknemer het voordeligst is. Een flexibiliteit van bijvoorbeeld 1,7 kan, volgens sommigen, leiden tot even goede resultaten. Dat is een belangrijke uitkomst omdat dan minder tijd en geld aan cross-training gespendeerd wordt en toch even goede resultaten bereikt worden. Verder wordt gedeeltelijk en volledig ketenen als een succesvolle strategie beschouwd.

In de praktijkstudie worden in een productieproces verschillende alternatieve scenario's opgesteld, gesimuleerd en vergeleken met het basisscenario. Een scenario houdt een bepaald trainingsschema in waarbij werknemers een specifieke flexibiliteit hebben. Ze beschikken dus over een aantal vaardigheden. Met elke vaardigheid kunnen de werknemers een taak uitvoeren. Ieder werkstation vereist de kennis van een specifieke taak. De trainingsschema's maken een onderscheid in het aantal vaardigheden per werknemer en tussen ketens en vaardighedenblokken. Uit de analyse van het basisscenario blijkt dat het niet geschikt is om de gevraagde producten af te leveren. Daarom wordt het basisscenario vergeleken met verschillende alternatieve scenario's.

De doorlooptijd per product wordt in deze masterproef als belangrijkste onderzoeksvariabele vooropgesteld. Hoe lager de doorlooptijd per product, hoe beter het scenario. De analyse van het

simulatiemodel leerde dat alle alternatieve scenario's leiden tot betere prestaties ten opzichte van het basisscenario in het productieproces.

Voor het onderzochte productieproces bij scenario's horende bij een flexibiliteit van twee leidt het scenario met een volledige keten en het scenario waar de werknemers van de *bottleneck* geen cross-training krijgen (gemiddelde flexibiliteit van 1,67) tot de beste resultaten. Tussen beide scenario's zijn bij 95% betrouwbaarheid echter geen significante verschillen wat de doorlooptijd en gemiddelde benuttingsgraad betreft. De scenario's hebben respectievelijk een gemiddelde doorlooptijd van 47,93 en 48,06 minuten per product. De gemiddelde benuttingsgraad van de zes werknemers bedraagt voor beide ongeveer 90 procent. De wachtrijen in het scenario met een volledige keten hebben een gemiddelde lengte van 2,14, 1,01, 6,18, 2,30, 0,87 en 5,33 producten voor respectievelijk het eerste, tweede, derde, vierde, vijfde en zesde werkstation. De wachtrijen in het scenario met een flexibiliteit van 1,67 verschillen significant van die van het andere scenario en hebben een gemiddelde lengte van 2,5, 0,83, 5,23, 3,57, 0,76 en 5,02 producten voor respectievelijk het eerste, tweede, derde, vierde, vijfde en zesde werkstation. De keuze tussen beide is afhankelijk van de externe factoren zoals trainingskosten en de kans op onregelmatigheden. Het scenario met een volledige keten heeft een flexibiliteit van twee vaardigheden per werknemer. Het positieve aan dat scenario is dat iedere werknemer cross-training krijgt voor een extra vaardigheid. Daarenboven is het trainingsschema geketend en kan het daardoor zeer goed onregelmatigheden en schommelingen opvangen. Het andere scenario heeft een gemiddelde flexibiliteit per werknemer van 1,67. Dat betekent dat niet alle werknemers over het gelijk aantal vaardigheden beschikken. Sommige werknemers ondergaan cross-training om bij de *bottleneck* in te kunnen springen. De werknemers van de *bottleneck* ondergaan geen cross-training. De kosten om een flexibiliteit van twee te bereiken en te onderhouden liggen hoger dan bij een flexibiliteit van 1,67. Omdat de twee extra vaardigheden in het scenario met een volledige keten ten opzichte van het scenario met een flexibiliteit van 1,67 zelden tot niet gebruikt worden, is in de context van dit productiesysteem het scenario met een lagere flexibiliteit voordeliger. Het scenario met een flexibiliteit van 1,67 bevat voldoende flexibiliteit om onregelmatigheden op te vangen omdat verscheidene werknemers bij de twee *bottlenecks* kunnen inspringen. Bovendien is de lagere flexibiliteit minder duur.

Voor het onderzochte productieproces bij scenario's horende bij een flexibiliteit van drie, leidt het scenario met twee kleine ketens tot de beste prestaties. Het scenario met twee kleine ketens heeft met een gemiddelde doorlooptijd per product van 50,32 minuten de laagste doorlooptijd per product van de scenario's horende bij een flexibiliteit van drie. De gemiddelde benuttingsgraad van de zes werknemers bedraagt gemiddeld 89,57 procent. De wachtrijen in dit scenario hebben een

gemiddelde lengte van 2,33, 1,04, 5,56, 2,85, 1,06 en 6,17 producten voor respectievelijk het eerste, tweede, derde, vierde, vijfde en zesde werkstation.

Voor beide groepen scenario's (flexibiliteit van twee en flexibiliteit van drie) is een scenario aangeduid dat leidt tot de beste resultaten. Het is nu ook mogelijk om die twee scenario's onderling te vergelijken. De doorlooptijd per product verschilt significant bij 95% betrouwbaarheid. Het scenario met een flexibiliteit van 1,67 heeft gemiddeld 2,26 minuten minder nodig om de zes werkstations te passeren. Het is in dit productieproces daarom het voordeligst om te kiezen voor het scenario met een flexibiliteit van 1,67. Het scenario heeft een zeer lage doorlooptijd, gebruikt alle aangeleerde vaardigheden, bevat voldoende flexibiliteit om onregelmatigheden op te vangen en leidt tot de minste bijkomende kosten.

4.2 Beperkingen en bijkomend onderzoek

In het gesimuleerde productieproces zijn slechts zes werknemers aanwezig. Ieder werkstation krijgt daardoor initieel een werknemer toegekend, wat een eerste beperking is. Als een werknemer bijspringt in een ander werkstation is zijn initiële werkstation onbemand en vormen producten daar een wachtrij tot de werknemer opnieuw aanwezig is. De uitbreiding naar meerdere werknemers per werkstation kan de uitkomst van de simulatie beïnvloeden. Zo is het mogelijk om in ieder werkstation een werknemer permanent te houden. De overige werknemers kunnen, afhankelijk van hun flexibiliteit, bijspringen in de werkstations waar op dat moment extra capaciteit is vereist. Op die manier zijn alle werkstations altijd door een werknemer bemand. Voorgaande beperking vormt alvast een suggestie voor verder onderzoek. Ook kunnen extra scenario's met andere trainingsschema's onderzocht worden. Zo worden bijvoorbeeld in de literatuur de trainingsschema's 'een-voor-allen' en 'allen-voor-een' omschreven. In deze masterproef is de uitwerking daarvan niet aan bod gekomen.

De tweede beperking betreft tal van gemaakte assumpties. Zo kunnen werknemers slechts om de tien minuten wisselen tussen werkstations. Het kan daarom dat een werknemer enige tijd geen taak kan uitvoeren omdat alle taken aan het huidige werkstation zijn uitgevoerd en de werknemer niet aan een ander werkstation mag ingezet worden. De tijdseenheid van tien minuten wordt in deze masterproef niet verder verlaagd. Als werknemers bijvoorbeeld om de vijf minuten van werkstation kunnen wisselen, is er bijna de hele dag heen en weer geloop. Als de tijdseenheid niet als beperkende factor wordt opgenomen en de werknemers, indien voldaan aan de verplaatsingsregels, ieder moment kunnen wisselen, wordt niet zozeer de voordeligste werknemersflexibiliteit onderzocht, maar wel het voordeligste aantal werknemers in het vooropgestelde productieproces. Dezelfde gedachtegang geldt ook voor de gemaakte assumpties wat de lengte van de wachtrijen

betreft om de toewijzingsregels te definiëren. De keuze van de parameters maakt dat de resultaten voor deze masterproef heel specifiek worden. Het bepalen van een optimale waarde voor iedere parameter vormt een onderzoek op zichzelf. Dat laatste is niet het doel van deze masterproef. Voor bijkomend onderzoek is het wel interessant om de optimale waarde van iedere parameter te bepalen. Minder assumpties leiden tot betere en accuratere resultaten.

Bij de bepaling van de optimale flexibiliteit wordt geen rekening gehouden met de effectieve kosten van de cross-training. Daardoor wordt ook geen rekening gehouden met de effectieve bijkomende kosten om na een bepaalde periode de werknemers opnieuw de cross-training aan te bieden. Dat is een derde beperking. In bijkomend onderzoek kan de factor 'effectieve kosten van cross-training voor de onderneming' in rekening genomen worden.

Een vierde en laatste beperking van dit onderzoek is dat de resultaten niet te veralgemenen zijn. De resultaten zijn de uitkomst van een simulatie van een specifiek productieproces. Daardoor zijn de resultaten specifiek voor deze masterproef. Een ander productieproces en een ander management kunnen leiden tot een totaal andere keuze van scenario. In deze masterproef zijn sommige scenario's opgesteld om te functioneren in een productieproces met zes werkstations waarvan het derde en zesde werkstation een *bottleneck* vormen. Een ander productieproces zal ook gedeeltelijk andere scenario's vereisen. Andere trainingsschema's kunnen opgesteld worden naargelang de specifieke eigenschappen van een productieproces.

Lijst met geraadpleegde werken

- Acemoglu, D. (1997). Training and innovation in an imperfect labor market [Elektronische versie]. *Review of Economic Studies*, 64 (3), 445-464.
- Adnett, N., Bougheas, S., & Georgellis, Y. (2003). On the trade-off between work-related training and labour mobility: The role of firing and exit costs [Elektronische versie]. *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 82 (1), 49-70.
- Rennard, J.P. (2005). *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management* [Elektronische versie]. Hersey-PA: Idea Group Reference.
- Azadeh, A., & Maghsoudi, A. (2010). Optimization of production systems through integration of computer simulation, design of experiment, and Tabu search: the case of a large steelmaking workshop [Elektronische versie] *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48, 785-800.
- Azadeh, A., Negahban, A., & Moghaddam, M. (2012). A hybrid computer simulation-artificial neural network algorithm for optimization of dispatching rule selection in stochastic job shop scheduling problems [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (2), 551-566.
- Bokhorst, J.A.C., Slomp, J., & Molleman, E. (2004). Development and evaluation of cross-training policies for manufacturing teams [Elektronische versie]. *IIE Trans.*, 36 (10), 969-984.
- Casey, C. (1999). "Come, Join our family": Discipline and integration in Corporate Organizational culture [Elektronische versie]. *Human Relations*, 52 (2), 155-178.
- Cave, A.P., Nahavandi, S., & Creighton, D. (2006). Benchmark generation algorithm for stochastic mixed model assembly shop simulation and optimization [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 44 (6), 1193-1216.
- Chen, I.J., & Paulraj, A. (2004). Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research.*, 42 (1) , 131-163.
- Cooperrider, D.L., & Whitney, D. (2005). *Appreciative inquiry: A positive revolution in change*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, Inc.
- Cortés, B.M., Garcia, J.C., & Hernández, F.R. (2012). Multi-objective flow-shop scheduling with parallel machines [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (10), 2796-2808.

- Dhouib, K., Gharbi, A., & Ayed, S. (2008). Availability and throughput of unreliable, unbuffered production lines with non-homogeneous deterministic processing times [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 46 (20), 5651-5677.
- Dhouib, K., Gharbi, A., & Landolsi, N. (2009). Throughput assessment of mixed-model flexible transfer lines with unreliable machines [Elektronische versie]. *International Journal of Production Economics*, 122 (2), 619-627.
- Dong S., & Medeiros D.J. (2012) Minimising schedule cost via simulation optimization: an application in pipe manufacturing [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (3), 831-841.
- Fazakerley, G.M. (1976). A research report on the human aspects of group technology and cellular manufacture [Elektronische versie]. *International Journal of production Research*, 14 (1), 123-134.
- Felan, J.T., & Fry, T.D. (2001). Multi-level heterogeneous worker flexibility in a Dual Resource Constrained (DRC) job-shop [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 39 (14), 3041-3059.
- Feyzioglu, O., Pierreval, H., & Deflandre, D. (2005). A simulation-based optimization approach to size manufacturing systems [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 43 (2), 247-266.
- Fredendall, L.D., Melnijk, S.A., & Ragatz, G. (1996). Information and scheduling in dual resource constrained job shop [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 34 (10), 2783-2802.
- Fryer, J. S. (1974b). Labor flexibility in multiechelon dual-constrained job shops [Elektronische versie]. *Management Science*, 20(7), 1073-1080.
- Fryer, J. S., 1975, Effects of shop size and labor flexibility in labor and machine limited production systems [Elektronische versie]. *Management Science*, 21(5), 507-515.
- Gansterer, M., Almeder, C., & Hartl, R. (2014). Simulation-based optimization methods for setting production planning parameters [Elektronische versie]. *International Journal Production Economics*, 151, 206-213.
- Gill, R. (2002). Change management or change leadership [Elektronische versie]. *Journal of Change Management*, 3 (4), 307-318.
- Henderickx, E., Janvier, R., & Van Beirendonck, L. (2010). *Handboek HRM*. Leuven: Acco Uitgeverij.

- Hopp, W. J., Tekin, E., & Van Oyen, M. P. (2004). Benefits of skill chaining in serial production lines with cross-trained workers [Elektronische versie]. *Management Science*, 50 (1), 83-98.
- Hottenstein, M.P., & Bowman, S.A. (1998). Cross-training and worker flexibility: A review of DRC system research [Elektronische versie]. *The Journal of High Technology Management Research*, 9 (2), 157-174.
- Huber, V.L., & Brown, K.A. (1991). Human resource issues in cellular manufacturing: A sociotechnical analysis [Elektronische versie]. *Journal of Operations Management*, 19 (1), 138-159.
- Inman, R.R., Jordan, W.C., & Blumenfeld, D.E. (2004). Chained cross-training of assembly line workers [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 42 (6), 1899-1910.
- Jaber, M.Y., Kher, H.V., & Davis, D.J. (2003). Countering forgetting through training and deployment [Elektronische versie]. *International Journal of Production Economics*, 85 (1), 33-46.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L.K. , & Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review [Elektronische versie]. *European Journal of Operational Research*, 203 (1), 1-13.
- Jorgensen, M. (2005). Characteristics of job rotation in the midwest US manufacturing sector [Elektronische versie]. *Ergonomics*, 48(15), 1721-1733.
- Kaymaz, K. (2010). The effects of job rotation: practices on motivation: a research on managers in the automotive organizations [Elektronische versie]. *Business and Economics Research Journal*, 1 (3), 69-85.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., & Swets, N.B. (2010). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill.
- Kher, H.V. (2000a). Examination of worker assignment and dispatching rules for managing vital customer priorities in dual resource constrained job shop environment [Elektronische versie]. *Computers and operations research*, 27 (6), 525-537.
- Kher, H.V., & Fry, T.D. (2001). Labour flexibility and assignment policies in a job shop having incommensurable objectives [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 39 (11), 2295–2311.
- Kleijn, H., & Rorink, F. (2005) *Verandermanagement: Een plan van aanpak voor integrale organisatieverandering en innovatie* [Elektronische versie]. Amsterdam: Pearson Education Benelux BV.

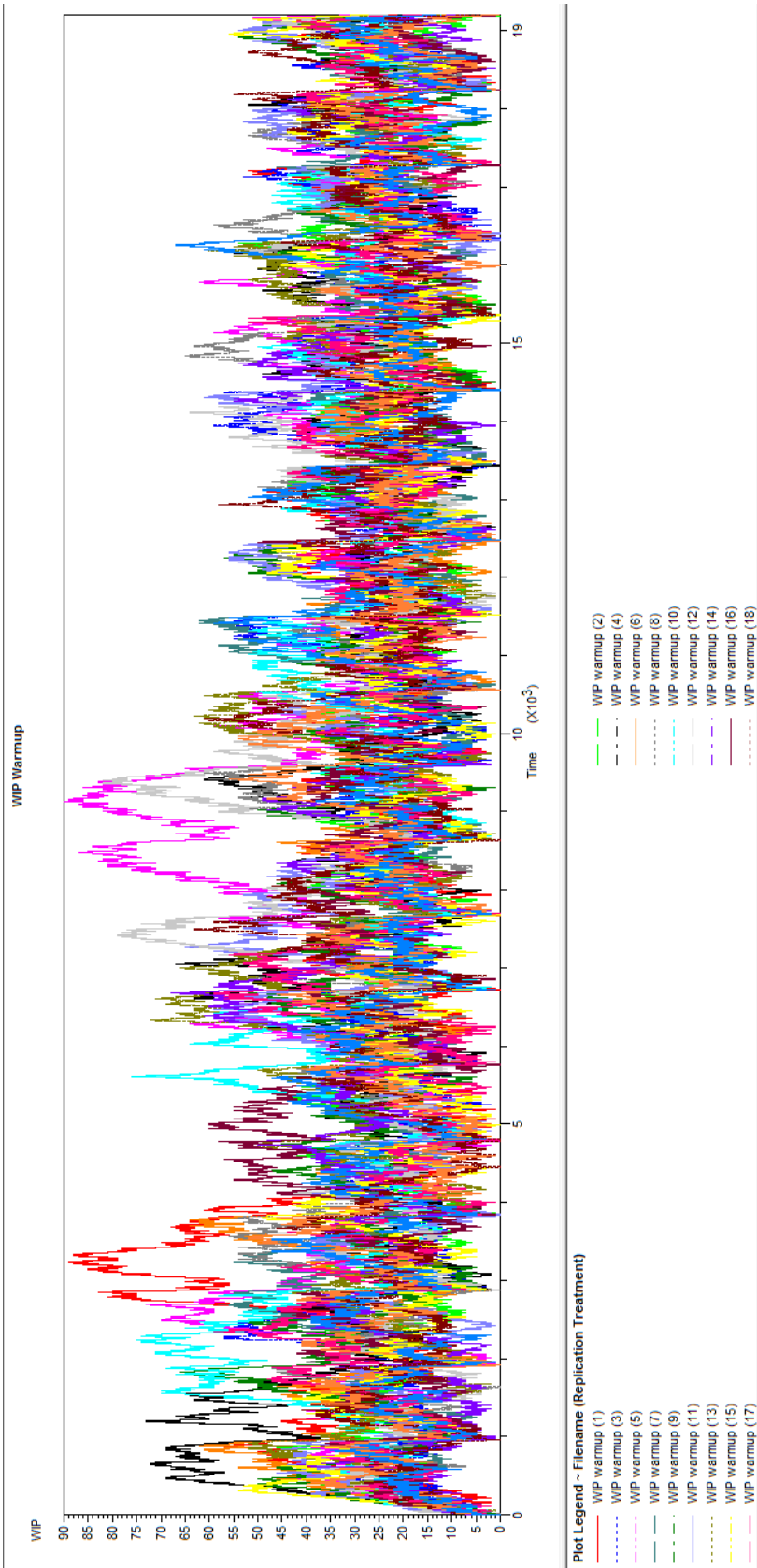
- Koh, S.G., & Bulfin, R.L., (2004). Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 42 (2), 391–404.
- Koulouriotis, D.E., Xanthopoulos, A.S., & Tourassis, V.D. (2010). Simulation optimisation of pull control policies for serial manufacturing lines and assembly manufacturing systems using genetic algorithms [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 48 (10), 2887-2912.
- Kuo, R. J., & Yang, C. Y. (2011). Simulation optimization using particle swarm optimization algorithm with application to assembly line design. *Applied Soft Computing*, 11(1), 605-613.
- Legge, K. (2005). *Human Resource Management chapter 4: HRM and strategic integration with business policy* [Elektronische versie]. New York: Palgrave Macmillan.
- Malhotra, M.K., Fry, T.D., Kher, H.V., & Donohue, J.M. (1993) The impact of learning and labor attrition on worker flexibility in dual resource constrained job shops [Elektronische versie]. *Decision Sciences*, 24 (3), 641-662.
- Malhortra, M.K., & Kher, H.V. (1994). An evaluation of worker assignment policies in dual resource-constrained job shops with heterogeneous resources and worker transfer delays [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 32 (5), 1087-1103.
- McDonald, T., Ellis, K.P., Van Aken, E.M., & Koelling, C.P. (2009). Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 47 (9), 2427-2447.
- McHaney, R., Cronan, T.P. (2000). Toward an empirical understanding of computer simulation implementation success [Elektronische versie]. *Information and Management*, 37 (3), 135-151.
- Molleman, E. (1998). Variety and the requisite of self-organization [Elektronische versie]. *The International Journal of Organizational Analysis*, 6 (2), 109-131.
- Molleman E., & Slomp, J. (1999). Functional flexibility and team performance [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 37 (8), 1837-1858.
- Mullins, L.J. (2002). Nature of leadership [Elektronische versie]. *Management and Organisational Behaviour*, 6 (e), 98-109.
- Ng, A.H.C., Bernedixen, J., & Syberfeldt, A.(2012). A comparative study of production control mechanisms using simulation-based multi-objective optimization [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (2), 359-377.

- Norman, B.A., Tharmmaphornphilas, W., Needy, K.L., Bidanda, B., & Warner, R.C. (2002). Worker assignment in cellular manufacturing considering technical and human skills [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 40 (6), 1479-1492.
- Park, P. S. (1991). The examination of worker cross-training in a dual resource constrained job shop [Elektronische versie]. *European Journal of Operations Research*, 51 (3), 291-299.
- Pinker, E.J., & Shumsky, R.A. (2000). The efficiency-quality trade-off of cross-trained workers [Elektronische versie]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2 (1), 32-48.
- Procter, S., & Ackroyd S. (2001). Flexibility. *Human Resource Management: Theory and Practice*, 219-243.
- Ruiz-Torres, A.J., & Mahmoodi, F. (2007). Impact of worker and shop flexibility on assembly cells [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 45 (6), 1369-1388.
- Salum, L., & Araz, O.U. (2009). Using when/where rules in dual resource constrained systems for a hybrid push-pull control [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 47 (6), 1661-1677.
- Santosh, D. (2013). Assessing and understanding organizational culture: various views and theories [Elektronische versie]. *Indian Streams Research Journal*, 3 (5), 1-11.
- Sarkheil, N., & Jenab, K. (2012). On the optimality of 1-unit cycles in flow-shop networks [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (10) 2705-2709.
- Schein, E.H. (1984). Coming to a new awareness of organizational culture [Elektronische versie]. *Sloan Management Review*, 25 (2), 3-16.
- Schultz, K.L., McClain, J.O., & Thomas, L.J. (2003). Overcoming the dark side of worker flexibility [Elektronische versie]. *Journal of Operations Management*, 21 (1), 81-92.
- Scudder, G. D. (1986). Scheduling and labour-assignment policies for a dual-constrained repair shop [Elektronische versie]. *The International Journal of Production Research*, 24(3), 623-634.
- Slomp, J., Bokhorst, J.A.C., & Molleman, E. (2005). Cross-training in a cellular manufacturing environment [Elektronische versie]. *Computers and Industrial Engineering*, 48(3), 609-624.
- Slomp, J., & Molleman E. (2002). Cross-training policies and team performance [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 40 (5), 1193-1219.

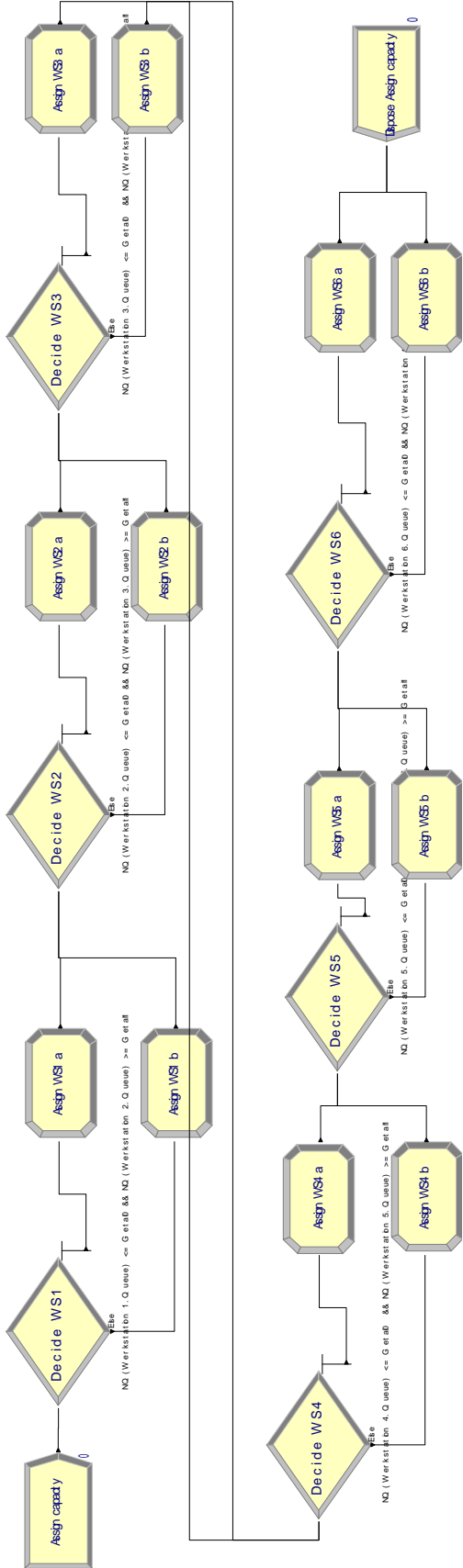
- Weigert, G., Henlich, T., & Klemmt, A. (2011). Modelling and optimization of assembly processes [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 49 (14), 4317-4333.
- Wisittipanich, W., & Kachitvichyanukul, V. (2012). Two enhanced differential evolution algorithms for job shop scheduling problems [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (10) 2757-2773.
- Xu, J., Xu, X., & Xie, S.Q. (2011). Recent developments in Dual Resource Constrained (DRC) system research [Elektronische versie]. *European Journal of Operational Research*, 215, 309-218.
- Yang, K. K. (2007). A comparison of cross-training policies in different job shops [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 45 (6), 1279-1295.
- Yildiz, G., & Tunali S. (2008). Response surface methodology based simulation optimization of a CONWIP controlled dual resource constrained system [Elektronische versie]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 1051-1060.
- Yue, H., Slomp, J., Molleman, E., & Van Der Zee, D.J. (2008). Worker flexibility in a parallel dual resource constrained job shop [Elektronische versie]. *International Journal of production Research*, 46 (2), 451-467.
- Zhang, R., & Wu, C. (2012). A double- layered optimization approach for the integrated due date assignment and scheduling problem [Elektronische versie]. *International Journal of Production Research*, 50 (1), 5-22.

Bijlagen

Bijlage 1: Figuur: bepaling opwarmperiode



Bijlage 2: Scenario 1: model



Bijlage 3: Scenario 1: beslissings- en toewijzingsmodules

Decide WS1

$NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS1 = 0
- Cap WN1WS1Pseudo2 = 1

ELSE

- Cap WN1WS1 = 1
- Cap WN1WS1Pseudo2 = 0

Decide WS2

$NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS2 = 0
- Cap WN1WS2Pseudo3 = 1

ELSE

- Cap WN1WS2 = 1
- Cap WN1WS2Pseudo3 = 0

Decide WS3

$NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS3 = 0
- Cap WN1WS3Pseudo4 = 1

ELSE

- Cap WN1WS3 = 1
- Cap WN1WS3Pseudo4 = 0

Decide WS4

$NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS4 = 0
- Cap WN1WS4Pseudo5 = 1

ELSE

- Cap WN1WS4 = 1
- Cap WN1WS4Pseudo5 = 0

Decide WS5

NQ(Werkstation 5.Queue) <= Getal0 && NQ(Werkstation 6.Queue) >= Getal1

- Cap WN1WS5 = 0
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 1

ELSE

- Cap WN1WS5 = 1
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 0

Decide WS6

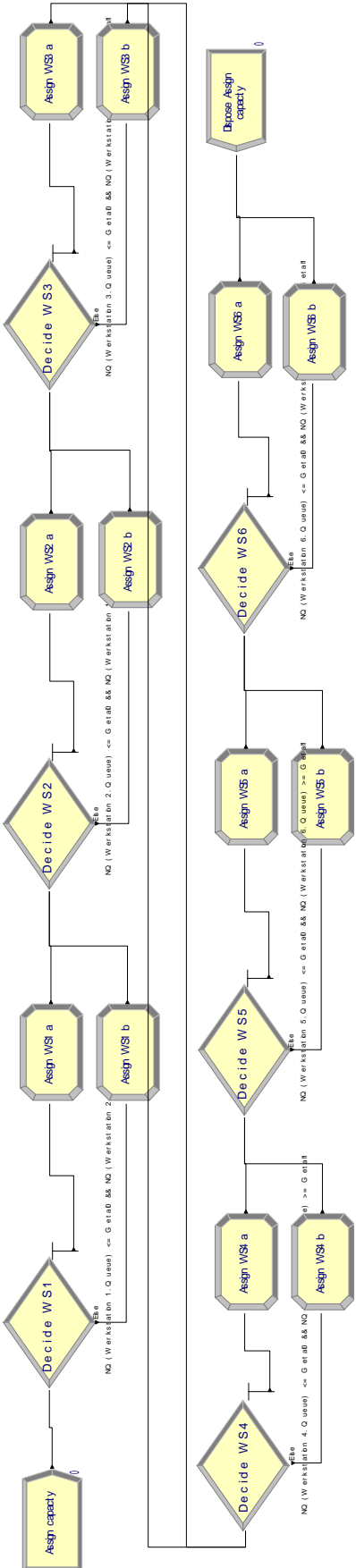
NQ(Werkstation 6.Queue) <= Getal0 && NQ(Werkstation 1.Queue) >= Getal1

- Cap WN1WS6 = 0
- Cap WN1WS6Pseudo1 = 1

ELSE

- Cap WN1WS6 = 1
- Cap WN1WS6Pseudo1 = 0

Bijlage 4: Scenario 2: model



Bijlage 5: Scenario 2: beslissings- en toewijzingsmodules

Decide WS1

$NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS1 = 0
- Cap WN1WS1Pseudo2 = 1

ELSE

- Cap WN1WS1 = 1
- Cap WN1WS1Pseudo2 = 0

Decide WS2

$NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS2 = 0
- Cap WN1WS2Pseudo1 = 1

ELSE

- Cap WN1WS2 = 1
- Cap WN1WS2Pseudo1 = 0

Decide WS3

$NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS3 = 0
- Cap WN1WS3Pseudo4 = 1

ELSE

- Cap WN1WS3 = 1
- Cap WN1WS3Pseudo4 = 0

Decide WS4

$NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS4 = 0
- Cap WN1WS4Pseudo3 = 1

ELSE

- Cap WN1WS4 = 1
- Cap WN1WS4Pseudo3 = 0

Decide WS5

NQ(Werkstation 5.Queue) <= Getal0 && NQ(Werkstation 6.Queue) >= Getal1

- Cap WN1WS5 = 0
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 1

ELSE

- Cap WN1WS5 = 1
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 0

Decide WS6

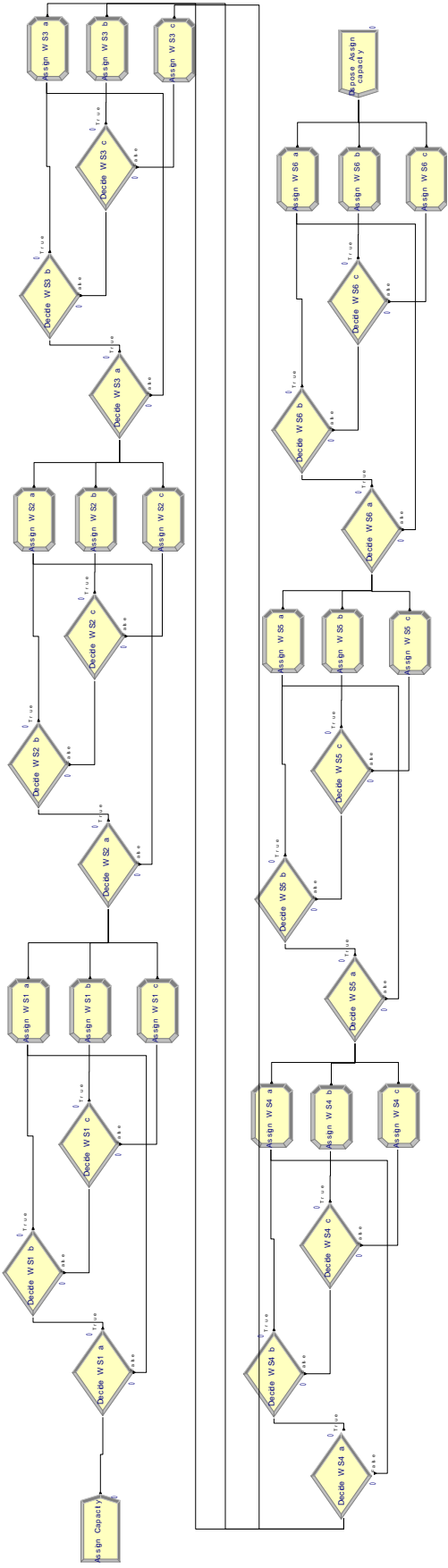
NQ(Werkstation 6.Queue) <= Getal0 && NQ(Werkstation 5.Queue) >= Getal1

- Cap WN1WS6 = 0
- Cap WN1WS6Pseudo5 = 1

ELSE

- Cap WN1WS6 = 1
- Cap WN1WS6Pseudo5 = 0

Bijlage 6: Scenario 3: model



Bijlage 7: Scenario 3: beslissings- en toewijzingsmodules

Werknemer van Werkstation 1

Decide WS1 a

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS1 b

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS1 c

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 3.Queue})$

Assign WS1 a

- $\text{Cap WN1WS1}=1$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo2}=0$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo3}=0$

Assign WS1 b

- $\text{Cap WN1WS1}=0$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo2}=0$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo3}=1$

Assign WS1 c

- $\text{Cap WN1WS1}=0$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo2}=1$
- $\text{Cap WN1WS1Pseudo3}=0$

Werknemer van Werkstation 2

Decide WS2 a

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS2 b

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS2 c

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 4.Queue})$

Assign WS2 a

- Cap WN1WS2=1
- Cap WN1WS2Pseudo3= 0
- Cap WN1WS2Pseudo4= 0

Assign WS2 b

- Cap WN1WS2= 0
- Cap WN1WS2Pseudo3= 0
- Cap WN1WS2Pseudo4= 1

Assign WS2 c

- Cap WN1WS2= 0
- Cap WN1WS2Pseudo3= 1
- Cap WN1WS2Pseudo4= 0

Werknemer van Werkstation 3

Decide WS3 a

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS3 b

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS3 c

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 5.Queue})$

Assign WS3 a

- Cap WN1WS3=1
- Cap WN1WS3Pseudo4= 0
- Cap WN1WS3Pseudo5= 0

Assign WS3 b

- Cap WN1WS3= 0
- Cap WN1WS3Pseudo4= 0
- Cap WN1WS3Pseudo5= 1

Assign WS3 c

- Cap WN1WS3= 0
- Cap WN1WS3Pseudo4= 1
- Cap WN1WS3Pseudo5= 0

Werknemer van Werkstation 4

Decide WS4 a

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS4 b

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS4 c

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 6.Queue})$

Assign WS4 a

- $\text{Cap WN1WS4}=1$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo5}=0$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo6}=0$

Assign WS4 b

- $\text{Cap WN1WS4}=0$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo5}=0$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo6}=1$

Assign WS4 c

- $\text{Cap WN1WS4}=0$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo5}=1$
- $\text{Cap WN1WS4Pseudo6}=0$

Werknemer van Werkstation 5

Decide WS5 a

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS5 b

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS5 c

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 1.Queue})$

Assign WS5 a

- $\text{Cap WN1WS5}=1$
- $\text{Cap WN1WS5Pseudo6}=0$
- $\text{Cap WN1WS5Pseudo1}=0$

Assign WS5 b

- Cap WN1WS5= 0
- Cap WN1WS5Pseudo6= 0
- Cap WN1WS5Pseudo1= 1

Assign WS5 c

- Cap WN1WS5= 0
- Cap WN1WS5Pseudo6= 1
- Cap WN1WS5Pseudo1= 0

Werknemer van Werkstation 6

Decide WS6 a

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS6 b

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS6 c

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 2.Queue})$

Assign WS6 a

- Cap WN1WS6=1
- Cap WN1WS6Pseudo1= 0
- Cap WN1WS6Pseudo2= 0

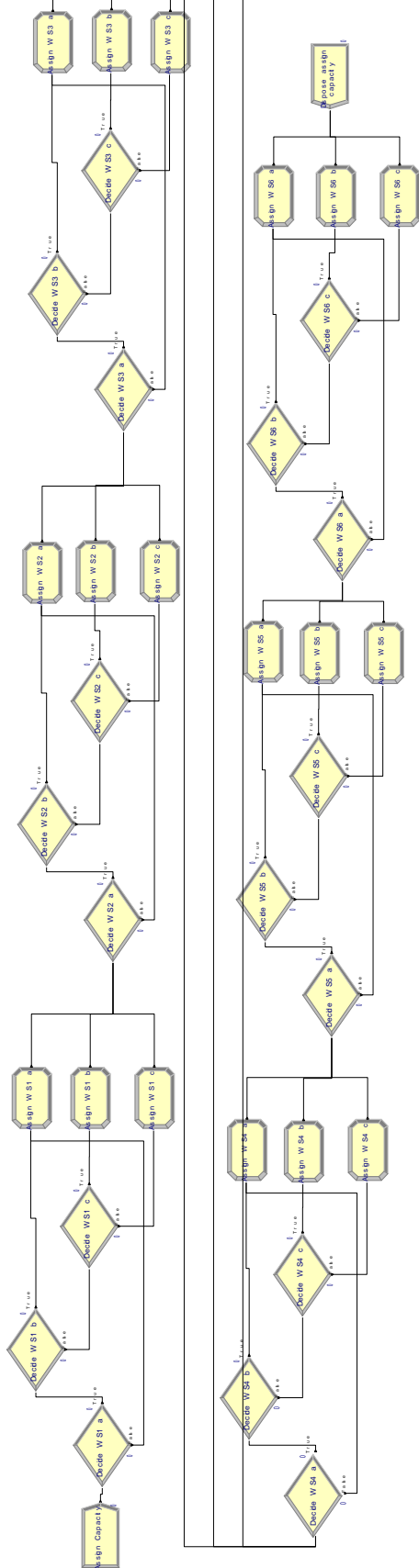
Assign WS6 b

- Cap WN1WS6= 0
- Cap WN1WS6Pseudo1= 0
- Cap WN1WS6Pseudo2= 1

Assign WS6 c

- Cap WN1WS6= 0
- Cap WN1WS6Pseudo1= 1
- Cap WN1WS6Pseudo2= 0

Bijlage 8: Scenario 4: model



Bijlage 9: Scenario 4: beslissings- en toewijzingsmodules

Werknemer van Werkstation 1

Decide WS1 a

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS1 b

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS1 c

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 3.Queue})$
-

Assign WS1 a

- $WN1WS1=1$
- $WN1WS1Pseudo2=0$
- $WN1WS1Pseudo3=0$

Assign WS1 b

- $WN1WS1=0$
- $WN1WS1Pseudo2=0$
- $WN1WS1Pseudo3=1$

Assign WS1 c

- $WN1WS1=0$
- $WN1WS1Pseudo2=1$
- $WN1WS1Pseudo3=0$

Werknemer van Werkstation 2

Decide WS2 a

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS2 b

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS2 c

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 1.Queue})$

Assign WS2 a

- $WN1WS2=1$
- $WN1WS2Pseudo3=0$
- $WN1WS2Pseudo1=0$

Assign WS2 b

- $WN1WS2=0$
- $WN1WS2Pseudo3=0$
- $WN1WS2Pseudo1=1$

Assign WS2 c

- $WN1WS2=0$
- $WN1WS2Pseudo3=1$
- $WN1WS2Pseudo1=0$

Werknemer van Werkstation 3

Decide WS3 a

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS3 b

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS3 c

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 2.Queue})$

Assign WS3 a

- $WN1WS3=1$
- $WN1WS3Pseudo1=0$
- $WN1WS3Pseudo2=0$

Assign WS3 b

- $WN1WS3=0$
- $WN1WS3Pseudo1=0$
- $WN1WS3Pseudo2=1$

Assign WS3 c

- $WN1WS3=0$
- $WN1WS3Pseudo1=1$
- $WN1WS3Pseudo2=0$

Werknemer van Werkstation 4

Decide WS4 a

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS4 b

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS4 c

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 6.Queue})$

Assign WS4 a

- $WN1WS4=1$
- $WN1WS4Pseudo5=0$
- $WN1WS4Pseudo6=0$

Assign WS4 b

- $WN1WS4=0$
- $WN1WS4Pseudo5=0$
- $WN1WS4Pseudo6=1$

Assign WS4 c

- $WN1WS4=0$
- $WN1WS4Pseudo5=1$
- $WN1WS4Pseudo6=0$

Werknemer van Werkstation 5

Decide WS5 a

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS5 b

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS5 c

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 4.Queue})$

Assign WS5 a

- $WN1WS5=1$
- $WN1WS5Pseudo6=0$
- $WN1WS5Pseudo4=0$

Assign WS5 b

- $WN1WS5= 0$
- $WN1WS5Pseudo6= 0$
- $WN1WS5Pseudo4= 1$

Assign WS5 c

- $WN1WS5= 0$
- $WN1WS5Pseudo6= 1$
- $WN1WS5Pseudo4= 0$

Werknemer van Werkstation 6

Decide WS6 a

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS6 b

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS6 c

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 5.Queue})$

Assign WS6 a

- $WN1WS6=1$
- $WN1WS6Pseudo4= 0$
- $WN1WS6Pseudo5= 0$

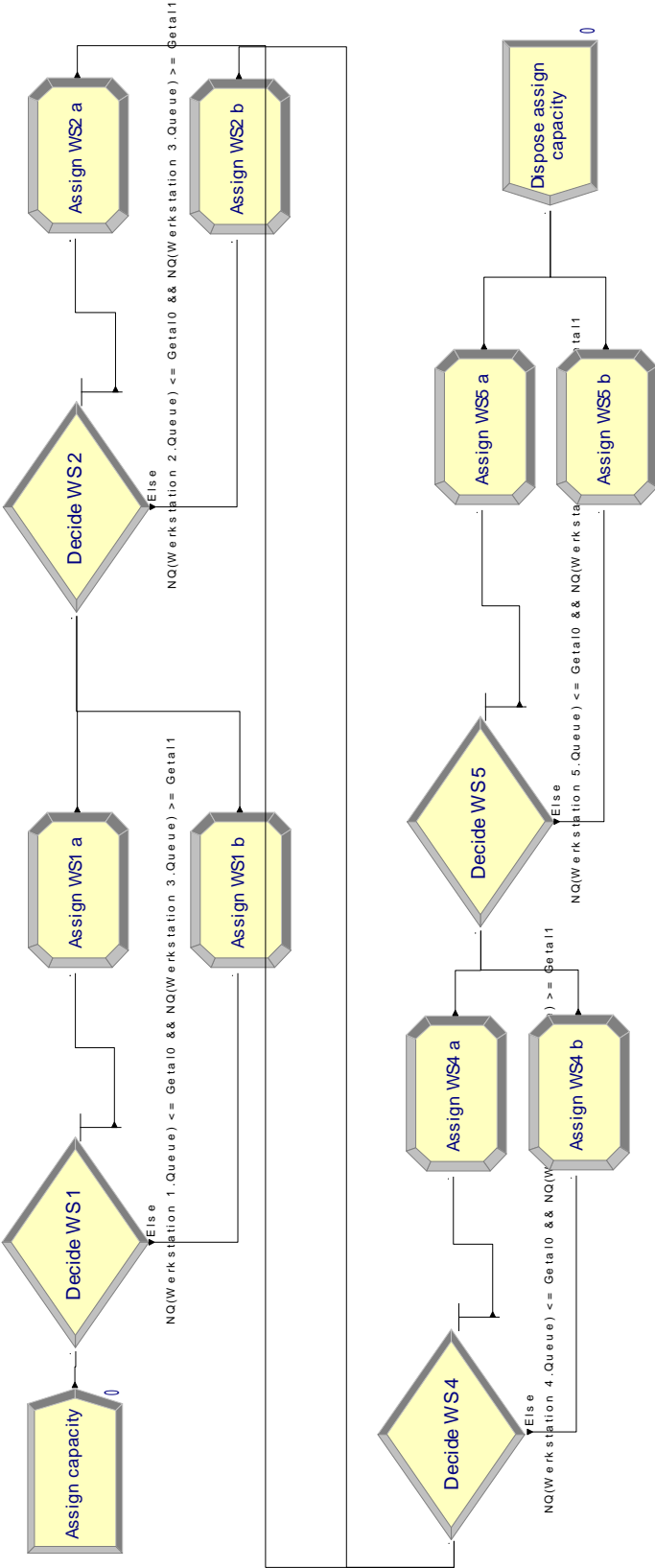
Assign WS6 b

- $WN1WS6= 0$
- $WN1WS6Pseudo4= 0$
- $WN1WS6Pseudo5= 1$

Assign WS6 c

- $WN1WS6= 0$
- $WN1WS6Pseudo4= 1$
- $WN1WS6Pseudo5= 0$

Bijlage 10: Scenario 5: model



Bijlage 11: Scenario 5: beslissings- en toewijzingsmodules

Decide WS1

$NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS1 = 0
- Cap WN1WS1Pseudo3 = 1

ELSE

- Cap WN1WS1 = 1
- Cap WN1WS1Pseudo3 = 0

Decide WS2

$NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS2 = 0
- Cap WN1WS2Pseudo3 = 1

ELSE

- Cap WN1WS2 = 1
- Cap WN1WS2Pseudo3 = 0

Decide WS4

$NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS4 = 0
- Cap WN1WS4Pseudo6 = 1

ELSE

- Cap WN1WS4 = 1
- Cap WN1WS4Pseudo6 = 0

Decide WS5

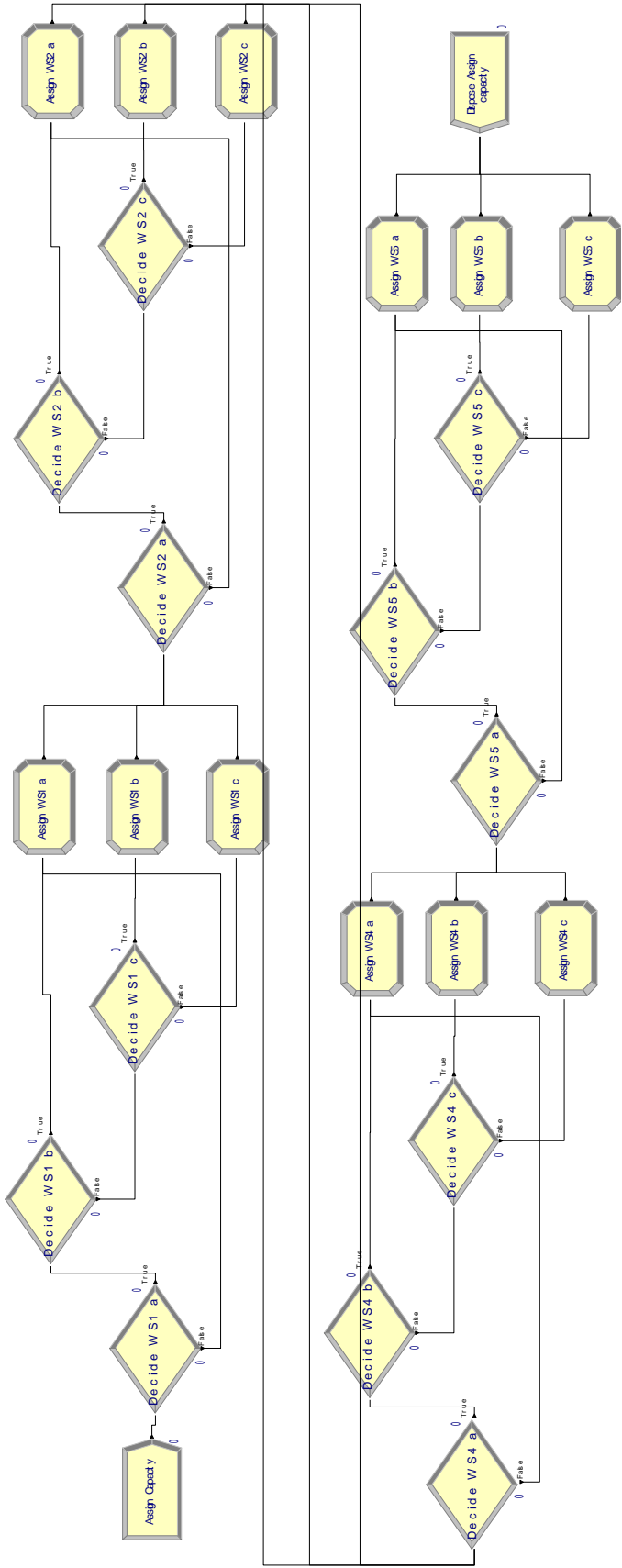
$NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) \leq \text{Getal0} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) \geq \text{Getal1}$

- Cap WN1WS5 = 0
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 1

ELSE

- Cap WN1WS5 = 1
- Cap WN1WS5Pseudo6 = 0

Bijlage 12: Scenario 6: model



Bijlage 13: Scenario 6: beslissings- en toewijzingsmodules

Werknemer van Werkstation 1

Decide WS1 a

- $NQ(\text{Werkstation 1.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS1 b

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS1 c

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 6.Queue})$

Assign WS1 a

- $WN1WS1=1$
- $WN1WS1Pseudo3=0$
- $WN1WS1Pseudo6=0$

Assign WS1 b

- $WN1WS1=0$
- $WN1WS1Pseudo3=0$
- $WN1WS1Pseudo6=1$

Assign WS1 c

- $WN1WS1=0$
- $WN1WS1Pseudo3=1$
- $WN1WS1Pseudo6=0$

Werknemer van Werkstation 2

Decide WS2 a

- $NQ(\text{Werkstation 2.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS2 b

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS2 c

- $NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 6.Queue})$

Assign WS2 a

- $WN1WS2=1$
- $WN1WS2Pseudo3=0$
- $WN1WS2Pseudo6=0$

Assign WS2 b

- $WN1WS2=0$
- $WN1WS2Pseudo3=0$
- $WN1WS2Pseudo6=1$

Assign WS2 c

- $WN1WS2=0$
- $WN1WS2Pseudo3=1$
- $WN1WS2Pseudo6=0$

Werknemer van Werkstation 4

Decide WS4 a

- $NQ(\text{Werkstation 4.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide 2 WS4 b

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS4 c

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 3.Queue})$

Assign WS4 a

- $WN1WS4=1$
- $WN1WS4Pseudo6=0$
- $WN1WS4Pseudo3=0$

Assign WS4 b

- $WN1WS4=0$
- $WN1WS4Pseudo6=0$
- $WN1WS4Pseudo3=1$

Assign WS4 c

- $WN1WS4=0$
- $WN1WS4Pseudo6=1$
- $WN1WS4Pseudo3=0$

Werknemer van Werkstation 5

Decide WS5 a

- $NQ(\text{Werkstation 5.Queue}) \leq \text{Getal0}$

Decide WS5 b

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < \text{Getal1} \ \&\& \ NQ(\text{Werkstation 3.Queue}) < \text{Getal1}$

Decide WS5 c

- $NQ(\text{Werkstation 6.Queue}) < NQ(\text{Werkstation 3.Queue})$

Assign WS5 a

- $WN1WS5=1$
- $WN1WS5Pseudo6=0$
- $WN1WS5Pseudo3=0$

Assign WS5 b

- $WN1WS5=0$
- $WN1WS5Pseudo6=0$
- $WN1WS5Pseudo3=1$

Assign WS5 c

- $WN1WS5=0$
- $WN1WS5Pseudo6=1$
- $WN1WS5Pseudo3=0$

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

**Werknemersflexibiliteit in een Dual-Resource Constrained productiesysteem:
een simulatie - optimalisatie kader**

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

Jaar: **2015**

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,

Willekens, Thomas

Datum: **3/06/2015**