

Capaciteitsbepaling Verscentrale Albert Heijn Distributiecentrum Pijnacker

Afstudeerverslag



Pijnacker, juni 2002
A.J. Horden

Capaciteitsbepaling Verscentrale Albert Heijn Distributiecentrum Pijnacker

Afstudeerverslag

Pijnacker, juni 2002

A.J. Horden

Studienummer: 9364184

E-mail: ajhorden@hotmail.com

Tel: 06-24880147

Afstudeercommissie:

Sectie Transportbeleid en Logistieke Organisatie:

Prof. Dr. K.A. Brookhuis

Ir. M.W. Ludema

Sectie Systeemkunde:

Ir. C. Versteegt

Albert Heijn Distributiecentrum Pijnacker:

Mevr. Drs. S. Boelhouwer

Albert Heijn Composite DCP

Faculteit Techniek, Bestuur en Management



TU Delft

Voorwoord

Dit rapport vormt het eindverslag van mijn onderzoek bij het Distributiecentrum van Albert Heijn in Pijnacker. Het onderzoek is gedurende negen maanden uitgevoerd als afstudeeropdracht in het kader van de afronding van mijn studie Technische Bestuurskunde, domein Transport & Logistieke Organisatie aan de TU Delft. Het betreft een onderzoek naar de capaciteit van de verscentrale van het distributiecentrum, de wijze waarop deze capaciteit tot stand komt en hoe daar mogelijk verbeteringen in aangebracht kunnen worden.

Graag wil ik mijn begeleiders, Marcel Ludema en Corné Versteegt van Technische Bestuurskunde en Sonja Boelhouwer van Albert Heijn, bedanken voor hun hulp en waardevolle adviezen. Ook de medewerkers van de afdeling Logistic Control wil ik bedanken voor het beantwoorden van al mijn vragen en het bieden van een gezellige en leerzame werkplek. Verder gaat een woord van dank uit naar Frank Antonis, die de eerste maanden mijn begeleider bij Albert Heijn is geweest. Tot slot wil ik alle andere medewerkers van het DC bedanken die op enige wijze hun medewerking hebben verleend aan mijn afstudeerproject.

Pijnacker, juni 2002

Johan Horden

Inhoudsopgave

VOORWOORD	III
SAMENVATTING	VI
BEGRIPPENLIJST	IX
1. INLEIDING	1
1.1 PROBLEEMSCHEETS	1
1.2 PROBLEEMSTELLING	2
1.3 WERKWIJZE EN ONDERZOEKSMETHODEN	3
1.4 OPBOUW	5
2. BEELDVORMING	7
2.1 DISTRIBUTIECENTRUM PIJNACKER	7
2.2 ACTORENBESCHRIJVING	12
2.3 PROCESBESCHRIJVING	14
3. CONCEPTUALISATIE	20
3.1 AFBAKENING	20
3.2 DEFINIËRING CAPACITEIT	21
3.3 OBJECTMODEL	25
3.4 PROCESANALYSE: ACTIVITEITEN IN HET DC	25
4. CAPACITEITSBEPALENDE FACTOREN	35
4.1 RAAMWERK CAPACITEITSBEPALENDE FACTOREN	35
4.2 AANVULLEN BUFFERLOCATIE	36
4.3 AANVULLEN PICKLOCATIE	38
4.4 ORDERVERZAMELEN	39
4.5 LAY-OUT	41
4.6 OPSLAGSYSTEEM	45
4.7 ORDERVERZAMELSYSTEEM	57
4.8 MEDEWERKER	65
4.9 HULPMIDDELEN	66
4.10 SCHEMATISCH OVERZICHT	67
5. MODELCONSTRUCTIE	68
5.1 KEUZE MODELLEERTECHNIEK	68
5.2 AFBAKENING	69
5.3 AGGREGATIENIVEAU	70
5.4 BESCHRIJVING DCP CAPACITEITSMODEL OP TACTISCH NIVEAU	71
5.5 BESCHRIJVING DCP CAPACITEITSMODEL OP OPERATIONEEL NIVEAU	76
5.6 BEHANDELINGSOPZET	82
5.7 VERIFICATIE EN VALIDATIE	83
6. EXPERIMENTEN & RESULTATEN	87
6.1 PRESTATIE-INDICATOREN	87
6.2 TYPE 1 EXPERIMENTEN	89
6.3 TYPE 2 EXPERIMENTEN	108
6.4 DEELCAPACITEITEN	116
7. PRAKTISCHE RELEVANTIE VAN DE RESULTATEN	121
7.1 VARIËREN AANTAL ORDERPICKERS	121
7.2 VERANDEREN AANTAL AANVULBEWEGINGEN	122
7.3 SPECIFICEREN PAKTIJD	123
7.4 VERANDEREN UITGIFTSTRATEGIE	124
7.5 ANDERE SLOTTING	124

7.6 WIJZIGEN INDELING GANG 29	125
7.7 PRODUCTIVITEITSFUNCTIES PER OPHAALGEBIED EN PER GANG	125
8. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN.....	127
8.1 CONCLUSIES	127
8.2 AANBEVELINGEN	131
LITERATUUR	134
BIJLAGE 1: PLATTEGROND VERS 3.....	137
BIJLAGE 2: OPSLAGTYPEN.....	138
BIJLAGE 3: OBJECTMODEL.....	142
BIJLAGE 4: BEPALEN AANTAL REPLICATIES.....	147
BIJLAGE 5: MODELRESULTATEN.....	148
BIJLAGE 6: OVERZICHT FUNCTIES.....	175

Samenvatting

Het regionale distributiecentrum van Albert Heijn in Pijnacker (DCP) bestaat uit een regionale verscentrale, een regionaal distributiecentrum voor houdbare artikelen en een retourcentrum. Het is één van de vier regionale distributiecentra in Nederland. Bij de verschillende distributiecentra (DC's) wordt het inpassen van nieuwe producten in het DC steeds problematischer. Dit geldt vooral voor de verscentrales van de distributiecentra (de gekoelde stroom). De vraag is gerezen of de capaciteit van de DC's nog wel toereikend is. Deze capaciteit kan op twee manieren worden opgevat. De *oppervlaktecapaciteit* bepaalt het aantal beschikbare vierkant meters; de *volume*capaciteit bepaalt het maximale aantal te produceren colli per tijdseenheid. Een projectgroep bestaande uit medewerkers van de verschillende DC's heeft een aanbeveling gedaan betreffende een andere manier om het orderpickcircuit in te richten (gericht op het optimaliseren van de oppervlaktecapaciteit). Vervolgens is geconcludeerd dat er onvoldoende inzicht is in de factoren die de volume-capaciteit bepalen om de gevolgen van deze aanbeveling voor die volume-capaciteit te kunnen bepalen. Het afstudeeronderzoek, dat in dit rapport beschreven is, richt zich op de volume-capaciteit. De vraag naar meer inzicht in die volume-capaciteit vormt het startpunt van dit onderzoek.

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig en luidt:

- 1) Het identificeren en formaliseren van de factoren en hun relaties, die de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum bepalen.
- 2) Het, op basis van het voorgaande, ontwikkelen van een hulpmiddel waarmee het inzicht in de capaciteit in verschillende uitgangssituaties verbeterd kan worden.

Allereerst is de positie van het distributiecentrum in de logistieke keten van Albert Heijn bepaald. Daarna zijn de processen in het DC in kaart gebracht. Drie processen zijn onderkend als het belangrijkste voor de productiviteit. Dit zijn het orderpicken, het aanvullen van bufferlocaties en het aanvullen van picklocaties. Orderpicken is het proces waarbij een orderpicker op basis van een ophaalopdracht producten verzameld in het circuit. Het aanvullen van bufferlocaties betreft het transporteren van ingekomen pallets vanaf het ontvangsteiland naar een bufferlocatie. Het aanvullen van picklocaties betreft het transporteren van een pallet vanuit een bufferlocatie naar een picklocatie.

Het vervolg van het onderzoek valt analoog aan de doelstelling in twee delen uiteen; een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte. In het kwalitatieve gedeelte is onderzocht welke factoren de productiviteit beïnvloeden. De factoren zijn ingedeeld volgens twee assen. Langs de verticale as zijn drie niveaus uitgezet; operationeel, tactisch en strategisch. Langs de horizontale as zijn vijf deelsystemen uitgezet, waarbinnen de factoren zich manifesteren; te weten lay-out, opslagsysteem, orderverzamelsysteem, medewerker en hulpmiddelen. De hoofdprocessen, orderpicken en aanvullen (van bufferlocatie of picklocatie), zijn daarbij opgevat als het operationele niveau van het opslagsysteem respectievelijk het orderverzamelsysteem. Per deelsysteem is vervolgens voor iedere factor aangegeven welke tijdscomponent(en) van de drie hoofdprocessen de factor beïnvloedt. De tijdscomponenten van de aanvulactiviteiten zijn horizontale tijd, verticale tijd, handling-tijd en administratietijd. Een orderpickcyclus bestaat uit administratietijd, grijptijd (bestaande uit looptijd, paktijd, stapeltijd en informatietijd) en rijtijd. De manier waarop deze processen beïnvloed worden en

de interactie tussen deze processen (congestie) bepalen uiteindelijk de capaciteit. Tot slot is binnen dit gedeelte van het onderzoek een overzicht geconstrueerd, waarin is aangegeven wat de capaciteitsbepalende factoren zijn, hoe ze onderling samenhangen en hoe ze kunnen worden beïnvloed.

In het kwantitatieve gedeelte is onderzocht wat de capaciteit van de verscentrale is en hoe die verandert in verschillende uitgangssituaties. Daarvoor is gebruik gemaakt van een simulatiemodel, geconstrueerd in het pakket AutoMod. Met behulp van dit model is gevonden dat de ontwikkeling van de totale productiviteit bij een toename van het aantal orderpickers voldoet aan de wet van de toe- en afnemende meeropbrengsten. De totale productiviteit neemt toe tot de capaciteit, die ongeveer 8100 colli per uur bedraagt, wordt bereikt bij een inzet van 88 orderpickers. Daarna neemt de totale productiviteit af. De grafiek voor de individuele productiviteit is gelijk aan die van de totale productiviteit gedeeld door het aantal ingezette orderpickers. De curve van de marginale productiviteit is de afgeleide van de totale productiviteit. Ook de capaciteiten van de twee ophaalgebieden in het gemodelleerde circuit en van de individuele gangen zijn onderzocht. Tevens is vastgesteld waar zich de grootste congestieproblemen voordoen en welke gang de bottleneck vormt. Vervolgens is door het uitvoeren van diverse experimenten een beeld geschetst van de invloed van diverse factoren op de capaciteit. Bij een tweede type experimenten is het effect van mogelijke veranderingen op tactisch niveau onderzocht. Aansluitend zijn de resultaten van de diverse experimenten vertaald naar de praktijk en is aangegeven hoe de verkregen inzichten van nut kunnen zijn voor DCP en distributiecentra in het algemeen. De belangrijkste conclusies volgend uit de modelresultaten, zijn:

- De individuele ophaalproductiviteit blijkt afhankelijk van het aantal ingezette orderpickers te zijn. Het verdient de aanbeveling dat men zich bij het plannen van het aantal orderpickers realiseert, dat inzetten van een groter aantal orderpickers een lagere individuele productiviteit oplevert. Bovendien geldt dat iedere extra orderpicker die ingezet wordt minder toegevoegde waarde heeft. Dit zou de basis voor een planning met een flexibele ophaalnorm en een strategische beslissing in zake de gewenste minimale toegevoegde waarde per orderpicker moeten zijn.
- De invloed van de reachtruckers op de productiviteit blijkt zeer beperkt te zijn. Het blijkt dat de reachtruckers niet zo zeer zelf tot een grotere congestietijd leiden, als wel dat ze congestie ondervinden ten gevolge van de orderpickers.
- De paktijd is een zeer belangrijk onderdeel van de orderpickercyclus. Een kleine verandering in de paktijd heeft grote gevolgen voor de productiviteit. De wijze waarop deze tijdscomponent beïnvloed wordt door de factoren is tegelijkertijd één van de meest complexe.
- Het toepassen van een uitgiftestrategie blijkt weinig op te leveren. De belangrijkste reden hiervoor is de geringe variatie in de ophaalopdrachten.
- Spreiden van de omzet vanuit het oogpunt van de congestieproblematiek is altijd te prefereren boven het maken van een slotting waarbij de hardlopers worden geclusterd.
- Het is mogelijk om met een circuit dat ongeveer 1/3 keer kleiner is dan het huidige een zelfde totale en individuele productiviteit te realiseren. Voorwaarde is dat opdrachten bestaand uit een groot aantal colli gelopen worden. Orderpickers zijn hierdoor langer in het circuit en besteden hun tijd effectiever. De totale congestietijd ligt hierdoor wel veel hoger.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

- Invoeren flexibele ophaalnorm.
- Maak mede op basis van de financiële consequenties een keuze inzake de minimaal gewenste toegevoegde waarde van een extra orderpicker.
- Probeer de planning in financieel opzicht te optimaliseren door te bepalen of het interessant is om meer orderpickers in te zetten in de nacht.
- Om de hinder die de reachtruckers ondervinden van de orderpickers te beperken, dient de afstand die zij afleggen zoveel mogelijk gereduceerd te worden. Aansturen van de reachtruckers is hiervoor noodzakelijk.
- Richt de aandacht bij het zoeken naar mogelijke verbeteringen in de slotting en de opdrachtsamenstelling op de paktijd (in plaats van de rijtijd).
- Focus bij mogelijke verbeteringen in de combinatie van ophaalopdrachten en slotting op variatie in de begin- en eindgangen, zodat de orderpickers op verschillende punten het circuit ingaan en verspreid over verschillende afmeldkasten hun opdracht afmelden.
- Houd bij het maken van een nieuwe slotting vooraf al rekening met de gevolgen die dit heeft voor de structuur van de ophaalopdrachten.
- Probeer bij het maken van een slotting de hardlopers zoveel mogelijk te spreiden.
- Vermijd hardlopers aan het begin van begingangen en rondom afmeldkasten.
- Stel een vervolgonderzoek in naar de paktijd.

Begrippenlijst

Afroep	Afdeling binnen DCP die de bestellingen bij de leveranciers doet.
BEVER	Bestellingen Verdelers; systeem op het hoofdkantoor van AH waarin alle bestellingen van de filialen (in de vorm van orderregels) verzameld worden en vervolgens verdeeld over de betreffende DC's.
Blits	Het in batch versturen van orderregels uit BEVER naar de OMEGA van een DC.
BT	Battery Truck; orderpickwagen met twee lepels waarop de productdragers (=ladingdragers) geplaatst worden. Daarboven bevindt zich een ligger (hengel) waarop vier barcodestickers zijn bevestigd. Deze barcodes worden met behulp van de scanner gekoppeld aan de productdrager die eronder geplaatst wordt.
collo	Eenheid waarin producten gepickt worden; één collo bevat meestal meerdere consumenteneenheden.
facing	De tweede picklocatie die toegewezen wordt aan een product; als een product twee picklocaties krijgt toegewezen dan wordt de tweede een facing genoemd.
FCDO	Filiaal Colli Drager Order; ladingdrager met daarop de colli bestemd voor een filiaal; d.m.v. een FCDO-label is aangegeven voor welk filiaal de FCDO bestemd is. Alle uitgaande ladingdragers worden aangeduid met de term FCDO.
Fust	Plastic krat waarin verschillende producten zitten. Een fust geldt als één collo.
Group-pick	Group-pick is een aan OMEGA gekoppelde module, die opdrachten van vier FCDO's formeert tot één ophaalopdracht, daarbij rekening houdend met de af te leggen afstand en de tijd waarop de opdrachten gereed moeten zijn. De naam is afgeleid van het feit dat de opdrachten bestaan uit ladingdragers voor meerdere filialen, dit in tegenstelling tot het zogenaamde filiaal-picken.
Kom / Com	Combinatie-stelling; halve stellingsectie waarin twee picklocaties boven elkaar zijn gemaakt, de zogenaamde kom-onder (KO) en kom-boven locatie (KB).
KF/FF	Kratten Flowrack / Fullcase Flowrack; doorrolstelling waarin meerdere picklocaties boven en naast elkaar zijn geconstrueerd d.m.v. rolbedden.
KW	Kruidenierswaren; het gedeelte van het DC met houdbare artikelen.
LDC	Landelijk Distributiecentrum (Geldermalsen).
LTS	Laatste Tijd op Sterk; de uiterlijke tijd dat een FCDO op strek moet staan, op basis hiervan wordt de uitgiftetijd van de opdracht bepaald.
LTS-venster	FCDO's met een LTS-tijd die binnen het LTSvenster valt, kunnen door Group-pick geformeerd worden tot ophaalopdrachten. Op de versafdeling staat het LTS-venster over het algemeen op 30 minuten.
LVC	Landelijke Verscentrale (Nieuwegein).
OMEGA	Ontvangst Magazijn Expeditie Goederen Administratie; het Warehouse Management Systeem (WMS) van Albert Heijn.
POS	Point Of Sales data; geregistreerde kassaverkopen.
produceren	Het orderpicken wordt aangeduid met de term produceren, hoewel er feitelijk niets geproduceerd wordt. De productie is het aantal gepickte colli.
RDC	Regionaal Distributiecentrum (Pijnacker, Zwolle, Tilburg en Zaandam).
Rolly	Ladingdrager; rolcontainer zonder hekwerk, oftewel een plateau op wieltjes, waarop precies twee fusten naast elkaar geplaatst kunnen worden.
Strek	De opstelruimte voor de docks, waar de afgemelde FCDO's worden neergezet.
SWAG	Scannend Wegzetten Aanvullen Gereedmelden; het systeem waarmee de aanvulbewegingen van de bufferlocatie naar de picklocatie worden aangestuurd en geregistreerd, ook gebruikt om de taak zelf en de reachtruckers die er mee bezig zijn aan te duiden: SWAGen en SWAGer.
THT-code	Tenminste Houdbaar Tot; code die de houdbaarheid van een product aangeeft.

1. Inleiding

In paragraaf 1.1 wordt de probleemschets gegeven. Naar aanleiding daarvan volgt in de tweede paragraaf de probleemstelling van het onderzoek. De gehanteerde werkwijze en onderzoeksmethoden komen aan bod in paragraaf 1.3, waarna in de laatste paragraaf de opbouw van het vervolg van dit rapport wordt beschreven.

1.1 Probleemschets

Het distributiecentrum van Albert Heijn in Pijnacker (DCP) is eind 1997 in gebruik genomen. Het distributiecentrum (DC) bestaat uit een regionale verscentrale, een regionaal distributiecentrum voor houdbare artikelen en een retourcentrum. Het verzorgt de bevoorrading voor ongeveer 190 filialen in zuidwest Nederland. DCP is één van de vier regionale distributiecentra in Nederland. De andere drie zijn gevestigd in Zaandam, Tilburg en Zwolle. Tezamen beleveren zij bijna 800 filialen.

Het distributiecentrum is in grote lijnen ingericht als een bredegangenpalletgebied met reachtrucks en orderverzameltrucks. Binnen een dergelijk magazijn worden drie belangrijke processen onderkend: inslag van de goederen naar de bufferlocaties, herbevoorraden van de picklocaties vanuit de bufferlocaties en uitslag van de goederen vanuit de picklocaties. De picklocaties zijn gesitueerd op het grondniveau. De orders worden met behulp van orderverzameltrucks verzameld door de orderverzamelaars. De buffervoorraad is op een hoger niveau gesitueerd en wordt in- en uitgeslagen met behulp van een reachtruck (Moerkerken, 2000). Er zijn verschillende soorten picklocaties in het distributiecentrum. Deze worden aangeduid met de term opslagtype. Zo zijn er normaal-locaties, waarbij een pallet met producten op grondniveau in een stelling staat, en flowrack-locaties, waarbij kratten met producten op een rollerbaan op hoogte in een stelling staan.

Het productassortiment van Albert Heijn wordt op het hoofdkantoor vastgesteld. Het opnemen van extra producten in dit assortiment betekent dat een DC meer producten moet gaan opslaan. Bij de verschillende distributiecentra wordt het inpassen van nieuwe producten in het DC steeds problematischer. Het lijkt er op dat de capaciteit van de regionale DC's (bijna) bereikt is. De vraag is gerezen of verdere uitbreiding van het assortiment binnen de huidige fysieke grenzen nog mogelijk is, of dat uitbreiding van de DC's noodzakelijk is. Dit geldt vooral voor het gekoelde gedeelte van de DC's, de verscentrale.

Het al of niet bereiken van de capaciteit kan moeilijk kwantitatief aangetoond worden. De belangrijkste reden hiervoor is dat er geen eenduidige definitie van de capaciteit bestaat. Verschillende capaciteitsbegrippen worden door elkaar gehanteerd en ieder distributiecentrum heeft zijn eigen methode om hier mee om te gaan.

Om tot een eenduidig capaciteitsbegrip te komen is een projectgroep bestaande uit medewerkers van de logistieke afdeling van de verschillende sites opgericht. De projectgroep heeft zich in eerste instantie gericht op de capaciteit in termen van de beschikbare oppervlakte. De activiteiten van deze projectgroep hebben geresulteerd in een hulpmiddel waarmee voor ieder product bepaald kan worden, wat het ideale opslagtype voor dat product is. Daarbij worden verschillende criteria gehanteerd, zoals de omzet, het gewicht en het volume van het product. Optellen van de oppervlakte nodig om ieder product in het gewenste opslagtype op te slaan en de overige ruimte die nodig is in een distributiecentrum (gangen,

ontvangstruimten, laadruimten) geeft de totaal benodigde oppervlakte. Op grond daarvan kan dan in theorie bepaald worden of de capaciteit bereikt is.

Echter, een belangrijke onzekerheid die tijdens dit project naar voren kwam, is het effect op het ordervverzamelproces van het op deze wijze inrichten van het distributiecentrum. De vraag is of de productiviteit (het aantal colli dat gedurende een bepaalde tijdseenheid uit het circuit gehaald kan worden) niet nadelig beïnvloed wordt. Daarbij gaat de interesse vooral uit naar de maximale productiviteit, wat hetzelfde is als de capaciteit. Dit wordt de *volume*capaciteit genoemd om verwarring met de capaciteit in vierkante meters, de *oppervlakte*capaciteit te voorkomen. Geconcludeerd is dat om het effect op het orderpickproces te bepalen meer inzicht nodig is in de factoren die de capaciteit van het orderpickproces bepalen. Enkele factoren die de capaciteit beïnvloeden zijn bijvoorbeeld het aantal orderpickers, de pickroutes en de opslagtypes. De vraag naar meer inzicht in de volume-capaciteit van de verscentrale vormt het startpunt van dit onderzoek.

1.2 Probleemstelling

Op basis van het voorgaande is de probleemstelling opgesteld. Deze probleemstelling, bestaande uit de doel- en vraagstelling van het onderzoek, wordt in deze paragraaf weergegeven.

1.2.1 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig en luidt:

- 1) *"Het identificeren en formaliseren van de factoren en hun relaties, die de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum bepalen."*
- 2) *"Het, op basis van het voorgaande, ontwikkelen van een hulpmiddel waarmee het inzicht in de capaciteit in verschillende uitgangssituaties verbeterd kan worden."*

Dit betekent dat allereerst vastgelegd is, wat er onder capaciteit verstaan wordt. De volume-capaciteit wordt opgevat als de maximale totale productie in colli gedurende een bepaalde tijdsperiode. Daarna zijn de factoren die invloed hebben op de capaciteit bepaald. De samenhang tussen deze factoren bepaalt uiteindelijk de capaciteit. Eerst zijn de factoren en deze samenhang (*hun relaties*) kwalitatief bepaald (*identificeren*). Vervolgens zijn de relaties vastgelegd en kwantitatief ingevuld (*formaliseren*). De volgende stap is om de capaciteit op basis van deze gegevens daadwerkelijk te bepalen. Daarvoor is een computermodel ontwikkeld. Dit model is gebaseerd op de verscentrale van het DC in Pijnacker. Echter, de capaciteit moet in verschillende uitgangssituaties bepaald kunnen worden. Deze uitgangssituaties betreffen veranderingen ten opzichte van de huidige situatie op operationeel en tactische niveau. Dit betekent dat veranderingen van bijvoorbeeld de fysieke distributiestructuur of de warehousetypologie buiten de scope vallen. Na overleg met het DC is vastgesteld wat de interessante veranderingen ten opzichte van de huidige situatie zijn. Het model is zodanig ingericht dat de gevolgen voor de capaciteit van deze uitgangssituaties door eenvoudige aanpassingen in de parameters van het model bepaald kunnen worden.

Om het benodigde inzicht te verlenen bezit het model de volgende mogelijkheden:

- o Bepalen van de totale en individuele productiviteit in verschillende uitgangssituaties
- o Bepalen van de capaciteit in verschillende uitgangssituaties
- o Verklaren van bovenstaande waarden met behulp van prestatie-indicatoren

1.2.2 Vraagstelling

Op basis van de doelstelling is de onderzoeksvraag geformuleerd. Deze luidt:

“Wat zijn de factoren en hun relaties die de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum bepalen, hoe kan op basis daarvan een hulpmiddel ontwikkeld worden en wat is deze capaciteit in verschillende uitgangssituaties?”

Beantwoording van de onderzoeksvraag moet leiden tot het bereiken van de opgestelde doelstelling. Om dit mogelijk te maken, is de onderzoeksvraag uitgesplitst in een aantal deelvragen. In de volgende paragraaf zijn bij de onderzoeksstappen de bijbehorende deelvragen aangegeven.

1.3 Werkwijze en onderzoeksmethoden

In deze paragraaf wordt beschreven op welke wijze en met welke methoden het onderzoek is uitgevoerd. De volgende processtappen zijn onderscheiden in het onderzoek:

1) Beeldvorming

In de beeldvormingsfase zijn de positie van het DC binnen de logistieke keten van Albert Heijn, de andere actoren binnen deze keten en de activiteiten in het DC onderzocht. De belangrijkste deelvragen die daarbij aan de orde gekomen zijn, luiden:

- o Wat is het te onderzoeken systeem?
- o Wat is de positie van het DC in het logistieke systeem?
- o Welke andere actoren spelen een rol in het logistieke systeem?
- o Hoe is de verscentrale ingericht en welke processen vinden er plaats?

2) Conceptualisatie

In de conceptualisatiefase is het te onderzoeken systeem afgebakend. Daarnaast zijn de belangrijkste voor de capaciteit relevante begrippen gedefinieerd en worden de relevante processen vastgelegd in procesdiagrammen. De volgende deelvragen zijn beantwoord:

- o Wat kan geleerd worden van in- en externe informatie met betrekking tot capaciteitsbepaling?
- o Wat is capaciteit?
- o Hoe zijn de processen die de capaciteit bepalen ingericht?

3) Specificatie

In de specificatiefase zijn twee trajecten onderscheiden. Allereerst zijn de relevante factoren kwalitatief verder uitgewerkt. Daarbij is aangegeven wat de factoren in het algemeen inhouden, hoe ze zich manifesteren binnen de verscentrale van DCP en wat de gevolgen daarvan voor de capaciteit zijn. Het tweede pad betreft de kwantitatieve invulling van de factoren. Er is een simulatiemodel geconstrueerd waarmee de capaciteit en de bepalende factoren gevonden kunnen worden. Hierbij is een gangbare werkwijze voor de constructie van een simulatiemodel gevolgd (Sol e.a., 1999). De belangrijkste deelvragen die binnen de twee paden aan bod komen zijn:

I)

- o Welke factoren hebben invloed op de capaciteit van een DC?
- o Volgens welke structuur kunnen de relevante factoren worden beschreven?
- o Hoe zijn de factoren bij de processen in het DC terug te vinden?
- o Wat zijn de gevolgen van de verschillende factoren voor de capaciteit?

II)

- o Welk type model en modelleertechniek kunnen gebruikt worden?
- o Hoe kunnen de factoren en hun relaties met deze modelleertechniek beschreven worden?
- o Wat is het gewenste aggregatieniveau?
- o Welke reductie moet toegepast worden?
- o Hoe kan de benodigde input verkregen worden?
- o Hoe kan de gewenste output verkregen worden?

4) Experimenten en resultaten

In deze fase zijn experimenten uitgevoerd met het simulatiemodel. Daarmee zijn verschillende factoren op tactisch en operationeel niveau kwantitatief ingevuld. Vervolgens zijn de resultaten verwerkt en geïnterpreteerd. De volgende deelvragen zijn beantwoord:

- o Wat is de capaciteit in verschillende situaties?
- o Welke factoren beïnvloeden deze capaciteit?

5) Vertaling resultaten naar de praktijk

In deze fase van het onderzoek zijn de resultaten teruggekoppeld naar de doelstelling en is beschreven hoe de resultaten in de praktijk gebruikt kunnen worden of anderszins van waarde kunnen zijn.

- o Wat kan geleerd worden van de resultaten?
- o Hoe kunnen de resultaten in de praktijk van waarde zijn voor DCP?

De belangrijkste gehanteerde onderzoeksmethoden zijn modellering, literatuuronderzoek, data-analyse en interviews. De eerste twee methoden zijn toegepast om de kwantitatieve en kwalitatieve trajecten in te vullen. De data-analyse en de interviews zijn vooral gebruikt ter verkrijging en verifiëring van de voor het simulatiemodel benodigde gegevens en inzichten.

1.4 Opbouw

Het rapport is in grote lijnen opgebouwd volgens de processtappen uit de vorige paragraaf. De hoofdstukindeling staat ook grafisch weergegeven in figuur 1.1.

Hoofdstuk 2 bevat de verschillende onderdelen uit de beeldvormingsfase. Dit betreft een algemene beschrijving van DCP, een overzicht van de overige relevante actoren en een beschrijving van de belangrijkste processen die in het DC worden uitgevoerd.

In hoofdstuk 3 worden allereerst de voor het onderzoek relevante begrippen gedefinieerd. Vervolgens worden de processen in meer detail uitgewerkt in procesdiagrammen.

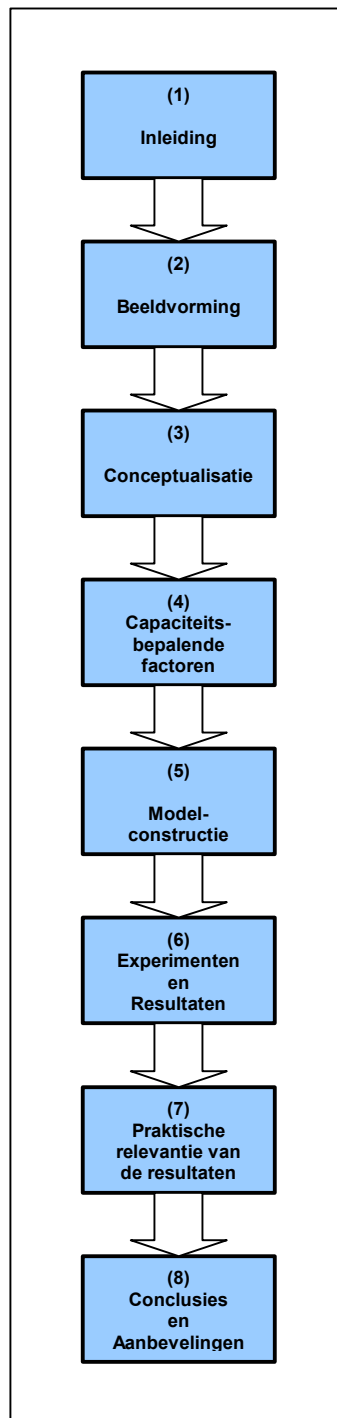
Een kwalitatieve beschrijving van de capaciteitsbepalende factoren is terug te vinden in hoofdstuk 4. Allereerst wordt daarin een raamwerk geformuleerd, waarbinnen vervolgens de verschillende factoren en hun invloed op de capaciteit aan bod komen. Als eerste worden de operationele factoren besproken, daarna de factoren op tactisch niveau. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een schematisch overzicht van alle capaciteitsbepalende factoren.

Hoofdstuk 5 is het eerste hoofdstuk van het kwantitatieve traject. In dit hoofdstuk worden de keuze voor de modelleertechniek en de afbakening besproken, waarna het geconstrueerde simulatiemodel wordt beschreven volgens dezelfde indeling in operationele en tactische factoren als in hoofdstuk vier. Tenslotte worden in dit hoofdstuk de behandelingsopzet en de verificatie en validatie behandeld.

Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van de uitgevoerde experimenten en de verkregen resultaten. De experimenten zijn ingedeeld in experimenten die de gevolgen van operationele veranderingen in kaart brengen en experimenten die datzelfde doen voor tactische veranderingen. Deze twee typen experimenten komen achtereenvolgens aan bod.

In hoofdstuk 7 wordt besproken hoe de resultaten in de praktijk van waarde kunnen zijn voor het distributiecentrum Pijnacker.

Tot slot bevat hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen.



Figuur 1.1: Opbouw van het rapport

2. Beeldvorming

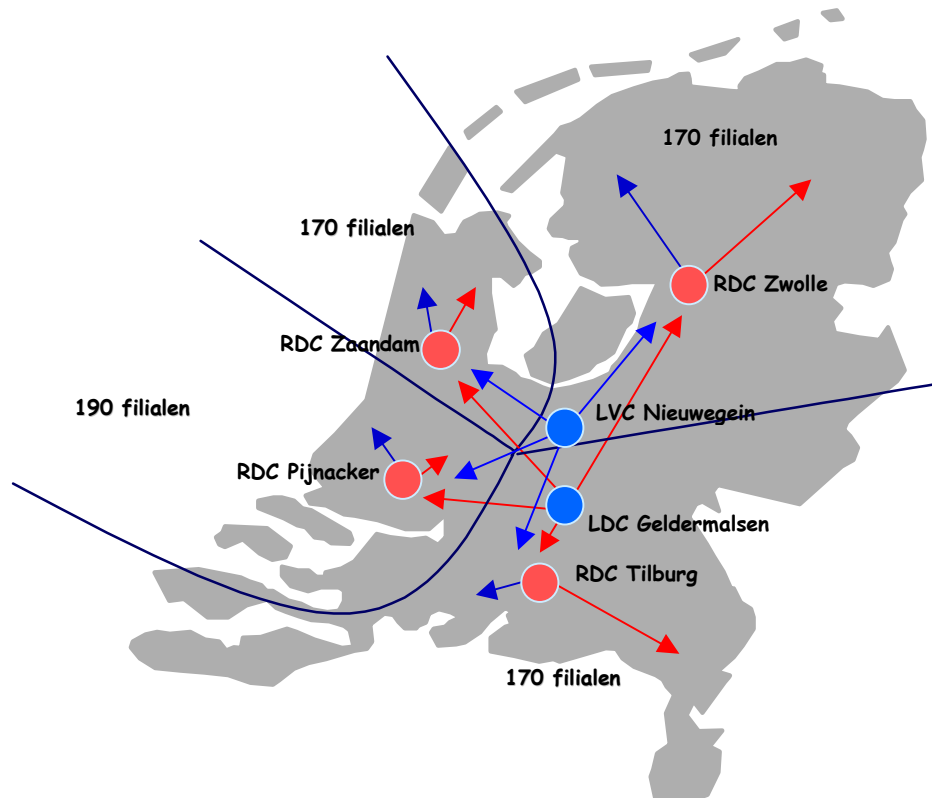
In dit hoofdstuk wordt het probleemveld beschreven. De inhoud van dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op gesprekken met medewerkers van Albert Heijn, interne documenten en eigen inzichten verkregen door mee te lopen in het proces. Paragraaf 1 bevat een beschrijving van de probleemeigenaar, het distributiecentrum Pijnacker, en haar positie in de logistieke keten van AH. In de tweede paragraaf worden de actoren in deze keten nader bekeken. Ter ondersteuning van deze paragrafen zijn in de bijlagen 1 en 2 een plattegrond van de verscentrale van het DC en een overzicht van de verschillende opslagtypen opgenomen. Tot slot worden in paragraaf 3 de processen binnen DCP op hoog niveau beschreven.

2.1 Distributiecentrum Pijnacker

Albert Heijn BV is onderdeel van Koninklijke Ahold NV. Albert Heijn (AH) realiseerde in 2001 een omzet van 5,5 miljard euro en leverde daarmee een belangrijke bijdrage aan de omzet wereldwijd die ruim 66 miljard euro bedroeg. De strategie van Albert Heijn is erop gericht zich te profileren als de huishoudelijke dienstverlener van Nederland. Om de bijna 800 filialen in Nederland van alle producten te voorzien beschikt AH over een uitgebreid logistiek netwerk. In deze paragraaf komt, na een algemene beschrijving van het distributiecentrum, het logistieke systeem aan de orde.

2.1.1 Activiteiten DCP

Zoals vermeld, beschikt Albert Heijn over vier regionale distributiecentra. Daarnaast zijn er twee landelijke distributiecentra in Nieuwegein (landelijke verscentrale) en Geldermalsen



Figuur 2.1: Overzicht distributiecentra Albert Heijn

(landelijk distributiecentrum kruidenierswaren). Deze DC's leveren echter in transit via de RDC's aan de filialen, zodat vrijwel alle artikelen die in de AH winkels liggen worden gedistribueerd via één van de regionale DC's. In figuur 2.1 staan alle distributiecentra en de belangrijkste stromen weergegeven.

DCP fungeert als op- en overslagpunt¹ in de logistieke keten van AH. De regionale verscentrale beschikt daartoe over een vloeroppervlakte van bijna 18.000 m², terwijl de afdeling houdbaar (kruidenierswaren) bijna 24.000 m² groot is. Voor het laden en lossen zijn er totaal 167 docks. Het DC biedt plaats aan ruim 3900 verschillende producten, waarvan ongeveer 2200 houdbaar en bijna 1700 vers. Per jaar wordt ongeveer 28 miljoen colli houdbaar en 34 miljoen colli vers geproduceerd. Er werken bijna 1600 mensen bij het DC, waarvan ongeveer 1000 uitzendkrachten. Veel productiemedewerkers werken parttime, waardoor het aantal FTE² rond de zeshonderd ligt. Binnen het DCP zijn er drie belangrijke logistieke stromen: de gekoelde stroom (vlees, groente, fruit, zuivel en diepvries), de stroom houdbare producten en de retourstroom. Het volume van de eerste twee logistieke stromen wordt aangestuurd door de verkoopgegevens van de kassa's in de filialen. Op die manier kunnen de leveringen zoveel mogelijk gebaseerd worden op de actuele vraag van de klant.

Levering aan een filiaal vindt per stroom minimaal één keer per dag (afhankelijk van de omzet van het filiaal en de beschikbare ruimte in het filiaal) op vaste tijden plaats. Volgens het "Vandaag voor Morgen" concept vinden deze leveringen een dag na de bestelling plaats. De retourstroom bestaat uit lege kratten, fusten, pallets, karton, folie en producten waarvan de houdbaarheidsdatum verstreken is. Deze retourstromen worden direct na elke levering mee teruggenomen naar het DC. In het retourcentrum wordt alles verwerkt, schoongemaakt of teruggestuurd naar de leverancier. Overigens zijn de activiteiten in het retourcentrum uitbesteed aan een extern bedrijf.

2.1.2 Positie DCP in het logistieke systeem

Het distributiecentrum is een belangrijk knooppunt in de logistieke keten van Albert Heijn. Voordat de structuur van deze keten en de inrichting van het verdere logistieke systeem aan de orde komen, volgen allereerst twee definities van logistiek:

Logistiek geeft een waardetoevoeging aan alle aspecten van de goederenstroom met het doel deze stroom geheel te gaan beheersen vanaf de aanvoer van de grondstoffen tot en met de distributie en aankomst bij de afnemer (Botter, 1993).

Logistics is the process of planning, implementing and controlling the efficient, effective flow and storage of raw materials, in-process inventory, finished goods, services and related information from point of origin to point of consumption (including inbound, outbound, internal and external movements) for the purpose of conforming to customer requirements (Council of Logistics Management, 1992).

Uit deze definities blijkt dat het uiteindelijke doel van logistieke activiteiten altijd het optimaliseren van de service aan de klant is. Voor het gemak wordt ook wel de definitie van de "Seven R's" gehanteerd, waarin dit ook duidelijk naar voren komt.

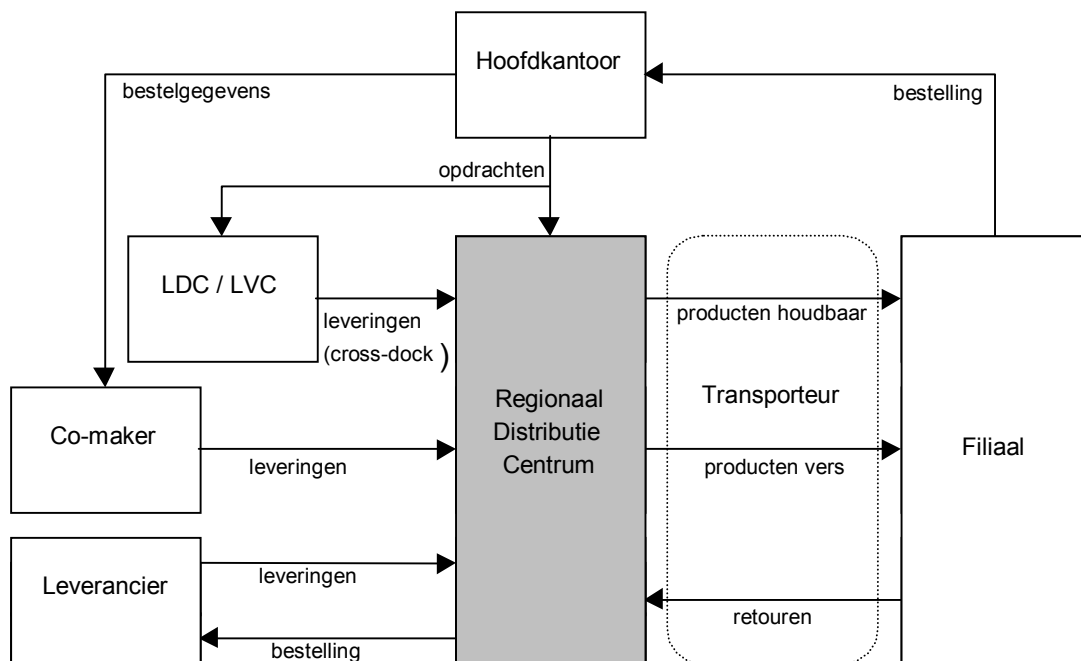
¹ De artikelen uit Nieuwegein (o.a. kant-en-klaar maaltijden en langzaamlopers) en Geldermalsen (o.a. waardevolle artikelen en langzaamlopers), maar ook melk, diepvriesartikelen, bloemen en aardappelen worden niet opgeslagen in het DC, maar gaan cross-dock gelijk mee met de zendingen naar de filialen.

² Full Time Equivalents; het aantal fulltime banen

Ensuring the availability of the right product, in the right quantity and the right condition, at the right place, at the right time, for the right customer, at the right cost (Heskett en Shapiro, 1985).

Een logistieke systeem wordt over het algemeen opgedeeld in inbound en outbound logistics of, met andere woorden, materials management en fysieke distributie. Als dit wordt toegepast op Albert Heijn dan hangt het van het perspectief af hoe de verschillende activiteiten verdeeld worden. Als naar de hele keten gekeken wordt, dan wordt de ingaande stroom gevormd door de grondstoffen en halffabrikaten die de leveranciers van AH nodig hebben om hun producten te maken. AH verzorgt dan de fysieke distributie met behulp van haar DC's en netwerk van filialen. Als het onderscheid tussen in- en outbound voor AH als individueel bedrijf wordt gemaakt dan bestaat de ingaande stroom uit de leveranciersleveringen en de uitgaande stroom wordt dan verzorgd door de klanten die de artikelen kopen in de winkels. Wordt de indeling voor een DC gemaakt, dan vormen de zendingen voor de filialen de uitgaande stroom. De indeling in inbound en outbound is dus niet erg strikt en afhankelijk van het gezichtspunt. De volgende opvatting wordt hier gehanteerd: AH verzorgt als retailer de fysieke distributie met behulp van haar DC's en netwerk van filialen. De goederen van de leveranciers vormen de ingaande stroom. De uitgaande stroom wordt verzorgd door de klanten van de filialen. De nadruk ligt op het optimaliseren van de ingaande stroom, zodat de uitgaande stroom optimaal kan plaatsvinden (geen nee-verkopen).

In figuur 2.2 is de logistieke keten waarvan AH gebruik maakt, weergegeven. Daarin zijn de goederenstromen en de bestellingen weergegeven. Dit betreft in feite dus alleen de fysieke distributie.



Figuur 2.2: Logistieke keten AH

Om de huidige werkwijze wat betreft de fysieke distributie beter te kunnen begrijpen, wordt eerst kort de werkwijze voor invoering van het "Vandaag Voor Morgen" concept geschetst.

Albert Heijn gebruikte op dat moment 15 distributiecentra, die tezamen zeven verschillende stromen verzorgden. Daarnaast was er een groot aantal rechtstreekse zendingen. Alle stromen hadden een verschillende leadtime. Dit resulteerde in veel afleveringen bij de filialen op veel verschillende tijden. Deze leveringen waren voor een groot gedeelte gebaseerd op het push-principe, wat betekent dat de filialen ongeacht de werkelijke klantvraag beleverd werden volgens de planning (gebaseerd op historische omzetgegevens). Gecombineerd met de wisselende leadtimes leidde dit tot grote voorraden bij de filialen. Geconcludeerd werd dat de het klantgedrag niet goed te voorspellen is en dat logistieke planning op basis van deze sterk wisselende klantvraag niet goed mogelijk is. Dit heeft tot de introductie van het "Vandaag voor Morgen" concept geleid, zoals dat nu toegepast wordt. Dit concept wordt nu aan de hand van de indeling uit Van Duin e.a. (1998) besproken.

Distributieve grondvorm

De logistieke keten is convergerend in de DC's, waar de leveringen van een groot aantal leveranciers geconsolideerd worden. De uitgaande stroom van de DC's, waarmee de filialen beleverd worden, is divergerend. Deze hoofdgedachte is met de nieuwe inrichting van de distributie infrastructuur niet veranderd. Wel is het aantal distributiecentra teruggebracht tot vier regionale en twee landelijke DC's. Ook is het aantal leveranciers verminderd. Verder zijn de verschillende stromen samengevoegd tot twee hoofdstromen: gekoeld en houdbaar. Hiermee zijn de transporten naar de filialen geïntegreerd en is het bestelproces voor de filialen eenvoudiger geworden. Ieder regionaal DC verzorgt de distributie voor ongeveer een kwart van alle filialen.

Levels

De gelaagdheid van de distributiestructuur is beperkt. Er zijn twee landelijke distributiecentra voor speciale artikelen. Dit betreft voornamelijk de langzaamlopende producten en producten die vanwege hun karakteristieken een speciale behandeling vereisen (brandbaar, diefstalgevoelig). Deze distributiecentra worden net als de vier regionale DC's beleverd door diverse leveranciers. Hun leveringen gaan echter op filiaalniveau naar de RDC's, die deze leveringen bundelen met hun eigen leveringen voor een bepaald filiaal en dit vervolgens direct uitleveren.

Locatie

De locaties zijn gedeeltelijk historisch bepaald. Alleen DCP is recente nieuwbouw. De vier regionale DC's, naast Pijnacker zijn dat Zaandam, Tilburg en Zwolle, liggen centraal in de regio die zij beleveren. De twee landelijke distributiecentra in Geldermalsen en Nieuwegein zijn centraal tussen de RDC's gelegen. Voor alle DC's geldt dat een goede toegang tot de snelweg een vereiste is. Voor een overzicht van de locaties wordt nogmaals verwezen naar figuur 2.1.

Organisatie

Ieder DC opereert in principe autonoom binnen randvoorwaarden. Voorraadbeheersing en transportplanning zijn de eigen verantwoordelijkheid van het DC. Het transport wordt bijvoorbeeld door ieder DC afzonderlijk uitbesteed. Het assortiment en de leveranciersafspraken worden voor een groot gedeelte wel centraal bepaald.

Besturingssysteem

Ten aanzien van de leveringen aan de filialen is de pushgedachte losgelaten en vervangen door een geheel pull georiënteerde aanpak. Dit omdat AH, zoals eerder opgemerkt, heeft geconstateerd dat logistieke planning op basis van het voorspellen van de klantvraag niet goed mogelijk is. Daarvoor is het klantgedrag te grillig en te onvoorspelbaar. Daarom is ervoor gekozen om de logistiek direct te laten reageren op de verkopen. De klantvraag trekt op die manier als het ware het product door de logistieke keten heen. Daarmee is één van de belangrijkste speerpunten logistieke snelheid geworden, zodat snel gereageerd kan worden op plotselinge veranderingen in die vraag. Mede daarom waren eerdergenoemde veranderingen noodzakelijk.

Het DC levert nu op basis van bestellingen van de filialen. De filialen beschikken daartoe over het Filiaal Bestel Registratiesysteem (FBR) dat automatisch een besteladvies genereert op grond van de actuele verkoopgegevens. Het FBR is het winkelbestelsysteem van AH en is vergelijkbaar met een systeem als het Automatic Store Ordering systeem (ASO), waarover Van der Lans en de Ruiter (1998) spreken. Zij gaan ook dieper in op de Point Of Sales data (POS), de gangbare aanduiding voor de actuele verkoopgegevens. De medewerker binnen het filiaal die verantwoordelijk is voor de bestellingen kan het besteladvies nog aanpassen op grond van de verwachtingen van het filiaal zelf of specifieke omstandigheden. Hiervoor heeft het filiaal na levering 6 uur de tijd. Daarna moeten de bestellingen naar het hoofdkantoor verzonden zijn. Het DC heeft dan nog 18 uur de tijd om dit te produceren en weer uit te leveren, zodat het filiaal 24 uur later weer beleverd is. Er geldt een uitzondering voor de filialen van blok 5, die anders midden in de nacht zouden moeten bestellen.³ Zij mogen de volgende dag tot 9 ½ uur voor de aflevertijd bestellen. De indeling in blokken, waarbinnen de filialen beleverd worden, is als volgt:

- o Blok 1: 6.00u – 9.00u
- o Blok 2: 9.00u – 12.00u
- o Blok 3: 12.00u – 15.00u
- o Blok 4: 15.00u – 18.00u
- o Blok 5: 18.00u – 19.30u

De bestellingen die de filialen vandaag doen worden dus altijd morgen geleverd. Leveren aan de filialen gebeurt minimaal één keer per stroom per dag; voor grote filialen kan dit oplopen tot drie keer per dag. Filialen worden in een van bovenstaande blokken beleverd. Binnen een blok krijgt een filiaal een mediane aflevertijd. Vervolgens wordt op basis daarvan voor iedere dag van de week een aflevertijd vastgesteld en vastgelegd in het zogenoemde spoorboekje. Deze aflevertijd mag maximaal plus of min een half uur verschillen van de mediane aflevertijd. De werkelijke aflevertijd mag vervolgens maximaal plus of min een kwartier verschillen van de voor die dag vastgestelde aflevertijd.

In feite is gekozen voor een Just In Time (JIT) benadering. Dit houdt in dat de filialen alleen die artikelen krijgen die ze nodig hebben en dus een zeer beperkte voorraad aanhouden. Voor de filialen betekent de invoering van dit systeem dat het aantal afleveringen is afgenomen, terwijl de betrouwbaarheid is toegenomen. Overigens worden op het moment binnen Albert Heijn toch weer acties ondernomen om levering opnieuw gedeeltelijk volgens een push

³ Bovendien is dat ook niet mogelijk, omdat het systeem dan een service-window kent en geen bestellingen kan verwerken.

systeem plaats te laten vinden. Dit betreft de zogenaamde Automatische Aanlevering. De reden hiervoor is dat de door het filiaal gedane aanpassingen in het besteladvies niet altijd van de gewenste kwaliteit zijn. Betere afstemming op de kenmerken van de individuele filialen en een nog snellere reactie op de klantvraag moeten de eerder geschetste problemen met push leveringen voorkomen.

Samenvattend zijn de kenmerken van de op dit moment gehanteerde benadering:

- o reactief (levering op basis van actuele klantvraag)
- o kleine, frequente leveringen (dagelijks)
- o korte leadtimes
- o zeer beperkte voorraad
- o eenvoudig: eerst ontvangen, dan pas weer bestellen

Wat betreft de leveranciers was er al sprake van een pull-filosofie. Traditioneel leverden leveranciers op basis van bestellingen van de afroepers. Door de introductie van Efficient Consumer Response (ECR), een strategie waarbinnen leveranciers en distributeur samenwerken om de klanttevredenheid te vergroten, is deze klantgerichte pull-gedachte nog veel sterker geworden, zie (Van der Lans en de Ruiter, 1998).

Binnen AH worden deze leveranciers co-makers genoemd. Co-makers zijn leveranciers waarmee Albert Heijn een vergaande samenwerking heeft. Binnen deze samenwerking verbindt de co-maker zich aan specifieke service criteria, terwijl AH op haar beurt ervoor zorgt dat de leverancier inzicht heeft in de POS data van zijn producten en de bestellingen van de filialen. Op basis van die gegevens en het huidige voorraadniveau in het DC kan de co-maker vervolgens de grootte van zijn leveringen bepalen. Op deze manier is er sprake van Vendor Managed Inventories (VMI)⁴ of Vendor-Driven Replenishment (VDR); de leverancier is eigenaar van de voorraad, die echter in een DC van Albert Heijn opgeslagen ligt.

In de DC's wordt ook zoveel mogelijk het JIT principe gehanteerd, vooral als het producten betreft met een beperkte houdbaarheid.

2.2 Actorenbeschrijving

In figuur 2.2 zijn eerder de verschillende actoren die van belang zijn binnen de logistieke keten van AH weergegeven. Hieronder wordt kort per actor besproken wat de belangrijkste interacties met het distributiecentrum zijn.

Leveranciers en co-makers

Albert Heijn heeft een groot aantal leveranciers. Het aanleveren van producten kan op twee manieren in gang gezet worden. Ten eerste kunnen de producten op de traditionele manier besteld worden bij de leveranciers. Dit gebeurt door medewerkers van het DC, de zogenaamde afroepers. Het bestellen gebeurt voornamelijk op basis van historische bestelgegevens van de filialen.

Ten tweede kan er gewerkt worden met co-makers. Dit is uitgebreid in de voorgaande paragraaf aan de orde geweest. Het komt erop neer dat de co-maker inzicht heeft in de bestellingen van de filialen in BEVER (iedere 6 uur een overzicht van de stand van de voorraad en van de bestellingen) en op grond van die gegevens en het huidige voorraadniveau

⁴ Zie ook Coyle e.a. (1996)

van zijn product(en) in het DC de grootte van de levering kan bepalen. Een mogelijk nadeel van dit systeem is dat veel co-makers zo min mogelijk trips willen maken en producten zo snel mogelijk kwijt willen. Gevaar is dus dat ze het DC gebruiken als opslag voor hun eigen overschotten. Contractueel is de co-maker wel verantwoordelijk voor producten die niet meer verkocht kunnen worden in verband met het verstrijken van de THT-code. De voordelen wat betreft voorraadbeheer wegen echter zwaarder en ondertussen is ongeveer 50% van de leveranciers co-maker; onder andere de vlees-, zuivel- en frisdrankfabrikanten.

Met alle leveranciers worden door het DC afspraken gemaakt over onder andere aanlevermomenten (aantal keer per dag), de minimale houdbaarheidsdatum van de artikelen, het type verpakking (doos, fust), het type ladingdrager (pallet, roly) en het palletpatroon (aantal lagen op pallet en aantal stuks per laag) of het aantal stuks op een roly.

LDC/LVC

De landelijke distributiecentra produceren net als de regionale DC's op basis van de bestellingen van de filialen. Zij worden daartoe ook voorzien van producten door leveranciers en co-makers. Echter, zij produceren voor het hele land en leveren via de RDC's aan de filialen. Ze leveren dus niet direct zelf aan de filialen. Dit heeft voor de RDC's een grote crossdock stroom tot gevolg, die afgestemd moet worden met de eigen productie.

Hoofdkantoor

Het hoofdkantoor speelt op strategisch niveau een belangrijke rol. Daar worden de beslissingen inzake het productassortiment en de acties genomen. Deze beslissingen hebben grote gevolgen voor de processen in het distributiecentrum.

Daarnaast is het van belang op het operationele niveau. Het centrale systeem (BEVER) bevindt zich fysiek op het hoofdkantoor.

Transporteur

Het transport van de DC's naar de filialen is uitbesteed aan transportbedrijven. Ieder DC is daar zelf verantwoordelijk voor en er wordt dan ook gewerkt met verschillende bedrijven. Op basis van de randvoorwaarden die gelden ten aanzien van de inzet van chauffeurs (sociale werktijden en dergelijke) wordt het rittenplan (ook spoorboekje genoemd) samengesteld, waarin staat wanneer welk filiaal beleverd moet worden. Afstemming tussen deze uitgaande stroom en de productie is van groot belang. Een meer gedetailleerde beschrijving van het uitleverproces is reeds gegeven in paragraaf 2.1.2.

Filiaal

De filialen worden minimaal één keer per dag beleverd. Tijdigheid, volledigheid en juistheid van de leveringen zijn van grote invloed op de uiteindelijke klantentevredenheid en dus op de omzet van het filiaal.

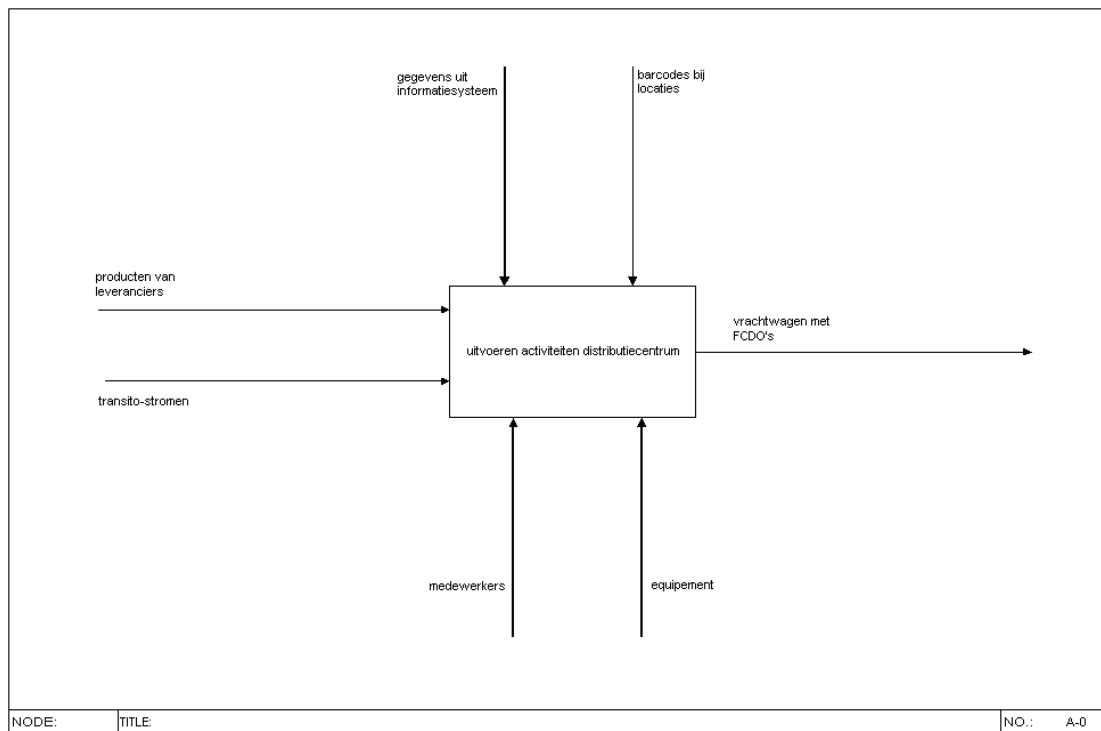
Filiaal willen graag vroeg op de dag beleverd worden, omdat de artikelen dan nog het langst houdbaar zijn en de kans op tekorten in de levering het kleinst is. Filiaalhouders verwachten in principe dat datgene wat ze bestellen, geleverd wordt, hoe verschillend hun bestellingen iedere dag ook zijn en ongeacht hoeveel de andere filialen bestellen. Dit leidt uiteraard zo nu en dan tot het niet leveren van producten. Er wordt dan niet gewerkt met backorders. De order wordt geschrapt, de filiaalhouder ziet dit op de filiaalnota en zal het artikel opnieuw moeten bestellen.

2.3 Procesbeschrijving

In deze paragraaf worden de belangrijkste processen die plaatsvinden in het distributiecentrum kort beschreven. Dit gebeurt door een product als het ware te volgen van binnenkomst tot vertrek uit het DC. Daarbij wordt vooral ingegaan op de situatie in het gekoelde gedeelte van het distributiecentrum. In de beschrijving van de processen zullen verschillende opslagtypen genoemd worden; een overzicht van deze opslagtypen is terug te vinden in bijlage 2. Voor de overige begrippen wordt verwezen naar de begrippenlijst.

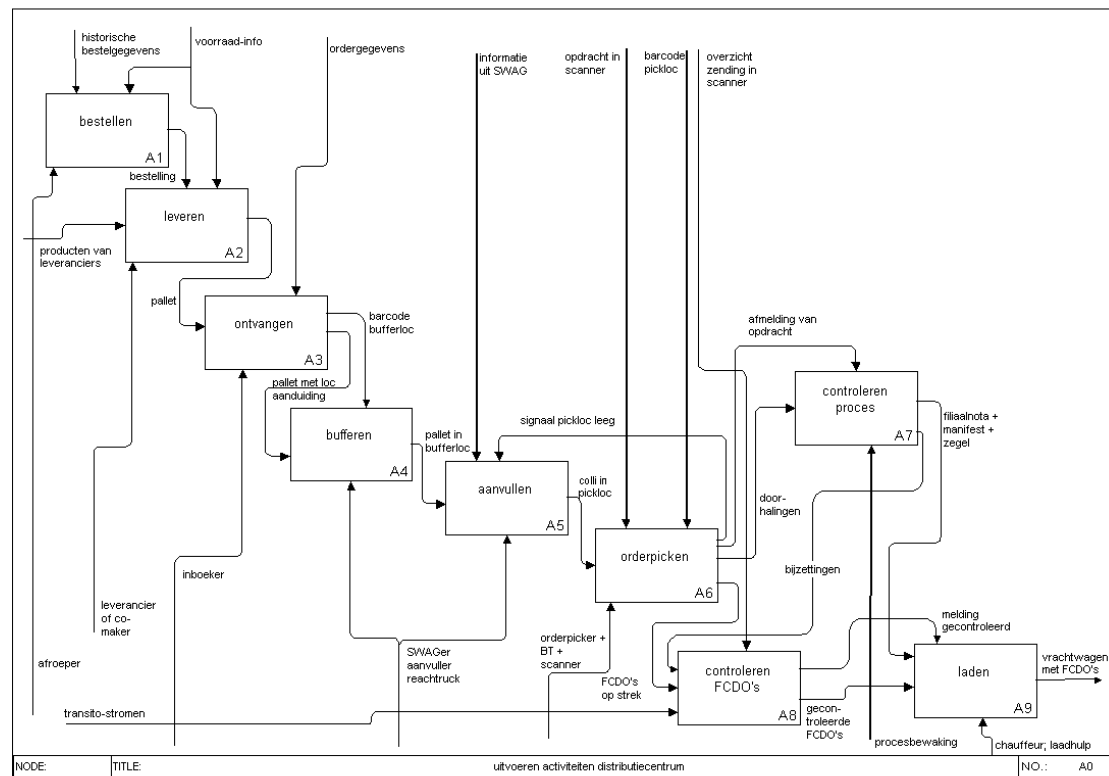
De processen zijn beschreven met behulp van de IDEF0-methode. Deze methode is geschikt om een gestructureerde, grafische voorstelling van een proces te maken. In een IDEF0-diagram wordt een activiteit of proces weergegeven door een rechthoekige box. De pijlen die aan de linkerkant de box binnenkomen, representeren de fysieke input benodigd voor de activiteit. De pijlen van boven beschrijven de controls; de gegevensstroom die de condities aangeeft waarbinnen het proces wordt uitgevoerd. De ingaande pijlen aan de onderkant geven de mechanismen, de benodigde middelen, weer. Tezamen resulteren deze drie pijlen in de uitgaande pijl aan de rechterkant, de output van de activiteit. Door de opeenvolgende boxen te koppelen met de pijlen ontstaat een grafische weergave van het gehele proces.

Een belangrijke eigenschap van de IDEF0-methode is dat een proces weer onderverdeeld kan worden in kleinere deelprocessen. In het basisdiagram, A-0 diagram genoemd, wordt alleen de hoofdactiviteit weergegeven. Dit diagram, met als hoofdactiviteit "uitvoeren activiteiten distributiecentrum" is weergegeven in figuur 2.3. De ingaande stroom wordt gevormd door de producten van de leveranciers en de transitostromen. De uitgaande stroom door de vrachtwagens die met de bestellingen voor de filialen vertrekken. De "middelen" waarmee het proces wordt uitgevoerd zijn de medewerkers en het equipment. Het proces wordt aangestuurd door informatie uit informatiesystemen en aanduidingen bij de locaties.



Figuur 2.3: A-0 diagram: "Uitvoeren activiteiten distributiecentrum"

In figuur 2.4 wordt de hoofdactiviteit "uitvoeren activiteiten distributiecentrum" uitgesplitst in negen deelactiviteiten.



Figuur 2.4: A0 diagram: Decompositie "Uitvoeren activiteiten distributiecentrum"

Omdat de bestel- en de leveractiviteit niet behoren tot de activiteiten die op de vloer van het DC worden uitgevoerd, zijn deze al besproken bij de beschrijving van het logistieke systeem in paragraaf 2.1.2. De overige activiteiten uit figuur 2.4 worden nu kort besproken.

A3) Ontvangen

Producten worden overdag aangeleverd op de ontvangstdocks aan de achterzijde van het DC. 's Avonds gebeurt dit aan de voorkant van het DC, omdat de uitgaande docks dan vrij zijn. Producten worden op pallets (fusten of dozen) of op rollen (fusten) aangeleverd. Dit laatste wordt rollend transport-in genoemd en geldt alleen voor Vers 1.⁵ Lossen vindt plaats op één van de ontvangsteilanden, waar ook de controle, onder andere op aantal dragers, aantal colli, houdbaarheidsdatum en palletpatroon, plaatsvindt. De ontvangen aantallen worden ingevoerd of genoteerd. Vervolgens worden de producten ingeboekt, wat betekent dat de gegevens uit de scanner of van de lijst in OMEGA worden gematched met de betreffende afroeporder. Tevens worden er labels met een uniek dragernummer en de locatiecode van de producten uitgedraaid en op de pallet of de rolly met fusten geplakt.

A4) Bufferen

Met bufferen wordt het transporteren van ingekomen pallets vanaf het ontvangsteiland naar de bufferlocatie bedoeld. Na de controle worden de pallets naar de op het label aangegeven

⁵ zie tabel 2.1 op pagina 18 voor een overzicht van de verschillende afdelingen en hun kenmerken

locatie gebracht. In het geval van Vers 3 en KW gebeurt dit door reachtruckers, de zogenaamde SWAG-ers. De pallets gaan over het algemeen naar een bufferlocatie in een stelling ("de hoogte in"). Vers 1 en 2 kennen geen expliciete bufferlocaties. Hier zijn de ontvangers zelf verantwoordelijk voor het transport van de roly's of pallets naar de picklocaties. Zij plaatsen de roly's achteraan een roly-locatie of stapelen de fusten in een flowrack. Indien er geen plaats meer is, zal er toch tijdelijk gebufferd moeten worden. Hier zijn echter geen officiële locaties voor, wat betekent dat de roly's dan zolang ergens aan de kant worden gezet. Er zijn dus geen stellingen in deze afdelingen en er wordt in één transportbeweging aangevuld.

A5) Aanvullen

Dit betreft het aanvullen van picklocaties. Dit kan direct vanaf het ontvangsteiland (vers 1 en 2) of vanuit een bufferlocatie (vers 3). In het eerste geval geldt dat het aanvullen in gang gezet wordt door een levering op het ontvangsteiland. In het tweede geval wordt het aanvulproces getriggerd door een (gedeeltelijk) lege picklocatie. Er zijn dan verschillende mogelijkheden:

- o De reachtrucker (SWAGer) die verantwoordelijk is voor het aanvullen van de picklocaties in een bepaald gebied, kan in de mobiele terminal (waarmee de reachtruck is uitgerust) opzoeken welke picklocaties in zijn dienst leeg raken en deze tijdig aanvullen.
- o De reachtrucker dient naar eigen inzicht en op eigen initiatief gedeeltelijk lege locaties aan te vullen.
- o Orderpickers die een lege picklocatie aantreffen dienen dit door te geven aan de reachtrucker door te claxonneren. Indien het product nog voorradig is moet de reachtrucker de locatie direct aanvullen. Hierbij bestaat de mogelijkheid dat een product rechtstreeks vanaf het ontvangsteiland gehaald wordt.

Het daadwerkelijke aanvullen verschilt uiteraard ook afhankelijk van het opslagtype. Voor stellingen (pallets of kom) wordt er simpelweg een nieuwe pallet neergezet. Bij flowracks worden er nieuwe fusten in het betreffende laantje geschoven.

A6) Orderpicken

Orderpicken is het proces waarbij de orderpicker op basis van een ophaalopdracht producten verzameld in het circuit. Het samenstellen van deze opdrachten vindt plaats met behulp van OMEGA en Group-pick. Een opdracht bestaat over het algemeen uit vier rolcontainers of roly's, die gevuld moeten worden met een hoeveelheid colli. Er wordt ookwel simpelweg over karren gesproken. Deze karren worden vervoerd met behulp van een orderpickwagen; de zogenaamde BT. Meestal zijn de vier karren bestemd voor verschillende filialen. Rolcontainers worden gebruikt voor dozen, roly's voor fusten. In het eerste geval worden de dozen zo economisch mogelijk tussen de twee zijanten in opgestapeld. In het tweede geval worden de fusten gestapeld op de roly's (twee fusten per laag). Eventueel moeten losse artikelen in lege fusten worden gedaan. Dit wordt grutten genoemd.

De orderpicker begint met het laden van de ophaalopdracht in zijn scanner bij één van de laadstations. Een opdracht omvat normaalgesproken een beperkt aantal gangen. Steeds wordt per locatie op de scanner aangegeven hoeveel colli op iedere kar geplaatst dient te worden. Fouten worden voorkomen aangezien de orderpicker steeds zowel de locatie als de kar, waar de colli op geplaatst moeten worden, moet scannen. Als alle producten verzameld zijn, meldt de orderpicker de opdracht af bij een laadstation. Tevens draait hij daar labels uit met daarop

de bestemmingsstrekken van de karren. Voor vers 2 14 °C geldt nog dat de rolcontainers eventueel voorzien moeten worden van hoezen als het producten betreft die niet goed bestand zijn tegen lagere temperaturen, zoals bananen (in de koelauto is het ongeveer 2°C). Het proces wordt afgerond door de labels aan de karren te bevestigen en deze op het juiste strek te plaatsen.



Figuur 2.5: Orderpicker bij afmeldkast (op de BT staan roly's met fusten)

A7) Controleren proces

Vanuit de portocabine worden de verschillende processen die plaatsvinden op de vloer ondersteund, gemonitord en gecontroleerd. Het gaat onder andere om het uitgeven van scanners, aanmaken en uitgeven van filiaalnota's, manifesten en zegels en het verwerken van de doorhalingen. Hieronder volgt nog een enkele opmerking over deze laatste activiteit.

Als een product niet voorradig is in de picklocatie, dan scant de orderpicker de locatiecode en geeft op de scanner aan hoeveel colli hij tekort heeft. In principe is er dan ook al gecontroleerd door een reachtrucker of het product nog voorradig is in een bufferlocatie of eventueel op het ontvangsteiland. Dit gebeurt, mede afhankelijk van de drukte, echter lang niet altijd.

Op het moment dat de scanner wordt afgemeld komen deze "niet-aanwezig" meldingen, doorhalingen genoemd, in een wachtrij van Group-pick te staan. In de portocabine worden alle doorhalingen verwerkt door de scannerman. Deze controleert in de voorraadadministratie of de doorhalingen terecht of onterecht zijn. Indien een doorhaling onterecht blijkt te zijn, met andere woorden het product is toch nog voorradig, dan kan de scannerman het product alsnog (laten) toevoegen aan de karren die al op het strek staan en de doorhaling ongedaan maken. Nadat alle doorhalingen verwerkt zijn, draait de scannerman de filiaalnota's uit, waarop precies vermeld staat wat er geleverd gaat worden

A8) Controleren FCDO's

Nadat de rolcontainers, de roly's en de transito- en cross-dock stromen op het strek zijn geplaatst wordt dit gecontroleerd door het dock-team. In hun scanners, die verschillen van de scanners die gebruikt worden bij het orderpicken, staat voor ieder strek hoeveel containers de volgende zending op dat strek bevat en welk type container het betreft (vlees, AGF, zuivel, melk, kaas, LVC of diepvries). Zodra een FCDO is afgemeld, kan deze in principe gecontroleerd worden, maar een controleur wacht over het algemeen tot bijna alle containers op het strek staan. Controleren houdt in dat door middel van het scannen van de FCDO-labels

gekeken wordt of de karren op het juiste strek staan en of alle karren behorende tot de zending aanwezig zijn. Als containers ontbreken of op het verkeerde strek staan, dan moet de controleur passende actie ondernemen. In het uiterste geval is het zelfs mogelijk dat een order opnieuw gepickt moet worden. Het is mogelijk dat er meer containers mee moeten dan in de vrachtwagen passen. De controleur beschikt over een lijst, waarop dit wordt aangegeven. Hij probeert dan om het aantal containers te reduceren door de inhoud te verdelen over andere containers. Dit proces wordt optoppen genoemd en wordt ook geregistreerd door middel van scannen. Ook containers die maar voor een klein gedeelte gevuld zijn moeten opgetopt worden.

A9) Laden

Zodra de FCDO's zijn gecontroleerd kan de vrachtwagenchauffeur beginnen met inladen. Daarbij scant hij de FCDO-labels en daarna een barcode in de vrachtwagen. Zo wordt nogmaals gecontroleerd wordt of alle rolcontainers inderdaad voor het betreffende filiaal (eventueel meerdere filialen) bedoeld zijn en wordt tevens vastgelegd met welke vrachtwagen de containers meegaan. In principe kunnen er dan nooit verkeerde containers meegenomen worden. De polarboxen (diepvries) worden om praktische redenen altijd als eerste geladen. Bij het laden krijgt de chauffeur hulp van zogenaamde laadhulpen. Nadat hij de filiaalnota, het manifest en een zegel heeft opgehaald bij de portocabine, verzegelt de chauffeur de vrachtwagen en vertrekt hij naar het filiaal.

In dit hoofdstuk is aandacht besteed aan de inrichting van de logistieke keten van Albert Heijn en de plaats van DCP daarin. Verder zijn de processen binnen het DC op hoog niveau besproken. In het volgende hoofdstuk zijn de belangrijkste processen afgebakend en wordt het hier opgestelde IDEF-diagram verder uitgewerkt voor deze processen.

Tot slot van dit hoofdstuk zijn in tabel 2.1 de belangrijkste kenmerken van de verschillende stromen binnen de verscentrale van het distributiecentrum weergegeven en laat figuur 2.6 een aantal opslagtypes zien.

	Vers 1: Vlees	Vers 2 2°C: Voorverpakte groente	Vers 2 14°C: Groente en fruit	Vers 3: Zuivel
Temperatuur (°C)	± 0	± 2	± 14	± 2
Oppervlakte (m²)	2.800	3.100	4.500	6.400
Transport-in	Rollend	Pallets	Pallets	Pallets
Primaire ladingdrager	Rolly	Rolly	Rolly Rolcontainer	Rolly Rolcontainer
Secundaire ladingdrager	Fust	Fust	Fust Doos	Fust Doos
Opslagtype	Rolly-locatie (2-8 diep) Flowrack (2x6)	Palletlocatie (blokstapel) Komlocatie Flowrack (1x6, 2x6)	Palletlocatie (blokstapel)	Normaallocatie Komlocatie Flowrack (1x6,2x6,3x6)
Stellingen	Nee	Nee	Nee	Ja
Buffers	Nee	Nee	Nee	Ja

Tabel 2.1: Kenmerken per stroom



Figuur 2.5: Een normaal-locatie, een kom-locatie, een flowrack 2x4 en een flowrack 3x6 (v.l.n.r.)

3. Conceptualisatie

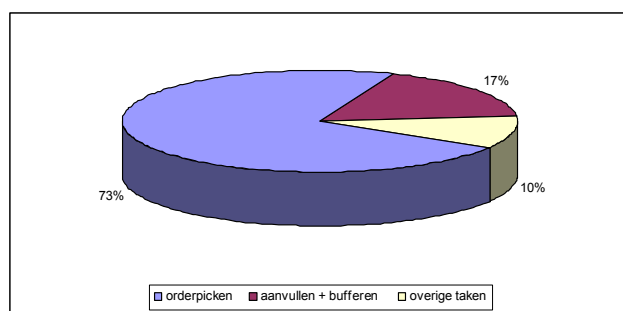
In dit hoofdstuk worden de belangrijkste onderdelen uit de conceptualisatiefase besproken. Begonnen wordt met de afbakening van het onderzoekssysteem. In paragraaf 2 volgt een uitwerking van het begrip capaciteit en relevante andere begrippen. Hier wordt tevens dieper ingegaan op de relatie tussen volumecapaciteit en de oppervlaktecapaciteit. Paragraaf 3 bevat een beschrijving van het objectmodel. In de laatste paragraaf worden de in de afbakening gedefinieerde hoofdprocessen gedetailleerd beschreven met behulp van decomposities van het IDEF-diagram uit hoofdstuk 2.

3.1 Afbakening

Wat betreft de fysieke afbakening van het systeem waarop het onderzoek zich richt, geldt dat het onderzoek zich beperkt tot de fysieke grenzen van het distributiecentrum. Het systeem is begrensd door de invoer en de uitvoer van de producten. Dat wil zeggen dat de aanlevering van een bepaald aantal colli per dag als een gegeven wordt beschouwd. Hetzelfde geldt voor de bestellingen. Producten worden beschouwd vanaf het moment dat ze op het ontvangsteiland staan, totdat ze in een rolcontainer bij een dock staan. Dit betekent dat alleen de processen die binnen het orderpickcircuit worden uitgevoerd, meegenomen worden. Binnen dit orderpickcircuit zijn zoals eerder vermeld drie stromen of afdelingen te onderscheiden. Het onderzoek richt zich met name op het zuivelcircuit, de vers 3 afdeling. Dit circuit is gekozen om een vijftal redenen. Het ruimtegebrek is hier het grootst, het kent de meeste congestieproblemen, het levert de grootste bijdrage aan de omzet, het kent de meest complexe processen en de meeste kansen voor mogelijke verbeteringen liggen in dit circuit. De belangrijkste processen binnen deze stroom zijn:

- Bufferen (transporteren ontvangsteiland - bufferlocatie)
- Aanvullen (transporteren bufferlocatie - picklocatie)
- Orderpicken (transporteren picklocatie - dock)

De keuze voor deze processen kan mede verantwoord worden door te kijken naar figuur 3.1. Daarin wordt de verdeling van de alle operationele uren over de verschillende processen weergegeven. Bufferen, aanvullen en orderpicken blijken ongeveer 90% van de totale uren uit te maken.



Figuur 3.1: Verdeling totale operationele uren over de processen

Het onderzoek richt zich op de capaciteit van het orderpickproces. De inrichting van de andere twee processen (bufferen en aanvullen) en de interactie tussen alledrie de processen

beïnvloeden deze capaciteit. Dit betekent dat de overige processen uit figuur 2.4 niet meegenomen worden in het onderzoek. Ook transito en cross-dock stromen maken hier geen onderdeel van uit. Dit zijn specifieke processen die buiten het orderpickcircuit plaatsvinden. Echter, ook processen die wel binnen het circuit, maar buiten de orderpicktijden plaatsvinden, zoals verhuizingen, vallen buiten de afbakening. In meer algemene termen geldt dat de herbevoorradsingsstromen en de orderpickstromen worden meegenomen, de cross-dockstromen en de verhuizingen niet.

Het is mogelijk dat de bottleneck van het gehele proces zich buiten het nu afgebakende systeem bevindt. Voor het onderzoek is dit echter niet relevant. Dit richt zich op de bepaling van de capaciteit van het orderpickproces, en dus op de bottleneck van dat proces.

3.2 Definiëring capaciteit

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan het begrip capaciteit en de interpretatie waarvoor binnen het kader van dit onderzoek gekozen wordt. In paragraaf 3.2.1 worden allereerst definities gegeven van de verschillende in relatie tot de capaciteit belangrijke begrippen. Vervolgens wordt in de tweede paragraaf de relatie tussen de oppervlaktecapaciteit en de volumecapaciteit nader uitgewerkt. Dit geeft tevens het verschil in insteek tussen dit onderzoek en de activiteiten van de eerdergenoemde projectgroep aan.

3.2.1 Definities

Er worden twee verschillende capaciteitsbegrippen onderscheiden; de oppervlaktecapaciteit en de volumecapaciteit. In beide gevallen kan er een capaciteitsbezetting worden bepaald. De capaciteitsbezetting in vierkante meters kan bepaald worden op basis van het hulpmiddel dat geconstrueerd is door de projectgroep. Hieruit kunnen dan conclusies getrokken worden over de noodzaak tot uitbreiding van het vloeroppervlak. Deze capaciteit wordt in deze paragraaf kort besproken. Dit onderzoek richt zich op de vaststelling van de volumecapaciteit. Hiermee kan getoetst worden of de vastgestelde benodigde oppervlakte ook werkbaar is. Beide capaciteiten en andere relevante definities komen hieronder aan de orde. Deze definities zijn gebaseerd op informatie verkregen uit de projectgroep, literatuur en eigen inzichten. De geldigheid is dientengevolge beperkt tot dit rapport.

○ *Oppervlaktecapaciteit*

Dit is de oppervlakte (m^2) binnen een bepaalde stroom van de verscentrale beschikbaar voor het orderpickproces. Deze oppervlakte wordt aangeduid met de term productieruimte. De productieruimte bestaat uit de picklocaties (inclusief eventuele stellingen) plus de bijbehorende pickgangen. Dit is slechts een gedeelte van de verscentrale; de gehele bruto-oppervlakte van de verscentrale bestaat verder uit:

- Ruimte voor verkeersstromen: ruimte voor de stromen tussen de laad- en afmeldpunten, de verschillende afdelingen (Vers 1, 2 en 3) en de strekken (pickgangen horen hier dus niet bij).
- Strekruimte: de ruimte voor de laaddocks waar de zendingen klaargezet worden.
- Ontvangst / bufferruimte: de ontvangsteilanden aan de achterkant van het DC.
- Overige ruimte: alle overige benodigde ruimtes, onder andere ruimte voor portocabines, containerbanen, polarboxen, melkcricken en kantoren.

Ieder gedeelte van de verscentrale kan toegewezen worden aan één van bovenstaande ruimtes. De oppervlaktecapaciteit is in principe gelijk aan de oppervlakte van de productieruimte.

○ *Oppervlaktecapaciteitsbezetting*

De theoretische capaciteitsbezetting (in m²) van iedere stroom (of ophaalgebied indien gewenst) kan bepaald worden met:

$$capaciteitsbezetting = \frac{\sum_x \text{tot. \# benodigde locaties}_x * \text{oppervlakte}_x}{\text{oppervlakte productieruimte}} \quad (3.1)$$

waarbij,

$$x = \begin{matrix} \text{indicator opslagtype} \\ \text{tot. \# benodigde locaties}_x = \text{aantal benodigde locaties van opslagtype } x + \\ \text{aantal benodigde extra vrije locaties van opslagtype } x \end{matrix}$$

Slotting is de activiteit waarbij ieder product op basis van de omzet en enkele andere criteria wordt toegewezen aan een bepaald opslagtype. Ieder opslagtype heeft een bepaalde benodigde oppervlakte. Per opslagtype wordt de totaal benodigde oppervlakte bepaald door het aantal benodigde locaties te vermenigvuldigen met de benodigde oppervlakte voor dat opslagtype. Optellen van alle benodigde oppervlaktes per opslagtype levert dan de totaal benodigde productieruimte. Daarbij moet natuurlijk rekening worden gehouden met het feit dat een locatie boven een andere locatie, bijvoorbeeld een kom-locatie of een flowrack geen extra grondoppervlak vergt. Daarnaast moet het aantal benodigde locaties in verband met fluctuaties en acties verhoogd worden met een aantal extra vrije locaties. Het aantal benodigde vrije locaties is een percentage van het aantal benodigde locaties voor alle producten. Dit percentage dient arbitrair vastgesteld te worden.

Met behulp van bovenstaande berekening kan bepaald worden wat de oppervlaktecapaciteit is en hoeveel daarvan theoretisch nog beschikbaar is. Bovenstaande berekening gaan uit van de ideale situatie dat ieder product altijd in het voor dat product ideale opslagtype wordt opgeslagen. Dit is niet realistisch, omdat bij de indeling van een DC met nog veel meer criteria rekening gehouden moet worden (bijvoorbeeld assortimentsvolgorde, gewicht en afmetingen van producten) en wisselen van opslagtype praktisch gezien slechts beperkt mogelijk is. De werkelijke capaciteitsbezetting zal dus altijd hoger uitvallen dan de theoretische.

○ *Productiviteit*

Dit is het aantal colli dat per tijdseenheid in een bepaalde ruimte geproduceerd wordt. Er kan onderscheid worden gemaakt in:

- individuele productiviteit: de output (colli per tijdseenheid) van één orderpicker
- totale productiviteit: de output (colli per tijdseenheid) van alle orderpickers samen
- maximale productiviteit: de maximale totale productiviteit (colli per tijdseenheid).
- marginale productiviteit: de toegevoegde waarde (colli per tijdseenheid) van één extra orderpicker

De maximale productiviteit is per definitie gelijk aan de volumecapaciteit.

○ *Productiviteitsnorm of ophaalnorm*

Dit is de norm die per stroom is vastgesteld voor de individuele productiviteit van een orderpicker.

○ *Volume capaciteit*

Dit is het maximale aantal colli dat per tijdseenheid in een bepaalde ruimte geproduceerd kan worden. De volume capaciteit is per definitie gelijk aan de maximale productiviteit.

○ *Volume capaciteitsbezetting*

Dit is het gedeelte van de beschikbare volume capaciteit dat gedurende een bepaalde tijdsperiode benut is. Dit kan op de volgende manier berekend worden:

$$\text{capaciteitsbezetting} = \frac{\text{werkelijke totale productiviteit}}{\text{maximale productiviteit}} \quad (3.2)$$

○ *Pickdichtheid*

Dit is het aantal colli dat per tijdseenheid per gebied gepickt wordt (in colli/m of colli/m²). Onderscheid kan gemaakt worden in:

- pickdichtheid van een locatie of sectie
- pickdichtheid van een gang

De pickdichtheid van een locatie is gelijk aan het pickvolume per product in een gegeven tijdsperiode.

○ *Pickvolume*

Dit is het aantal colli dat per tijdseenheid in een bepaald gebied gepickt wordt (in colli). Er kan onderscheid worden gemaakt in:

- pickvolume per product: productie (colli per tijdseenheid) van één bepaald product (dus: hardloper of zachtloper)
- pickvolume per ophaalgebied of stroom: productie (colli per tijdseenheid) van één ophaalgebied of stroom
- totale pickvolume: productie (colli per tijdseenheid) van alle producten samen

Het pickvolume per product is gelijk aan de pickdichtheid van een locatie (behalve bij facings). Het totale pickvolume is gelijk aan de totale productiviteit.

Afhankelijk van de situatie zijn pickdichtheid en pickvolume uitwisselbaar. Het verschil is dat pickdichtheid gebruikt wordt als het gaat om de productie in relatie tot de oppervlakte, terwijl pickvolume vooral betrekking heeft op de productie per gang of per stroom.

○ *Opslagcapaciteit*

Dit is het aantal colli dat in een bepaald opslagtype opgeslagen kan worden.

○ *Aanlevervolume*

Dit is het aantal colli dat per levering geleverd wordt.

○ *Aanvulvolume*

Dit is het aantal colli dat per keer aangevuld wordt. Dit is maximaal gelijk aan de opslagcapaciteit van de betreffende picklocatie. Indien geen buffering wordt toegepast, dan is het aanvulvolume gelijk aan het aanlevervolume.

○ *Aanleverfrequentie*

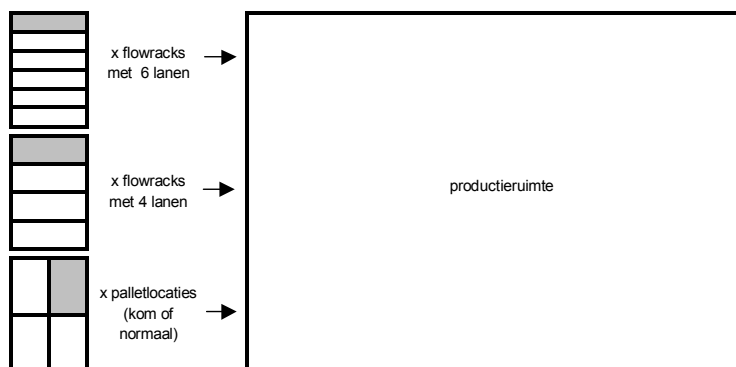
Dit is het aantal keer per week dat een product wordt geleverd. De aanleverfrequentie is afhankelijk van de omzet van het artikel en het soort locatie dat het artikel heeft.

○ *Aanvulfrequentie*

Dit is het aantal keer per dienst dat een picklocatie wordt aangevuld. Indien geen buffering wordt toegepast, is de aanvulfrequentie gelijk aan de aanleverfrequentie. Indien er wel gebufferd wordt dan is de aanvulfrequentie afhankelijk van de gehanteerde aanvulmethode.

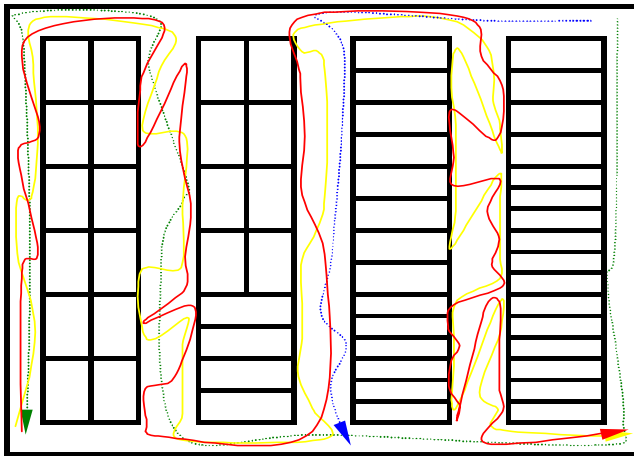
3.2.2 Relatie oppervlakte- en volumecapaciteit

De oppervlaktecapaciteitsbezetting geeft aan hoeveel van de beschikbare ruimte bezet wordt gegeven het aantal producten dat opgeslagen moet worden en het opslagtype dat voor ieder van die producten gebruikt wordt. Ieder opslagtype heeft een bepaalde ruimte nodig. Simpel gezegd moet ieder opslagtype dus x keer in de productieruimte ingepast worden. Zie figuur 3.2, waar dit schematisch wordt weergegeven.



Figuur 3.2: Schematische weergave oppervlaktecapaciteit

Hoe de productieruimte wordt ingericht wordt niet meegenomen bij deze berekening. Dat bij de inrichting met een groot aantal criteria rekening gehouden moet worden, werd al eerder vermeld. Het berekenen van de volumecapaciteit gaat dan ook een stap verder. De indeling van de verscentrale is dan een belangrijke randvoorwaarde. Daarbinnen vindt het orderpicken en het aanvullen plaats en dat resulteert in de output, de totale productie. Vergelijken van de totale productie met de maximale totale productie levert de volumecapaciteitsbezetting. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.3, waar de productieruimte op een bepaalde manier is ingericht en een aantal trajecten van orderpickers en aanvullers is ingetekend. Het is slechts een indicatief voorbeeld, maar het wil zeggen dat er om de volumecapaciteit te bepalen verder gekeken moet worden dan de toewijzing van opslagtypen. Het gaat om de uiteindelijke invulling van het proces en de interacties daarin, die tezamen de totale productiviteit en dus ook het maximum daarvan bepalen.



Figuur 3.3: Schematische weergave volume capaciteit

3.3 Objectmodel

Om te komen tot een éénduidig vocabulaire dat alle elementen die van belang zijn voor het onderzoek bevat, is een objectmodel geconstrueerd. Hierin kunnen alle relevante objecten en attributen binnen het afgebakende systeem terug gevonden worden. Het objectmodel is te vinden in bijlage 3. Tijdens de modelconstructie is het gebruikt bij het inbouwen van entiteiten en attributen in het model.

3.4 Procesanalyse: Activiteiten in het DC

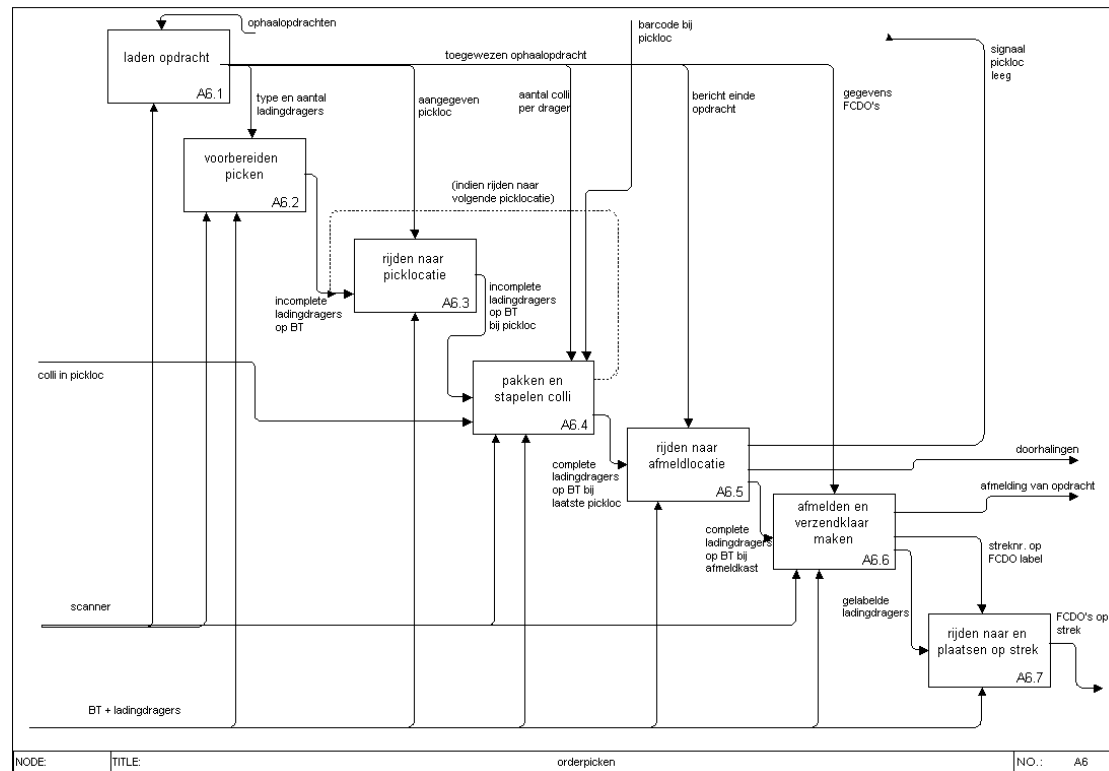
In de eerder gemaakt afbakening werden drie hoofdprocessen onderkend:

- Aanvullen bufferlocatie
- Aanvullen picklocatie
- Orderpicken

Omdat de output van het orderpickproces de productiviteit weergeeft en daarmee dus bepalend is voor de capaciteit, wordt de aandacht in eerste instantie gericht op dit proces in paragraaf 3.4.1. Daarna worden het samenstellen en uitgeven van de ophaalopdrachten en de organisatie van het orderpickproces behandeld. In de paragrafen 3.4.4 en 3.4.5 worden tot slot de twee aanvulactiviteiten besproken.

3.4.1 Orderpicken

In deze paragraaf zal ingezoomd worden op het orderpicken zoals dat in een DC van Albert Heijn plaatsvindt. In figuur 3.4 is activiteit A6 "orderpicken" uit het IDEF-diagram van hoofdstuk 2 verder uitgewerkt.



Figuur 3.4: A6 Decompositie "orderpicken"

Deze decompositie laat de stappen uit het orderpickproces zien. In het vervolg van deze paragraaf worden ze beschreven.

A6.1) Laden opdracht

De orderpicker plaatst zijn scanner in de laadcradle van een afmeldkast. Er wordt dan automatisch een nieuwe opdracht voor de betreffende stroom in de scanner geladen.

A6.2) Voorbereiden picken

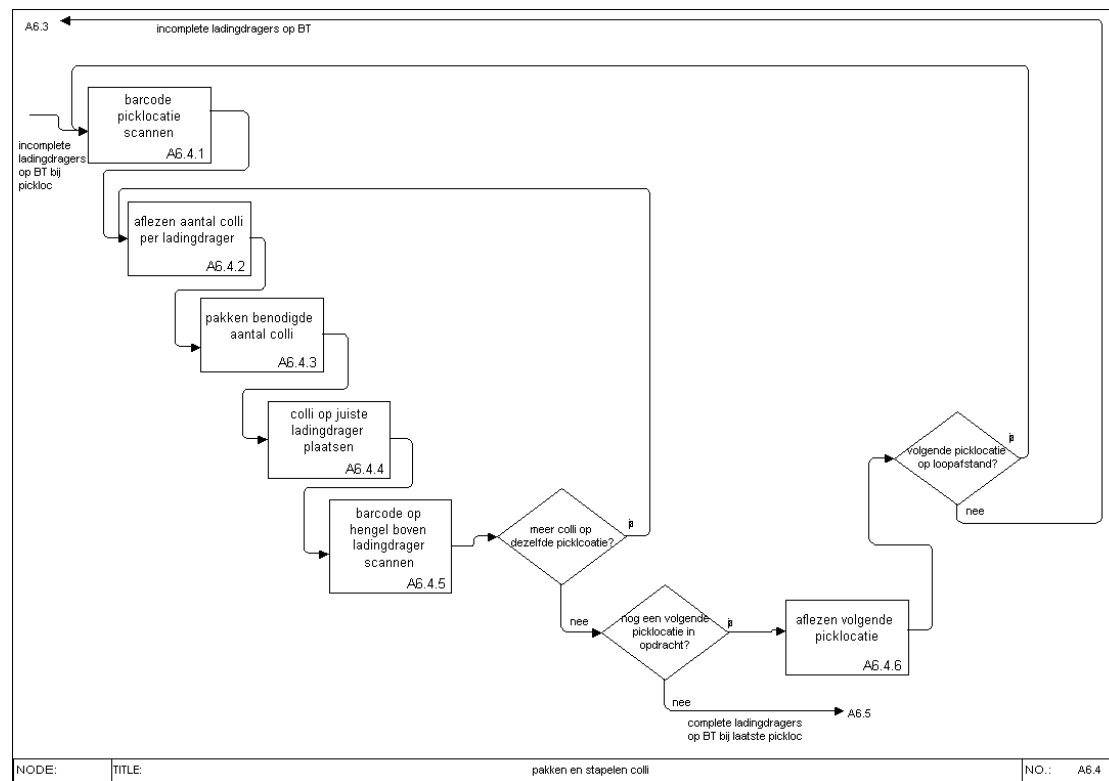
Aan het begin van zijn dienst pakt iedere orderpicker een BT en scant deze. De opdrachten die hij zal lopen worden dan gekoppeld aan deze BT. Voor iedere nieuwe opdracht begeeft de orderpicker zich naar de opslagplaats van de ladingdragers. Het aantal benodigde ladingdragers hangt van de opdracht af. In principe wordt er naar gestreefd om opdrachten van vier ladingdragers samen te stellen. Afhankelijk van de opdracht plaats hij vervolgens het juiste aantal roly's of rolcontainers op de lepels van de BT. De zwenkende wieltjes van de ladingdragers dienen daarbij aan dezelfde kant geplaatst te worden, zodat het wegzetten makkelijker is. De ladingdragers worden in dit verband FCDO's genoemd, aangezien op iedere drager colli voor een bepaald filiaal geplaatst zullen gaan worden.

A6.3) Rijden naar picklocatie

De orderpicker leest de picklocatie af van de scanner en rijdt hier naartoe. Hij stopt in de buurt van deze picklocatie. Waar hij precies stopt is afhankelijk van het andere verkeer in de gang, van de volgende picklocatie die onderdeel uitmaakt van de opdracht en van de werkwijze van de orderpicker. De volgende locatie is overigens niet zichtbaar op het scherm van de scanner. Een ervaren orderpicker zal echter weten wat waarschijnlijk de volgende locatie is en hier zijn gedrag op aanpassen.

A6.4) Pakken en stapelen colli

Omdat deze activiteit veel verschillende deelhandelingen omvat is hiervan ook een decompositie gemaakt die hieronder in figuur 3.5 is weergegeven.



Figuur 3.5: A6.4 Decompositie "pakken en stapelen colli"

Om triviale gegevens te vermijden en de overzichtelijkheid te bevorderen is dit diagram niet volgens de IDEF-methode opgesteld, maar vormgegeven als een eenvoudig procesdiagram met activiteiten en beslismomenten.

De orderpicker begeeft zich naar de volgende te picken locatie en scant de barcode die is opgeplakt bij die picklocatie. Vervolgens ziet hij op het scherm van de scanner hoeveel colli van die locatie hij voor de eerste ladingdrager (rolly of rolcontainer) moet pakken. Hij pakt het benodigde aantal colli voor deze ladingdrager en stapelt deze op de drager. Daarna scant hij de barcode behorende bij de drager. Indien er nog colli voor andere ladingdragers van deze locatie gepickt moeten worden, herhaalt hij deze stappen. Overigens ziet de orderpicker als eerste het totaal aantal colli voor alle karren samen, dat van de picklocatie gepakt moet worden. Indien het gewicht en de afstand dit naar inschatting van de orderpicker toelaten, kan hij het aantal keer lopen tussen de BT en de picklocatie verkleinen door de colli voor meerdere karren tegelijk mee te nemen. Nadat hij alle colli van de picklocatie heeft gepakt en de laatste ladingdrager heeft gescand, verschijnt de volgende picklocatie in het scherm. De orderpicker besluit dan, voornamelijk op basis van de af te leggen afstand naar deze locatie, of hij gaat lopen of dat hij met de BT naar de locatie rijdt. In het laatste geval doorloopt hij eerst opnieuw activiteit 6.3 voordat hij overgaat tot het pakken en stapelen van de colli uit deze locatie. Dit proces wordt herhaald totdat alle colli van de ophaalopdracht gepakt zijn. Dan verschijnt de melding "alle colli verzameld" in het scherm.

Indien een orderpicker een onjuiste barcode scant, dan resulteert dit in een melding op het scherm en een geluidssignaal. Tevens geeft de scanner aan wat er dan wel gescand moet

worden. Ook verschijnt er een extra mededeling op het scherm als de orderpicker van gang moet verwisselen.

A6.5.) Rijden naar afmeldlocatie

Als alle colli gepakt zijn, rijdt de orderpicker naar de dichtstbijzijnde afmeldkast.

A6.6) Afmelden en verzendklaar maken

Bij de afmeldkast plaatst de orderpicker de scanner in de afmeldcradle. Dan worden de FCDO's gereed gemeld voor controle aan het systeem (OMEGA). Voor iedere FCDO wordt een label afgedrukt met daarop het docknummer, het streknummer, het filiaalnummer en het FCDO-nummer. De orderpicker bevestigt deze labels aan de juiste FCDO's. Vervolgens scant hij voor iedere FCDO de barcode op de hengel boven de FCDO en het FCDO-nummer op het label.

A6.7) Rijden naar en plaatsen op strek

Daarna rijdt hij langs alle streknummers die zijn aangeven op de labels en plaatst daar de betreffende FCDO op het strek.

Nadat de orderpicker alle FCDO's op strek heeft gezet begint hij aan de nieuwe opdracht. Omdat het laden en het afmelden van een opdracht bij dezelfde kast plaatsvindt, zal hij gedurende zijn dienst over het algemeen meteen een nieuwe opdracht laden nadat hij de vorige heeft afgemeld. Hij zal dan daarna pas de FCDO's van de vorige opdracht wegzetten. Vervolgens gaat hij meteen door met activiteit 6.2 "voorbereiden picken".

3.4.2 Samenstellen en uitgeven van ophaalopdrachten

In de vorige paragraaf is het orderpickproces beschreven, zoals dat wordt uitgevoerd door de orderpickers. In deze paragraaf komen het samenstellen en het uitgeven van de ophaalopdrachten aan de orde. Het samenstellen van de ophaalopdrachten vindt plaats in twee stappen. Eerst worden de FCDO's samengesteld, vervolgens worden deze FCDO's gecombineerd tot ophaalopdrachten.

De bestellingen van de filialen vormen de input voor het samenstellen van de FCDO's. Deze bestellingen komen in de vorm van orderregels binnen op het hoofdkantoor in BEVER. Iedere orderregel geeft aan hoeveel colli van een bepaald product het filiaal wil ontvangen. Op vaste tijden worden de orderregels bestemd voor DCP naar de OMEGA, het warehouse management systeem van DCP, doorgezet. Dit wordt blitsen genoemd. De blitstijden zijn zodanig gekozen dat de bijbehorende bestellingen op tijd geproduceerd kunnen worden. OMEGA gaat op basis van de orderregels de FCDO's voor ieder filiaal samenstellen. OMEGA beschikt daartoe over het breakgewicht en breakvolume van een rolcontainer of rolluik. Verder zijn voor alle locaties het gewicht en volume van de daar opgeslagen producten bekend. Binnen een ophaalgebied sorteert OMEGA alle locaties waar iets gepickt moet worden op de gehanteerde loopvolgorde. Vervolgens wordt bepaald bij welke picklocatie het breakgewicht of -volume bereikt wordt. Daarna wordt begonnen aan de volgende FCDO, totdat alle te picken locaties in het ophaalgebied toegewezen zijn aan een FCDO.

Nadat de FCDO's zijn samengesteld, worden deze geformeerd tot ophaalopdrachten. Daartoe worden ze doorgestuurd naar Group-pick. Dit programma combineert de FCDO's tot opdrachten van in principe vier FCDO's. Daartoe kijkt het naar de picklocaties die aangedaan moeten worden en de uiterste tijd dat de FCDO's op strek moeten staan (LTS- of strektijd). Het formeren komt neer op het zoeken naar de beste combinatie van FCDO's. De beste combinatie is de combinatie met het hoogst aantal gemeenschappelijke locaties, waarbij de LTS-tijden van de combinatie binnen een bepaald venster blijven. Bij Vers wordt een LTS-venster van een half uur gehanteerd. Simpel gezegd combineert Group-pick dus FCDO's die in hetzelfde gedeelte van het ophaalgebied gepickt moeten worden en ongeveer tegelijkertijd op strek moeten staan. Dit met als doel de af te leggen afstand voor een orderpicker zo klein mogelijk te houden. Over het algemeen zal dit tot ophaalopdrachten leiden, die bestaan uit FCDO's voor verschillende filialen. Deze wijze van samenstellen kent ook een belangrijk nadeel. Group-pick kijkt alleen naar het percentage gelijke locaties. Dit betekent dat er grote gaten in de opdrachten kunnen ontstaan. Het programma minimaliseert dus niet zo zeer het aantal stops en de afstand, maar het maximaliseert het aantal gelijke locaties en dat leidt over het algemeen tot korte afstanden en een beperkt aantal stops. De grootte van het LTS-venster heeft invloed op de kwaliteit van de opdrachten die geformeerd kunnen worden. Met een groter venster kunnen er betere opdrachten worden samengesteld, omdat Group-pick dan meer mogelijkheden heeft. Echter, hierdoor komen sommige FCDO's veel te vroeg op strek te staan, wat leidt tot verwarring bij het laden en tot volle strekken.

De ophaalopdrachten worden uitgegeven door verschillende laadcraddles, die zich in de afmeldkasten bevinden. Een laadcraddle bevindt zich altijd in het circuit behorende bij een bepaalde stroom en geeft alleen opdrachten voor die stroom uit. De volgorde waarin de opdrachten – per stroom – worden uitgegeven wordt bepaald door de uiterste uitgiftetijd van de opdrachten. Deze uitgiftetijd wordt aan de hand van de LTS-tijd bepaald. Daarvoor wordt de geplande doorlooptijd, de tijd die een orderpicker naar verwachting nodig heeft om de ophaalopdracht uit te voeren, van de LTS-tijd afgetrokken. De doorlooptijd wordt bepaald met behulp van de volgende parameters:

- vaste tijd per opdracht: voor laden en afmelden van de opdracht en diverse verstoringen
- vaste tijd per FCDO: voor het opzetten van ladingdragers
- stoptijd: gemiddelde tijd per stop benodigd voor afremmen en optrekken
- paktijd per collo: gemiddelde tijd nodig om een collo te pakken en op een kar te plaatsen
- rijsnelheid BT
- ganglengte (inclusief bochten)
- Delta-lokatie: met behulp van deze parameter kan bepaald worden wat, gegeven de eerste locatie, de laatste locatie van een stop is. Zo wordt theoretisch het aantal stops bepaald.

In tabel 3.1 staan de gehanteerde waarden voor de ophaalgebieden in vers 3 weergegeven. (De ganglengte verschilt per gang en is daarom niet weergegeven.)

ophaal- gebied	vaste tijd per opdracht (sec)	vaste tijd per FCDO (sec)	stoptijd (sec)	paktijd per collo (sec)	rijdsnelheid (mm/sec)	Delta
31 (rolly)	343	25	6	12	2000	6
32 (container)	466	66	6	13	2000	6

Tabel 3.1: Parameters in Group-pick voor vers 3

De doorlooptijd van een ophaalopdracht wordt dan als volgt berekend:

$$\text{vaste tijd per opdracht} + (\text{vaste tijd per FCDO} * \text{aantal FCDO's}) + \Sigma(\text{ganglengte/snelheid}) + (\text{paktijd per collo} * \text{aantal colli}) + (\text{stoptijd} * \text{aantal stops})$$

De opdrachten worden vervolgens per stroom op volgorde van de uiterste uitgiftetijd van de vroegste FCDO in de opdracht uitgegeven. Er wordt bij de uitgifte dus geen rekening gehouden met de spreiding van de orderpickers in het circuit

3.4.3 Organisatie van het orderpickproces

De verscentrale is opgedeeld in drie stromen; vers 1, 2 en 3. Daarbinnen zijn er verschillende ophaalgebieden bestaande uit een aantal orderpickgangen. Per stroom wordt ieder dag op basis van de verwachte omzet (=gewenste productie) een aantal orderpickers ingezet. Daartoe wordt de verwachte omzet gedeeld door de ophaalnorm die geldt voor die stroom. De ophaalnorm geeft aan hoeveel colli een orderpicker gemiddeld per uur moet picken. De ophaalnorm is constant en onafhankelijk van het aantal orderpickers dat ingezet wordt. De orderpickers werken in de volgende diensten:

- o nacht: 23:00 - 07:00 uur
- o dag I: 07:00 - 15:30 uur
- o dag II: 08:00 - 16:30 uur

In principe doet iedere dienst ongeveer 1/3 deel van de totale dagproductie. Omdat de gewenste productie niet gelijk loopt met de inzet van de orderpickers is voorproductie noodzakelijk. Voor de nachtdienst betekent dit bijvoorbeeld dat een groot gedeelte van de ochtendproductie aan het eind van de nacht al klaar moet zijn.

Het aantal orderpickers dat tegelijkertijd in het circuit aanwezig kan zijn, is beperkt in verband met de hinder die de pickers van elkaar ondervinden. Het maximale aantal dat wordt aangehouden is grotendeels op gevoel en ervaring bepaald. In tabel 3.2 staat een en ander weergegeven per stroom.

	Vers 1	Vers 2	Vers 3
Gemiddelde omzet per week (colli)	125.790	263.532	318.704
Gem. aantal ophaaluren per week	341	1653	2859
Gem. ophaalproductiviteit (colli/pp/uur)	386	157	123
Ophaalnorm (colli/pp/uur)	210	155	160
Max. aantal orderpickers (per dienst)	10	35	45

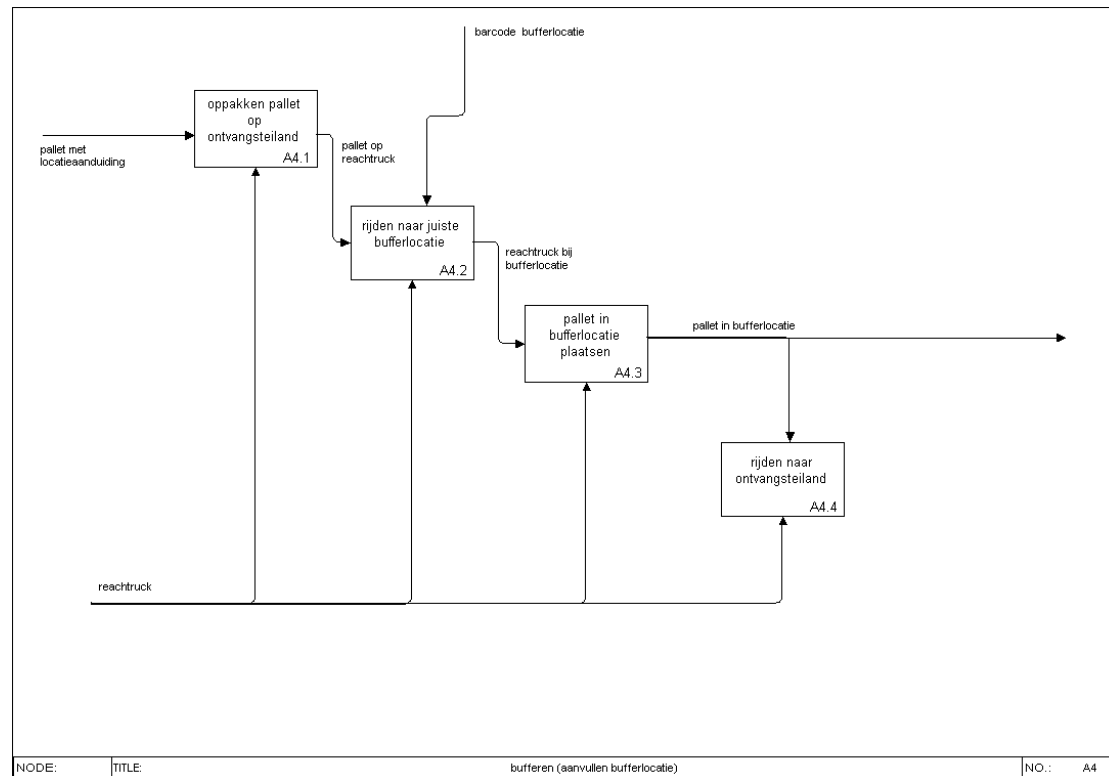
Tabel 3.2: Kentallen per stroom

De ophaaluren zijn gebaseerd op de klokgegevens van de medewerkers. Omdat de klokdiscipline te wensen over laat en het regelmatig voorkomt dat medewerkers bij vers 3

klokken, maar worden ingezet op vers 1, moeten de gegevens met de nodige voorzichtigheid bekeken worden. Duidelijk is dat de productiviteit van vers 1 hierdoor veel te hoog ligt en die van vers 3 te laag.

3.4.4 Aanvullen bufferlocatie

De activiteit A4 "bufferen" uit het A0 diagram in figuur 2.4 op blz. 15 is in de onderstaande figuur uitgesplitst in vier deelactiviteiten. Beschreven is de manier waarop deze activiteit in vers 3 wordt uitgevoerd.



Figuur 3.6: Decompositie A4 "bufferen"

A4.1) Oppakken pallet

Het bufferproces wordt in gang gezet door een levering. Nadat de controle heeft plaatsgevonden, de dragers zijn ingeboekt en een label met de bestemming op iedere drager is aangebracht, begint het aanvulproces. De aanvuller pakt de eerste pallet op met behulp van een reachtruck.

A4.2) Rijden naar juiste bufferlocatie

Vervolgens rijdt hij naar de bufferlocatie die staat aangegeven op het label van de pallet.

A4.3) Pallet in bufferlocatie plaatsen

Daar aangekomen plaats de reachtruck de pallet in de betreffende bufferlocatie. Hiervoor draait hij de reachtruck dwars in de gang, heft de pallet op de vereiste hoogte, schuift de pallet in de locatie en laat de lepels van de reachtruck weer dalen.

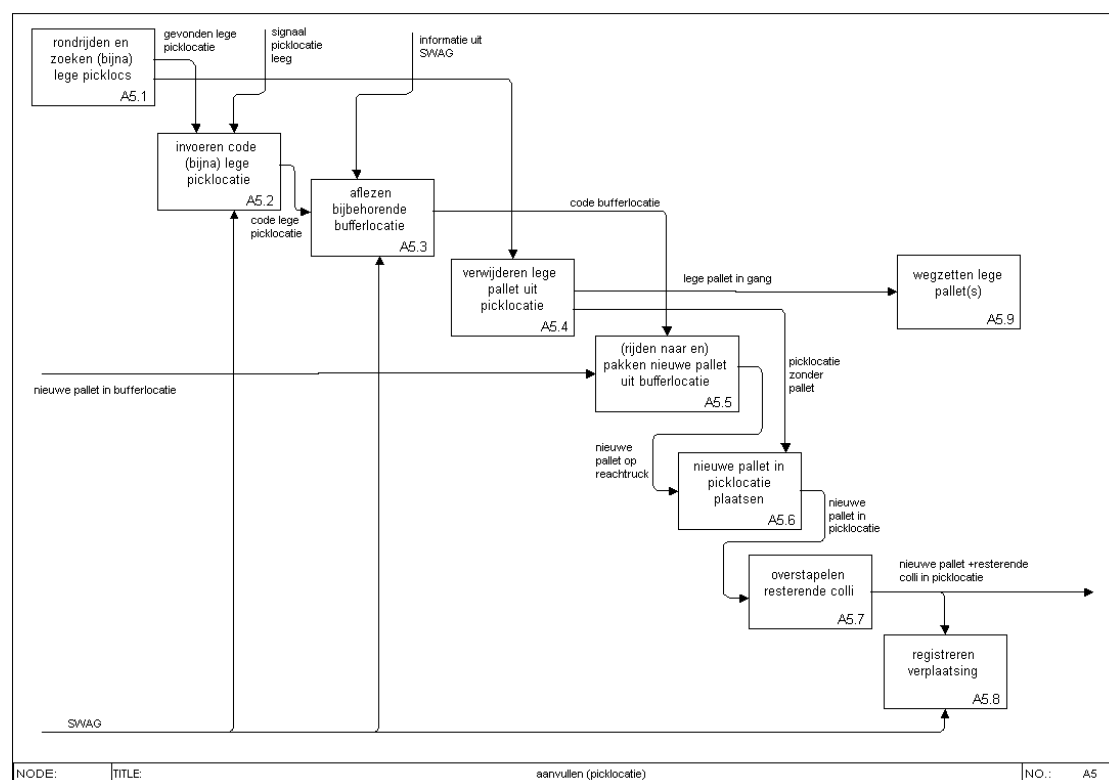
A4.4) Rijden naar ontvangsteiland

Nadat hij de pallet in de bufferlocatie heeft geplaatst, rijdt de reachtrucker terug naar het ontvangsteiland en is dan gereed om de volgende pallet weg te gaan zetten.

De verplaatsing van de pallet wordt dus niet geregistreerd door de reachtrucker. Dit gebeurt al op het moment dat de inboekter de pallet inboekt en het label met de bufferlocatie aanduiding uitdraait.

3.4.5 Aanvullen picklocatie

In figuur 3.7 wordt de decompositie van activiteit A5 "aanvullen" weergegeven. Opnieuw gaat hierbij de aandacht uit naar de manier waarop deze activiteit in vers 3 wordt uitgevoerd.



Figuur 3.7: Decompositie van A5 "aanvullen"

De volgende deelactiviteiten worden onderscheiden:

A5.1) Rondrijden en zoeken (bijna) lege picklocaties

De eerste manier waarop het aanvullen van een picklocatie getriggerd wordt is het zelf constateren door de reachtrucker dat een picklocatie aangevuld moet worden. Deze manier wordt vooral toegepast tijdens de aanvuldienst (zie verderop in deze paragraaf) als er geen of weinig orderpickers in het circuit zijn. De reachtrucker (SWAGer) rijdt door een gang en vult alle locaties, indien nodig, aan.

A5.2) Invoeren (bijna) lege picklocatie

De tweede manier waarop het aanvullen getriggerd kan worden vereist geen activiteit van de SWAGer, maar een signaal van de orderpicker, die constateert dat een picklocatie leeg is.

Deze manier komt vooral voor tijdens de orderpickdiensten. Aangestuurd door één van beide manieren voert de SWAGer de locatiecode van de betreffende picklocatie in op de mobiele SWAG terminal.

A5.3) Aflezen bijbehorende bufferlocatie

Vervolgens toont de terminal de bufferlocatie, waar de nieuwe pallet van het betreffende product zich bevindt, zodat de SWAGer weet waar hij heen moet.

A5.4) Verwijderen lege pallet uit picklocatie

Om de nieuwe pallet in de picklocatie te kunnen plaatsen, moet eerst de (bijna) lege pallet uit de stelling gehaald worden. Deze plaats de reachtrucker over het algemeen tijdelijk in de gang.

A5.5) (Rijden naar en) pakken pallet uit bufferlocatie

De SWAGer begeeft zich naar de op het scherm van de terminal aangegeven bufferlocatie. Vaak is deze dichtbij de picklocatie en zal er meer sprake zijn van positioneren voor de bufferlocatie dan dat hij echt moet rijden om er te komen. Daar aangekomen pakt hij de pallet uit de bufferlocatie.

A5.6) Nieuwe pallet in picklocatie plaatsen

Nadat hij de nieuwe pallet gepakt heeft, begeeft de SWAGer zich weer naar de picklocatie en plaatst de nieuwe pallet er in. Eventueel verwijdt hij eerst de folie van de pallet.

A5.7) Overstapelen resterende colli

Als de oude pallet nog niet helemaal leeg is, dan stapelt de SWAGer de resterende colli over op de nieuwe pallet.

A5.8) Registreren verplaatsing

Als de SWAGer de pallet vanuit de bufferlocatie naar de picklocatie heeft overgebracht moet dit geregistreerd worden in OMEGA, zodat de bufferlocatie vrij komt en het voorraadniveau in de picklocatie vergroot wordt met het aantal colli dat zich op de nieuwe pallet bevindt. De SWAGer doet dit door de verplaatsing in te voeren in de terminal op de reachtruck.

A5.9) Wegbrengen lege pallet

Zo nu en dan zet de reachtrucker alle lege pallets weg aan de zijkant van het circuit.

Bovenstaande beschrijving geldt voor het aanvullen van normaal- en komlocaties. Het aanvullen van flowracks gaat iets anders. Indien een flowrack aangevuld moet worden, dan hoeft er geen lege pallet verwijderd te worden, en in plaats van het plaatsen van de nieuwe pallet in de locatie, stapelt de SWAGer de fusten (of eventueel dozen) vanaf de pallet in het flowrack (altijd vanaf de achterkant van het flowrack). Overstapelen van resterende colli is niet nodig, die kunnen gewoon vooraan in het flowrack blijven staan. Wel zal de SWAGer de aanvulpallet eventueel terug moeten zetten in de bufferlocatie, indien niet alle producten in het flowrack passen. In de praktijk worden de colli die niet passen vaak achter het flowrack neergezet. Dit is echter niet wenselijk. Het registreren van de verplaatsing is iets

gecompliceerder, omdat in dit geval het aantal aangevulde colli geregistreerd moet worden in plaats van de hele pallet.

In het algemeen is de volgorde van de deelactiviteiten niet erg strikt en afhankelijk van de werkwijze van de SWAGer. Zo kan het registreren ook op een andere moment in de cyclus plaatsvinden en kan de SWAGer kiezen of hij eerst de oude pallet verwijdt of eerst de nieuwe pakt. Ook het tijdstip waarop er wordt aangevuld is van belang. Tijdens de aanvuldienst zijn er geen of weinig orderpickers, waardoor de SWAGer veel meer tijd en ruimte heeft en systematisch de gang kan aanvullen. Tijdens de orderpickdiensten zullen de activiteiten veel meer ad hoc zijn.

Organisatie van het aanvulproces

Beiden aanvulprocessen worden uitgevoerd door een team reachtruckers gedurende de drie orderpickdiensten. Daarnaast is er een speciale aanvuldienst van 14:30 tot 23:00 uur. Gedurende deze dienst worden er nauwelijks orders gepickt, waardoor er gemakkelijk en snel aangevuld kan worden. In het algemeen wordt geprobeerd om het orderpickproces zo min mogelijk te verstoren met de aanvulactiviteiten; daarom wordt er zoveel mogelijk gedurende de aanvuldienst aangevuld. Daartoe worden leveringen als dat mogelijk is gepland tussen de dag- en nachtdienst in. Het aantal SWAGers en aanvullers dat ingezet wordt, is afhankelijk van de omzet. Alle reachtruckers behoren tot hetzelfde team, maar de taken worden wel verdeeld. Het zal dus niet voorkomen dat een reachtrucker beiden aanvulactiviteiten afwisselend uitvoert. Een reachtrucker kan gemiddeld ongeveer 15 SWAGbewegingen per uur uitvoeren.

In dit hoofdstuk is het te onderzoeken systeem afgebakend, zijn de voor het onderzoek relevante begrippen gedefinieerd en zijn procesdiagrammen opgesteld voor de drie processen die binnen de afbakening vallen. In hoofdstuk vier worden deze drie processen eerst verder uitgesplitst tot het niveau van grootheden, zodat ze in formulevorm theoretisch beschreven kunnen worden. Daarna worden dan volgens een vaste structuur de factoren, die de capaciteit beïnvloeden, besproken en wordt aangegeven op welk proces en welk onderdeel van dat proces ze invloed hebben. De formules uit hoofdstuk vier vormen samen met de procesdiagrammen uit dit hoofdstuk de basis voor het simulatiemodel, dat in hoofdstuk 5 beschreven is. De beschreven factoren in hoofdstuk 4 leveren op hun beurt dan weer de inzichten op om tot interessante experimenten te komen in hoofdstuk 6.

4. Capaciteitsbepalende factoren

Dit hoofdstuk bevat een kwalitatieve beschrijving van de factoren en hun relaties die de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum bepalen. Daarmee vormt het het eerste gedeelte van de specificatiefase. In paragraaf 4.1 wordt allereerst het raamwerk weergegeven, waarbinnen de factoren besproken worden. Vervolgens komen in paragraaf 4.2 tot en met 4.9 deze factoren aan bod, waarna het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvattend overzicht.

4.1 Raamwerk capaciteitsbepalende factoren

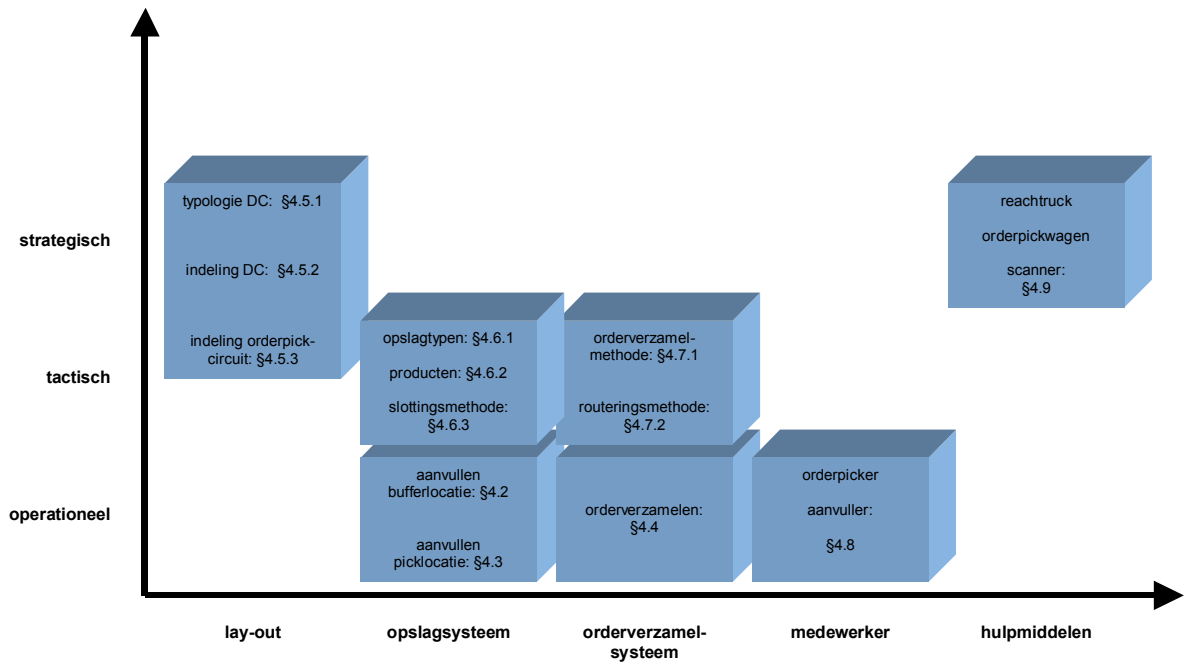
In de literatuur worden de activiteiten in een distributiecentrum regelmatig opgedeeld in drie deelsystemen, te weten het opslagsysteem, het material handling systeem en het orderverzamelsysteem (Starink, 2000). Het opslagsysteem omvat de methode waarmee goederen worden opgeslagen, dat wil zeggen de opslagtypes en de slotting die gebruikt worden. Het material handling systeem bevat de werktuigen die bij het uitvoeren van de activiteiten binnen het DC gebruikt worden (trucks, kranen, transportbanen). Er wordt ook wel simpelweg gesproken van hulpmiddelen, die overigens regelmatig gezien worden als een onderdeel van het opslag- of het orderverzamelsysteem (Moerkerken, 2000 en De Koster, 2000). Het orderverzamelsysteem bevat de manier waarop het orderverzamelen plaatsvindt, dat wil zeggen de routeringsmethoden en de wijze waarop de ophaalopdrachten worden samengesteld. Uiteindelijk bepaalt de combinatie van het opslagsysteem en het orderverzamelsysteem de uitslagcapaciteit van het opslagsysteem (Hereijgers, 1999).

De opbouw van dit hoofdstuk is afgeleid van bovenstaande indeling. De belangrijkste processen zoals die eerder geïdentificeerd zijn, het aanvul- en het orderpickproces, vormen het operationele niveau van het opslagsysteem respectievelijk het orderverzamelsysteem. In de paragrafen 4.2 tot en met 4.4 is beschreven hoe deze processen in theorie zijn opgebouwd. In de volgende paragrafen komen dan de factoren op tactisch niveau aan de orde en wordt aangegeven hoe deze factoren de processen op operationeel niveau beïnvloeden.

De factoren worden in vijf deelsystemen, die iedere een paragraaf beslaan, besproken:

- 4.5) Lay-out
- 4.6) Opslagsysteem
- 4.7) Orderverzamelsysteem
- 4.8) Medewerker
- 4.9) Material handling systeem (hulpmiddelen)

Per paragraaf komen de verschillende factoren aan bod. De paragrafen bestaan uit een theoretische beschrijving van de mogelijkheden, een beschrijving van de praktijk in DCP en de invloed daarvan op de capaciteit. De indeling in een strategisch, tactisch en operationeel niveau binnen de vijf deelsystemen is gedeeltelijk gebaseerd op de drie niveaus waarop volgens De Koster (2000) beslissingen genomen moeten worden ten aanzien van het opslagsysteem. Naarmate een beslissing op hoger niveau gemaakt moet worden, neemt de tijdshorizon toe. In figuur 4.1 wordt de gehanteerde opzet voor dit hoofdstuk schematisch weergegeven.



Figuur 4.1: Schematisch overzicht indeling factoren

Om te voorkomen dat de beschrijving van de factoren te ver verwijderd raakt van de (toekomstige) situatie in distributiecentrum Pijnacker wordt het bredegangenpalletgebied met reachtrucks en orderverzameltrucks als uitgangspunt genomen. Dit betekent dat de orderpicker zich met behulp van een orderpickvoertuig naar de picklocaties begeeft en gebruik maakt van een scanner. Er is dus sprake van een ééndimensionaal orderverzamelsysteem (zie Goor e.a., 1996). Het opslagsysteem kenmerkt zich door gescheiden pick- en bufferlocaties en gebruik van reachtrucks. Het eventuele gebruik van parts-to-picker systemen wordt dus buiten beschouwing gelaten.

Deze kenmerken worden als randvoorwaarden beschouwd. Voor het merendeel zijn dit factoren die bepaald worden door keuzes die op strategisch niveau gemaakt zijn. Het is wel van belang om te bedenken hoe deze factoren doorwerken op tactisch en operationeel niveau, maar ze zijn niet direct van invloed op de capaciteit van het orderpickproces. Dus, alleen die factoren die zich op tactisch of operationeel niveau bevinden en die relevant zijn voor een distributiecentrum zoals hierboven geschetst, worden beschreven in dit hoofdstuk.

4.2 Aanvullen bufferlocatie

Als er van uitgegaan wordt dat er buffer- en picklocaties zijn, dan zijn de belangrijkste operationele processen binnen het opslagsysteem het aanvullen van de bufferlocaties (inslag van pallets) en het aanvullen van de picklocaties (vanuit de bufferlocaties). Daarbij wordt gebruik gemaakt van een reachtruck.

Het aanvullen van een bufferlocatie (inslaan van een hele pallet) bestaat over het algemeen uit de volgende activiteiten:

- pakken pallet in ontvangstruimte
- rijden naar bufferlocatie
- administratie bij locatie
- heffen
- wegzetten pallet
- dalen
- terugrijden naar ontvangsteiland

Om de cyclustijd van het aanvullen van een bufferlocatie te bepalen gaan Moerkerken (2000) en De Koster (1997) er van uit dat er één locatie wordt bezocht waar een pallet in de stelling geplaatst moet worden. Een aanname is ook dat er alleen enkelspelen worden uitgevoerd. Het uitvoeren van een enkelspel betekent dat de reachtrucker na het aanvullen van de bufferlocatie terugkeert naar het vertrekpunt. Er wordt dus maar één locatie per cyclus bezocht.

De volgende tijdscomponenten worden onderscheiden:

- horizontale tijd: rijtijd van ontvangstruimte naar bufferlocatie en terug
- verticale tijd: tijd nodig voor heffen en dalen van de vorken bij de bufferlocatie
- handling-tijd: tijd nodig voor oppakken pallet in de ontvangstruimte, positioneren en draaien voor de bufferlocatie en wegzetten pallet in de bufferlocatie
- administratietijd: tijd nodig voor scannen of aflezen van locatienummer en registreren van de verplaatsing

Voor een distributiecentrum vergelijkbaar met DCP, waarbij wordt uitgegaan van een random verdeling van alle artikelen in het opslaggebied, kan de cyclustijd als volgt beschreven worden (gebaseerd op Moerkerken, 2000):

Gegeven:

B= breedte magazijn

L_g = lengte gang

H_b = hoogte bufferlocatie

v_x = horizontale snelheid reachtruck

v_y = verticale snelheid reachtruck

Dan geldt:

cyclustijd: $T_c = T_x + T_y + T_h + T_a$

waarbij:

horizontale tijd: $T_x = (2 * (1/4 B + 1/2 L_g)) / v_x = (1/2 B + L_g) / v_x$

verticale tijd: $T_y = 2 * (H_b / v_y)$

handling-tijd: T_h

administratietijd: T_a

4.3 Aanvullen picklocatie

Indien aanvullen het plaatsen van een nieuwe pallet in een lege picklocatie betreft, dan kan het aanvullen of herbevoorraden van een picklocatie vanuit een bufferlocatie worden onderverdeeld in de volgende activiteiten:

- administratie bij bufferlocatie
- heffen
- pallet uit stelling nemen
- dalen
- rijden naar picklocatie
- administratie bij picklocatie
- volle pallet op de grond plaatsen
- verwijderen lege pallet uit picklocatie
- volle pallet in lege picklocatie plaatsen
- overstapelen restvoorraad

Om een eenduidige cyclus te kunnen bepalen wordt het begin van de gang waarin de aan te vullen picklocatie zich bevindt als begin- en eindpunt van de cyclus genomen. Overigens kan het moment waarop de administratie wordt uitgevoerd wisselen. Bovendien kan dit ook in één keer uitgevoerd worden.

De aanvultijd van een picklocatie wordt onderscheiden in:

- horizontale tijd: rijtijd van begin gang naar bufferlocatie, naar picklocatie en terug naar begin gang
- verticale tijd: tijd benodigd voor heffen en dalen van de vorken bij bufferlocatie
- handling-tijd: tijd nodig voor oppakken volle pallet, op de grond plaatsen volle pallet bij picklocatie, wegzetten lege pallet, volle pallet in stelling plaatsen en overstapelen resterende voorraad
- administratietijd: tijd nodig voor scannen of aflezen van locatienummer en invoeren verplaatsing

Ook hier kan weer een eenvoudige algemeen geldende formule worden bepaald. Enige aandacht verdient de toewijzing van een pallet aan een bufferlocatie. Idealiter bevindt de bufferlocatie zich dichtbij de picklocatie. Dit zal echter niet altijd haalbaar zijn. Moerkerken (2000) doet de aanname dat de buffer- en picklocatie zich in ieder geval in dezelfde gang bevinden. Daarbinnen liggen de locaties vervolgens random verdeeld, zodat de gemiddelde afstand tussen beiden $1/3$ ganglengte is. Gegeven de parameters in de vorige paragraaf, geldt:

cyclustijd: $T_c = T_x + T_y + T_h + T_a$

waarbij:

horizontale tijd: $T_x = (2 * (1/4 B + 2/3 L_g)) / v_x = (1/2 B + 4/3 L_g) / v_x$

verticale tijd: $T_y = 2 * (H_b / v_y)$

handling-tijd: T_h

administratietijd: T_a

4.4 Orderverzamelen

De activiteit die binnen het orderverzamelsysteem plaatsvindt is het orderverzamelen. Onder orderverzamelen wordt het proces verstaan waarbij goederen worden verzameld uit het magazijn om aan een specifieke klantorder te voldoen. In het algemeen kan dit orderpickproces, gegeven een ééndimensionaal orderverzamelsysteem, in vijf basisfuncties worden ingedeeld (Leerintveld, 1997):

1. verkrijgen van informatie en ladingdrager
2. (klaarzetten van de producten)
3. grijpen van de producten
4. voortbewegen
5. afgeven van de producten

Ad 1: Dit betreft het verkrijgen van de ophaalopdracht en het ophalen van één of meerdere ladingdragers.

Ad 2: Dit betreft het aanvullen van de goederen in de picklocaties. Dit wordt over het algemeen niet door de orderpicker zelf gedaan, maar door speciale aanvullers (zie paragraaf 4.3) De orderpicker heeft echter wel te maken met de manier waarop de artikelen gepresenteerd worden.

Ad 3: Dit betreft het daadwerkelijk pakken van de goederen en plaatsen op de ladingdrager. Dikwijls volgt hierna een registratie van dit feit door middel van een aantekening op de opdracht of het scannen van een barcode.

Ad 4: Dit betreft het lopen of rijden van de orderpicker naar de locaties waar de goederen liggen die gepickt moeten worden.

Ad 5: Dit betreft het plaatsen van de verzamelde goederen op de daarvoor aangewezen plek. Veelal vindt er dan nog een controle plaats door bijvoorbeeld de expeditieafdeling.

De cyclustijd om één ophaalopdracht te verzamelen met behulp van een orderpickwagen wordt over het algemeen ingedeeld in (Caron e.a., 1998):

- administratietijd: tijd nodig voor het verkrijgen van de informatie en de ladingdragers(s), het voorbereiden voor intern transport (bijvoorbeeld bemachtigen van een truck) en afhankelijk van de technische hulpmiddelen het sorteren en lezen van de opdracht papieren.
- grijptijd: tijd nodig voor het daadwerkelijk pakken van de goederen en plaatsen op de ladingdrager. Dit omvat onder andere lopen van voertuig naar locatie en terug, bukken, toegrijpen, tellen, oppakken, draaibewegingen maken, strekken, stapelen. Daar komt afhankelijk van de hulpmiddelen nog lezen en / of scannen bij.
- rijtijd: tijd nodig voor de orderpicker om zich voort te bewegen en zich te verplaatsen naar de verschillende locaties

De cyclustijd van een ophaalopdracht, waarbij beiden kanten van de gang tegelijk gepickt worden en de gangen in een vaste volgorde in één richting worden doorlopen⁶, kan theoretisch als volgt worden weergegeven. Zie ook Goetschalckx en Ratliff (1988 I), waarin de verdeling

⁶ In de juiste terminologie is dit tweezijdig picken volgens de S-shape heuristiek; zie voor een toelichting paragraaf 4.7.2.

van de totale picktijd in verschillende onderdelen wordt beschreven en enkele van onderstaande formules in andere notaties worden besproken.

Gegeven:

L_g = lengte gang

L_b = lengte bocht

L_a = gemiddelde af te leggen afstand van laatste locatie naar afgiftepunt

v_x = gemiddelde snelheid orderpickvoertuig

i = index gangen in een ophaalopdracht

l = index picklocaties in een ophaalopdracht

t_l = looptijd van orderpickvoertuig naar picklocatie

t_p = paktijd bij picklocatie

t_s = stapeltijd bij orderpickvoertuig

t_i = informatietijd per picklocatie

Dan geldt:

cyclustijd:
$$T_c = T_a + T_r + T_g$$

waarbij:

administratietijd:
$$T_a$$

rijtijd:
$$T_r = \frac{\sum_i (L_{g_i} + L_{b_i})}{v_x} + T_w$$

waarbij

wegzettijd:
$$T_w = \frac{L_a}{v_x}$$

grijptijd:
$$T_g = \sum_l T_{p,l}$$

waarbij

paktijd:
$$T_{p,l} = (2t_l + t_p + t_s) \cdot \alpha + t_i$$

De paktijd, benodigd om een picklocatie te picken, is dus opgebouwd uit twee keer de looptijd, de paktijd bij de picklocatie en de stapeltijd bij het orderpickvoertuig. Het is mogelijk dat er meerdere producten bij dezelfde locatie gepickt moeten worden. Dit betekent niet dat de orderpicker alle producten één voor één gaat pakken. De parameter α geeft aan hoeveel pakbewegingen er gemiddeld per locatie nodig zijn. Deze parameter kan, voor iedere picklocatie en bij ieder aantal te picken colli, als volgt bepaald worden:

$$\alpha = \left\lceil \left(\frac{cG_c}{G_{\max}} \right) \right\rceil \quad \text{als} \quad \left(\frac{cG_c}{G_{\max}} \right) > \left(\frac{cV_c}{V_{\max}} \right)$$

$$\alpha = \left\lceil \left(\frac{cV_c}{V_{\max}} \right) \right\rceil \quad \text{als} \quad \left(\frac{cG_c}{G_{\max}} \right) < \left(\frac{cV_c}{V_{\max}} \right)$$

waarbij:

c = aantal colli picklocatie

G_c = gewicht per collo

$G_{\max}$ = maximaal draaggewicht orderpicker

V_c = volume per collo

$V_{\max}$ = maximaal draagvolume orderpicker

Het komt er op neer dat afhankelijk van het volume en het gewicht van het product, de orderpicker besluit, gegeven het aantal te picken colli, hoeveel keer hij hiervoor nodig heeft.

4.5 Lay-out

De eerste groep factoren valt onder de noemer lay-out. Daaronder worden de fysieke ruimte waarbinnen het orderpickproces plaatsvindt, en de inrichtingskenmerken daarvan, verstaan. Het merendeel van deze factoren geldt, zoals hiervoor opgemerkt, als een randvoorwaarde voor de mogelijke invulling van het orderpickproces. Dit wordt onder andere in (Gelders en Pintelon, 1996) bevestigd, waar opgemerkt wordt dat de aard en omvang van het magazijn, de lay-out en de inrichting worden bepaald bij het procesontwerp van een magazijn en in grote mate bepalend zijn voor de productiviteit en daarmee de klantenservice. Starink (2000) merkt op dat wanneer de lay-out gekozen is, men daarmee min of meer de werkwijze in het magazijn vastlegt. Eigenlijk geldt de lay-out als vierde systeem, naast het opslagsysteem, het material handling systeem en het orderverzamelsysteem. Of anders geformuleerd, de lay-out vormt het resultaat van de keuzes die voor de aanleg van een DC binnen die drie systemen gemaakt worden. Na de aanleg vormt het dan een randvoorwaarde voor de veranderingen die binnen die drie systemen nog doorgevoerd kunnen worden.

In de volgende paragrafen komen de beïnvloedingsfactoren die binnen deze groep zijn te onderkennen aan de orde.

4.5.1 Typologie DC

In de inleiding is aangegeven dat het DC is ingericht als een bredegangenpalletgebied met reachtrucks en orderverzameltrucks zoals dat beschreven wordt in Moerkerken (2000). Omdat er gebruik gemaakt wordt van verschillende opslagtypen met andere aanvul- en orderpick karakteristieken is er bij Albert Heijn in feite sprake van een combinatie van bovenstaande typologie met het "pallet-flowracks / case-flowracks met verzamelwagen" type. Weliswaar kent men geen pallet-flowracks in DCP, maar het principe van beide typen flowracks is hetzelfde dus het algemene kenmerk van deze typologie, het scheiden van het in- en uitslagproces en het houden van bulkvoorraad achter de picklocatie, blijft overeind.

De typologie van het DC is uiteraard zeer bepalend voor de mogelijkheden van een distributiecentrum en dus de mogelijke capaciteit, maar is duidelijk een factor op strategisch niveau.

4.5.2 Indeling DC

Onder de indeling van het DC wordt de gehele inrichting van het DC en de plaatsing van verschillende activiteiten ten opzichte van elkaar verstaan. Dit bepaalt de ruimte die er voor iedere activiteit is en is daarmee een belangrijke randvoorwaarde voor de productiviteit. Dit is

ook een factor op strategisch niveau. Ter illustratie een voorbeeld van de situatie in een DC van de Hoogvliet. Daar worden de ladingdragers, nadat de orders gelopen zijn direct in wissellaadbakken geplaatst die al van tevoren op het dock klaarstaan. Door dit voorladen is er veel minder ruimte nodig voor de docks, vergeleken met de situatie in DCP. Dit is een strategische keuze die gemaakt is bij de bouw van het DC. Als nu besloten wordt dat op een vergelijkbare manier als in DCP gewerkt gaat worden, zal de beschikbare ruimte niet toereikend zijn.

4.5.3 Indeling orderpickcircuit

De fysieke inrichting van het orderpickcircuit is de werkomgeving van de orderverzamelaars. Een andere indeling zal tot een andere capaciteit leiden. Belangrijke elementen van deze inrichting zijn:

o Ophaalgebieden

Onder ophaalgebieden worden pickzones met specifieke kenmerken verstaan. Veel van de in het vervolg te noemen factoren kunnen variëren per ophaalgebied. Dit geldt onder andere voor het opslagtype, de orderverzamelmethode, de slottingsmethode en de productkarakteristieken. Zie in dit verband ook de opmerkingen gemaakt bij invloed van zonering in paragraaf 4.7.1

In de verscentrale van DCP wordt ook met ophaalgebieden gewerkt.⁷ Het hanteren van verschillende ophaalgebieden heeft gevolgen voor de capaciteit. Alle ophaalgebieden hebben hun eigen kenmerken en aangezien de ophaalgebieden in principe onafhankelijk van elkaar gepickt worden, kan de capaciteit per ophaalgebied zeer verschillend zijn. Zo zal de stapelbaarheid van de producten in een bepaald ophaalgebied invloed hebben op de capaciteit van dat ophaalgebied. Dit is ook te zien aan de verschillende ophaalnormen die in het DC gehanteerd worden in de verschillende ophaalgebieden. Een "slimme" indeling van deze gebieden zal een positief effect op de capaciteit hebben.

Een voorbeeld: In het algemeen is er in een DC behoefte aan systemen waarin zowel grote volumes⁸ kunnen worden opgeslagen, alsook veel orderregels in een korte tijd kunnen worden verzameld. Door afzonderlijke ophaalgebieden te creëren voor snellopende en langzaam lopende artikelen – de eerste met scheiding van pick- en bufferlocatie en grote picklocaties, de tweede zonder bufferlocaties en met kleine picklocaties – kan dit gerealiseerd worden. In het eerste geval worden de rijafstanden groter, maar door de hoge omzet per locatie blijft de pickdichtheid hoog. In het tweede geval worden de rijafstanden kleiner, waardoor ondanks de lage omzet per locatie de pickdichtheid op niveau blijft. Op die manier is het volgens Hereijgers (1999) zelfs mogelijk om in beide gebieden dezelfde omzet per gangmeter te realiseren, wat dan volgens hem leidt tot een optimale verdeling van de orderpickers in het circuit. Daarom pleit hij voor het op die manier combineren van opslagsystemen. In het vervolg wordt dieper ingegaan op deze relatie en zal blijken dat dit niet altijd hoeft te gelden en dat zelfs met de tegenovergestelde strategie (spreiding van de hardlopers en langzaamlopers in hetzelfde ophaalgebied) een zelfde resultaat gehaald kan worden, omdat ook dan de mogelijkheid bestaat om de gemiddelde pickdichtheid constant te houden.

⁷ Zie eventueel het overzicht in tabel 5.1 op pag. 71

⁸ Idealiter zijn de volumes in het DC zeer beperkt, en fungeert het als een overslagcentrum in plaats van een opslagcentrum. Dit is alleen mogelijk als het aanleveren door leveranciers zeer frequent en nauwgezet plaatsvindt. In de praktijk is dit (nog) niet haalbaar, waardoor grote volumes in het magazijn toch noodzakelijk zijn.

Naast de mogelijkheid om specifieke ophaalgebieden te creëren zal de kans op verstoringen en congestie over het algemeen kleiner zijn als er ophaalgebieden worden gehanteerd. Dit betekent immers sowieso al een spreiding van de verzamelaars over het orderpickcircuit. (Jacobs e.a., 1998).

o *Gangen*

Het aantal gangen en de gang- en bochtlengte vormen de basis voor de rij- en looptijd. Het aantal gangen wordt in eerste instantie bepaald door het aantal benodigde locaties, de afmetingen daarvan, de gangbreedte en de lengte en breedte van de beschikbare pickruimte. Dit is in feite een afweging die bij de bouw van het DC gemaakt wordt. Voor latere veranderingen geldt dit als een randvoorwaarde. Deze beperking is van belang als verschillende opslagtypen tegelijkertijd gebruikt worden. Een gewenste verdeling van deze typen kan fysiek onmogelijk blijken, maar een indeling die fysiek wel mogelijk is kan in de praktijk onwerkbaar zijn. Aan de ene kant moet het aantal en type opslaglocaties dus passen binnen de fysieke beperkingen van het DC, aan de andere kant moet het werkbaar zijn voor de orderpickers. De wijze waarop de gangen zijn vormgegeven in Pijnacker is terug te vinden in bijlage 1.

Het al of niet toepassen van eenrichtingsverkeer en dwarsgangen heeft gevolgen voor de routeringsmogelijkheden. Hanteren van slimme routes kan grote besparingen in de loop- of rijtijd opleveren (Roodbergen, 2001). De rijafstanden zullen hierdoor immers korter worden. (zie ook paragraaf 4.7.2 over de invloed van verschillende routeringsmethoden). Overigens is dat alleen mogelijk als de route op de één of andere manier gecommuniceerd wordt aan de orderpicker (door de volgorde waarin hij de producten op moet halen). De voordelen van dwarsgangen zijn meer mogelijkheden om routes te creëren en mogelijk lagere rijtijden. De nadelen zijn een toename van de complexiteit en een grotere benodigde magazijnoppervlakte (De Koster, 2000). Of het gebruik van dwarsgangen lagere rijtijden oplevert is afhankelijk van het type magazijn, het type orders (aantal te verzamelen items per gang) en de lengte van de gangen. In het algemeen geldt dat hoe meer items er per gang verzameld moeten worden, hoe minder aantrekkelijk het is om gebruik te maken van dwarsgangen. Clusteren van orders, zoals DCP dat nu doet met behulp van Group-pick, betekent gemiddeld kleinere rijafstanden per ophaalopdracht. Dezelfde afstanden zouden echter ook gehaald kunnen worden door dwarsgangen te hanteren en zo gedeeltes waarin niets gepickt hoeft te worden over te slaan. Dit zou het meest opleveren in combinatie met een op omzet gebaseerde slotting (De Koster, 1998). Volgens Moerkerken (2000) worden middengangen in de praktijk inderdaad vaak toegepast in combinatie met een ABC-opslag. Voor een uitwerking van de gevolgen van ABC-slotting zie paragraaf 4.6.3.

Het hanteren van eenrichtingsverkeer reduceert het aantal mogelijke routeringsmethoden. Optimalisatie van de af te leggen route is dan niet meer mogelijk. Dit betekent in bepaalde situaties een toename van de af te leggen afstanden (zie voor meer uitleg over routeringsmethoden en de gevolgen daarvan voor de capaciteit paragraaf 4.7.2.). Voordelen van het hanteren van eenrichtingsverkeer zijn een logischer volgorde in de pickopdrachten en het voorkomen van verkeersstromen in tegengestelde richting. Het eerste voordeel is niet duidelijk terug te vinden in de tijdscomponenten uit paragraaf 4.4, maar het zal altijd voordelig zijn voor de totale cyclustijd. Tegengestelde stromen in de gangen kunnen afhankelijk van de verkeersdrukke grote gevolgen hebben voor de congestie. In de huidige

situatie in het DC kunnen twee BT's elkaar passeren en met moeite eventueel drie. Tweerichtingsverkeer zal de mogelijkheid tot inhalen fors verminderen.

De gangbreedte en de gebruikte voertuigen geven de mogelijkheden om elkaar te passeren aan. Dit is een hele belangrijke factor voor de congestie. Als er geen mogelijkheid is om elkaar te passeren, resulteert dit in enorme verstoringen. De voorste orderpicker is dan maatgevend voor het tempo. Dit is voor het gegeven magazijntype niet realistisch. Als, zoals het geval is, twee voertuigen elkaar in de gang kunnen passeren, dan kunnen veel van de verstoringen ten gevolge van tempoverschillen voorkomen worden.

Naast de verstoringen die optreden als de orderverzamelaar aan het rijden is, is de gangbreedte ook van belang voor de mogelijkheden die de verzamelaar heeft om zijn voertuig nabij de gewenste picklocatie neer te zetten. Deze factor kan een grote invloed hebben op de grijptijd als er veel orderpickers in het circuit zijn. Er is maar een beperkt aantal plaatsen nabij een bepaalde picklocatie. Als er veel orderverzamelaars tegelijk bij een picklocatie moeten zijn, dan zal de orderpicker zich als het ware tussen de andere voertuigen door moet wringen om nog bij de picklocatie te komen. Afhankelijk van de drukte is het goed mogelijk dat de orderverzamelaar zal wachten tot er een betere plaats beschikbaar komt. Daarmee houdt hij dan echter wel weer een plaats bezet voor achteropkomende verzamelaars, terwijl hij in feite niets staat te doen.

Dit hangt samen met de toegankelijkheid van een picklocatie, en dan vooral met de afname van de toegankelijkheid als het druk is. Dit wordt voornamelijk bepaald door het opslagtype en de productkarakteristieken. Hoe toegankelijker alle locaties zijn en hoe meer ruimte er in de gangen is om het proces uit te voeren des te efficiënter zal dit plaats kunnen vinden (De Koster, 1998). Ook relevant is het gedrag van de verzamelaar. Hoe zet hij zijn orderpickwagen neer? Indien de medewerker de orderverzamelwagen te dicht bij de picklocatie zet, zullen extra handelingen nodig zijn om nog bij de locatie te kunnen komen. Dit geldt zeker voor andere orderverzamelaars die tegelijkertijd op of in de buurt van dezelfde locatie moeten zijn. Voor hen is die picklocatie dan nagenoeg onbereikbaar of slechts ten koste van veel omlopen.

○ *Overige fysieke inrichtingselementen*

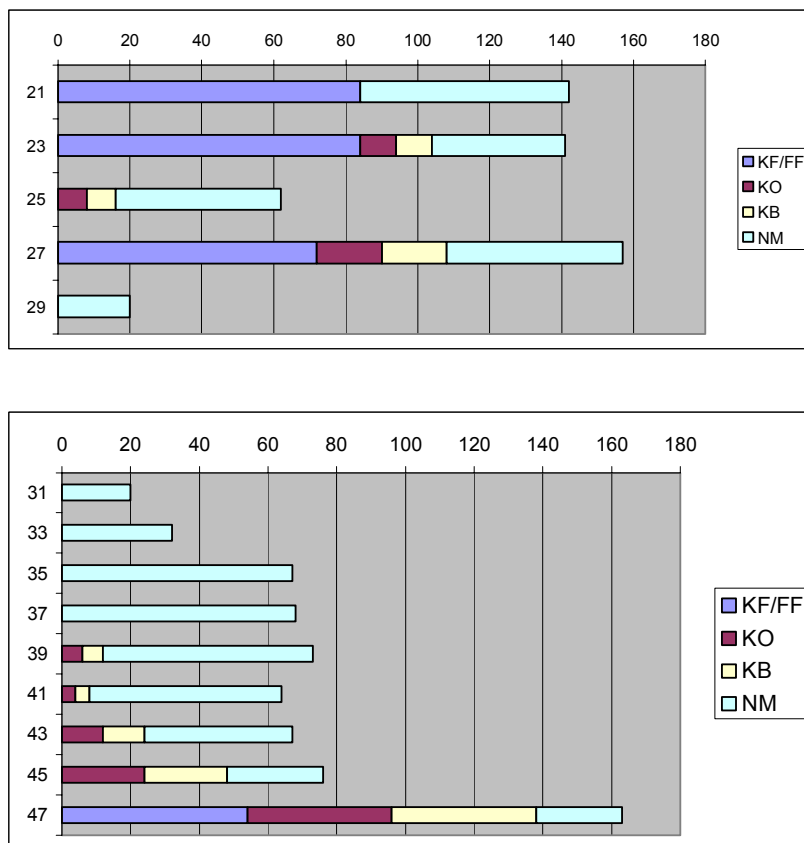
Hierbij moet gedacht worden aan de plaats van de orderuitgiftepunten, de orderafmeldpunten, de opslag van ladingdragers, de bestemming van de verzamelde order en dergelijke. Dit beïnvloedt de afstanden die de orderpicker moet afleggen voordat hij het pickcircuit binnengaat en nadat hij dat circuit weer heeft verlaten met een verzamelde order. Logischerwijs zal dichtbij elkaar plaatsen leiden tot kortere rijafstanden, maar meer kans op congestie. Naast de absolute afstand speelt ook het slim plaatsen van de verschillende punten een rol; denk aan het scheiden van verschillende stromen en het spreiden van plaatsen met een grote kans op drukte. Daarbij geldt natuurlijk ook dat het voor een zo optimaal mogelijke uitvoering van het proces nodig is dat bepaalde inrichtingselementen dicht bij elkaar liggen. Dit wordt over het algemeen tijdens het ontwerp van het magazijn bepaald met behulp van een activiteit-relatiediagram, waarin de nabijheid van alle inrichtingselementen ten opzichte van elkaar wordt gewaardeerd.

4.6 Opslagstelsysteem

Onder opslagstelsysteem wordt de manier waarop de goederen worden opgeslagen verstaan. Dit valt uiteen in de keuze voor een opslagtype en de keuze voor een bepaalde slotting. Slotting is de toewijzing van een product aan een bepaalde locatie met behulp van een bepaalde slottingsmethode. Daarom maakt ook het productassortiment onderdeel uit van het opslagstelsysteem. De activiteit "aanvullen" vormt het operationele niveau van het opslagstelsysteem. De aanvulmethode bepaalt op tactisch niveau hoe deze activiteit wordt vormgegeven. Achtereenvolgens komen in deze paragraaf het opslagtype, de producten, de slottingsmethode en de aanvulmethode aan bod.

4.6.1 Opslagtypen

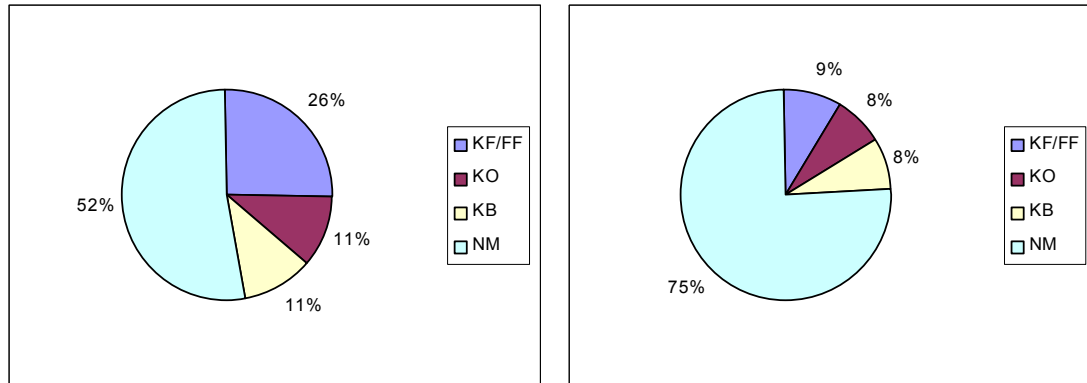
Er wordt een grote variëteit aan opslagtypes met zeer uiteenlopende karakteristieken gehanteerd in magazijnen. Het is voor dit onderzoek niet zinvol om types te bespreken die niet relevant zijn voor het distributiecentrum van Albert Heijn, daarom wordt verwezen naar bijlage 2, waar de verschillende in DCP gehanteerde opslagtypen zijn besproken. Deze maken allen deel uit van de zogenaamde statische opslagtypes (Hereijgers, 1999). In figuur 4.2 wordt voor de vers 3 afdeling per gang het aantal picklocaties van ieder opslagtype weergegeven.



Figuur 4.2: Aantal picklocaties per opslagtype in krattencircuit (boven) en containercircuit (onder)

Het moge duidelijk zijn dat de inrichting van de gangen behoorlijk verschilt. Op de plattegrond in bijlage 1 is te zien hoe de opslagtypen over de gangen verdeeld zijn en hoe ze ten opzichte van elkaar zijn geplaatst. Figuur 4.3 geeft de verdeling van de opslagtypen in het hele vers 3 circuit. Daarnaast is de verdeling van de totale oppervlakte in het circuit over de opslagtypen te zien. Dit geeft aan dat flowracks veel locaties op een geringe oppervlakte

opleveren, terwijl voor normaal-locaties het omgekeerde geldt. Dit illustreert nogmaals het verschil tussen oppervlaktecapaciteit en volumecapaciteit. Stel: alle producten worden in een flowrack-locatie gestopt, dan zal er ruimte genoeg zijn. Het levert echter een circuit op met een zeer hoge pickdichtheid, waarin de orderpickers continu op elkaar moeten wachten.



Figuur 4.3: Verdeling aantal picklocaties (links) en verdeling gebruikte oppervlakte (rechts)

De keuze voor een (combinatie van) opslagtype(n) is essentieel voor de manier waarop het orderpicken en aanvullen plaatsvindt. Hieronder wordt voor een aantal kenmerken van de opslagtypen aangegeven hoe ze het aanvul- en pickproces beïnvloeden.

○ Breedte picklocaties & aantal picklocaties boven elkaar

De fysieke structuur van een opslagtype - de breedte van de picklocaties die ermee gevormd worden en het aantal picklocaties boven elkaar - bepaalt de af te leggen ganglengte om van de ene picklocatie naar de volgende te gaan. Met andere woorden: het aantal picklocaties per gangmeter bepaalt de door de orderverzamelaar af te leggen afstand om een x-aantal picklocaties aan te doen en beïnvloedt hiermee de rijtijd. Voorbeeld: Doordat gebruik van flowracks veel meer picklocaties per gangmeter oplevert, wordt de rijafstand sterk verkort. Omdat hierdoor tevens de congestie toeneemt is het effect op de rijtijd uiteindelijk onzeker.

○ Capaciteit

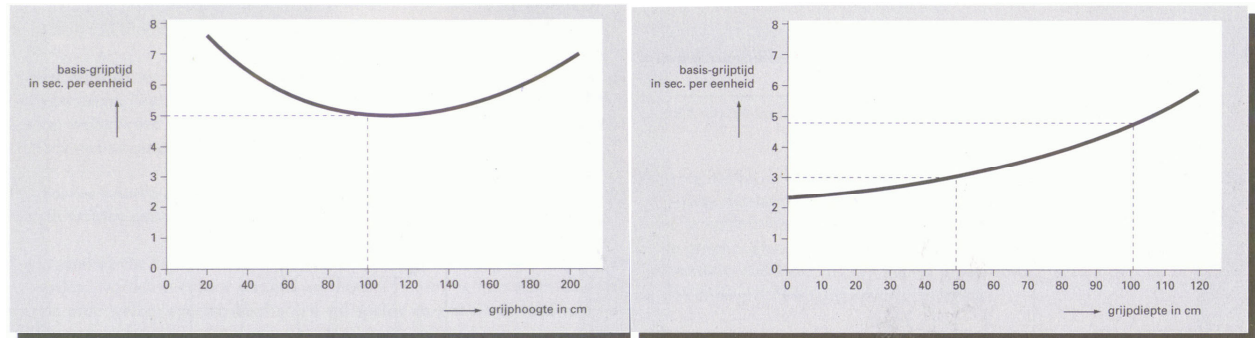
De capaciteit van een picklocatie van een bepaald opslagtype wordt gevonden door de inhoud van de picklocatie te delen door het volume van het product dat er in opgeslagen wordt. De capaciteit van een opslagtype bepaalt hoe vaak er - gegeven de omzet - aangevuld moet worden. Deze aanvulfrequentie geeft aan hoe vaak een aanvuller een picklocatie komt aanvullen en hoe vaak er dus verstoring van het orderpickproces optreedt.

○ Aantal picklocaties boven elkaar & diepte van de picklocaties

In het algemeen zijn de volgende factoren van invloed op de grijptijd: grijphoogte, grijpdiepte, gewicht en omvang van het product, afleghoogte en de hulpmiddelen. (Esmeijer, 1996 en Starink, 2000). De eerste twee vallen onder het opslagsysteem en worden hier besproken; gewicht en omvang van de producten komen in de volgende paragraaf aan de orde, de afleghoogte en de hulpmiddelen bij het material handling systeem (paragraaf 4.9).

De fysieke structuur van een opslagtype - het aantal picklocaties boven elkaar en de diepte van deze locaties - bepaalt de grijpbewegingen die gemaakt moeten worden om een product te pakken. Het aantal picklocaties boven elkaar bepaalt de hoogte waar vanaf de

orderverzamelaar het product moet pakken, de grijphoogte. Hoe hoger danwel lager de orderpicker moet reiken, des te langer zal hij hiervoor nodig hebben en des te belastender zal de beweging zijn. Hetzelfde geldt voor de diepte. Figuur 4.4 uit (Esmeijer, 1996) laat de invloed van de grijphoogte en de grijpdiepte op de grijptijd zien.⁹ De optimale grijphoogte is ongeveer 1 meter. De invloed van de grijpdiepte is rechtevenredig tot 50 cm, daarna wordt de toename van de grijptijd proportioneel.



Figuur 4.4: Invloed grijphoogte en grijpdiepte op de paktijd

Bovendien geldt dat het gewicht dat de orderpicker in één keer kan pakken minder is, als hij hoog, laag of diep het product moet pakken. Dit betekent dat het pakken van meerdere producten uit dezelfde locatie - gegeven het gewicht en de afmetingen van het product - eerder tot meerdere volledige grijpbewegingen leidt (lopen naar picklocatie, pakken product, lopen naar BT, stapelen product). Bij een gemakkelijker grijpbeweging kunnen meer producten in één keer gepakt worden, waardoor minder grijpbewegingen nodig zijn. Hoe meer grijpbewegingen er gemaakt moeten worden, hoe langer de totale grijptijd zal zijn.

Toegepast op enkele opslagtypen geldt dat de grijpdiepte bij normaal- en komstellingen groter is dan bij flowracks, waar de grijphoogte echter weer groter is voor de bovenste rij picklocaties. Een goed voorbeeld van de afweging tussen meer locaties per gangmeter (verminderen rijtijd) of minder diepe locaties (verminderen grijptijd) is de keuze tussen het in de lengte of in de breedte plaatsen van pallets. In de lengte levert korte rijafstanden (en minder ruimtegebruik) op, maar is ergonomisch minder verantwoord. (De Koster, 1996) Het verhogen van de palletlocaties, een aanbeveling uit een eerder afstudeeronderzoek, is een manier om de paktijd te reduceren. De orderpicker hoeft dan immers minder diep te bukken. Dit reduceert wel de capaciteit van de picklocatie.

○ *Ligging verschillende opslagtypen ten opzichte van elkaar*

Verschillende opslagtypen hebben verschillende karakteristieken en leiden diensgevolge tot een andere invulling van orderpick- en aanvulproces. Indien er verschillende opslagtypen in hetzelfde circuit worden gehanteerd kan de ligging van de opslagtypen ten opzichte van elkaar leiden tot een toe- of afname van de effecten veroorzaakt door de individuele karakteristieken. Met name de hinder die orderpickers en aanvullers van elkaar ondervinden, wat kan leiden tot congestie, is een resultaat van de optelsom van deze individuele karakteristieken. Ter verduidelijking een voorbeeld: Veel flowracks in dezelfde gang betekent een groot aantal

⁹ Hij definieert de grijptijd als de tijd nodig om één collo te pakken en te stapelen. In de in dit rapport gehanteerde definities is dat de paktijd, terwijl de grijptijd de som van de paktijden voor een hele opdracht aanduidt

locaties per gangmeter en dus normaalgesproken een hoge pickdichtheid. De kans op congestie in een dergelijke gang is veel groter dan bij een situatie waarin alle flowracks door het gehele circuit gespreid zijn.

Kijken we naar de gevolgen van een dergelijke situatie voor het aanvulproces, dan spelen daar weer heel andere zaken. Alle flowracks in dezelfde gang, geeft de mogelijkheid tot het creëren van een aanvulgang (een belangrijk kenmerk van flowracks is immers dat ze van achteren aangevuld worden), waardoor in- en uitslag van de producten gescheiden wordt en de orderpickers en aanvullers elkaar dus niet hinderen. Spreiden van flowracks door het circuit biedt deze mogelijkheid niet.

○ *Aanvulkenarakteristieken*

Verschillende opslagtypen dienen op een verschillende manier aangevuld te worden. Dit leidt tot een ander invulling van het aanvulproces en verschillende vormen van verstoring van het orderpickproces. Twee belangrijke aanvulkenarakteristieken zijn:

1. gescheiden of niet gescheiden in- en uitslag

Bij flowracks, roly-locaties en blokstapels¹⁰ vindt het aanvullen vanaf de achterkant plaats. Dit kan een vermindering van de interactie tussen de aanvullers en de orderpickers betekenen als er speciale aanvulgangen worden gecreëerd. Dit legt echter weer beperkingen op aan de indeling van het circuit en leidt tot een toename van de benodigde ruimte.

2. wijze van aanvullen

Het aanvullen kan op twee manier plaatsvinden. Ten eerste kan een (bijna) lege pallet vervangen worden door een volle, waarna de eventueel nog resterende producten van de bijna lege pallet worden overgestapeld. Dit is het geval bij normaal- en komstellingen, blokstapels en in feite ook bij roly-locaties (alleen betreft het dan roly's). De tweede manier geldt voor flowracks. Hier moeten de fusten in het rek geschoven worden. Over het algemeen kan er geen hele pallet in een flowrack geplaatst worden, waarna de resterende voorraad op de pallet weer teruggeplaatst moeten worden.

De manier van aanvullen heeft invloed op de aanvultijd en het aantal keer dat er aangevuld moet worden. Het aanvulproces van een flowrack duurt over het algemeen langer en zal - bij gegeven omzet - vaker plaats moeten vinden. Indien dit in een pickgang plaatsvindt is die gang dus langer en vaker geblokkeerd.

Conclusie van deze paragraaf is dat de invloed van een bepaald opslagtype op de capaciteit niet eenduidig is. Kleinere locaties leiden tot kortere rijafstanden, maar tegelijkertijd tot een grotere kans op congestie en vaker en langduriger aanvullen. Als we dit willen doortrekken naar een advies over de te kiezen opslagtypen spelen nog twee andere belangen mee: het ruimtegebruik en de kosten. Volgens Baptist (1996) moet het aantal keren en de duur van het aanvullen dan afgewogen worden tegen de voordelen; ruimtebesparing en reductie van de af te leggen afstanden.

Hereijgers (1999) constateert dat in doorrolstellingen een hoge orderverzamelcapaciteit kan worden gerealiseerd, omdat veel artikelnummers op een korte onderlinge afstand beschikbaar zijn, terwijl het uitslagproces niet wordt belemmerd door het inslagproces. Maar de auteur

¹⁰ Voor blokstapels geldt dit in mindere mate, omdat er ook aan de voorkant nog handelingen verricht moeten worden om de pallet naar voren te halen.

merkt even later wel op dat met name bij doorrolstellingen de herbevoorrading bijzondere aandacht verdient. Voorkomen moet worden dat dit te kostbaar wordt.

Tot slot een enkele opmerking over de te verwachten ontwikkelingen. Het is de trend om te verschuiven naar meer en kleinere locaties. Zo wordt volgens Ploos van Amstel en Verduijn (1994) het aantal benodigde locaties vergroot door een toename van het aantal SKU's (door meer productvarianten en centralisatie van de voorraad). Tegelijkertijd wordt echter de behoefte aan opslagruimte per locatie minder ten gevolge van ketenintegratie, doorlooptijdverkorting en het toepassen van informatietechnologie. Daarnaast zijn er de trends van hoge bestelfrequenties, kleinere zendingen en korte levertijden. Het resultaat van deze ontwikkelingen, die vooral waarneembaar zijn in de levensmiddelensector, is het gebruik van meer, maar kleinere, locaties. Dit resulteert in een verschuiving van het gebruik van pallets, naar kleiner verpakkingseenheden, zoals dozen. Waarbij gebruik wordt gemaakt van rollerbanen of flowracks. Dit resulteert in meer locaties per gangmeter, en dus een grotere kans op congestie. Verder betekent het meer aanvullen, aangezien de locaties kleiner zijn.

4.6.2 Producten

De productkenmerken, uit te splitsen in fysieke kenmerken en de omzet, beïnvloeden voornamelijk de grijptijd.

o Fysiek kenmerken

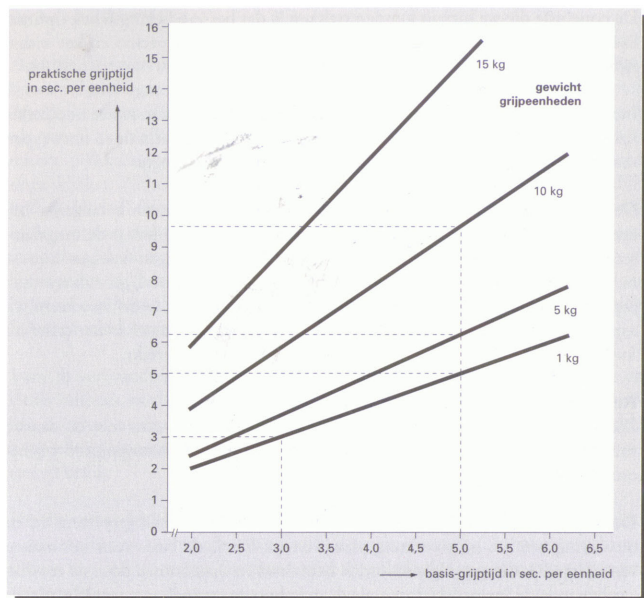
De fysieke kenmerken van een product hebben invloed op de wijze en het gemak van het picken en stapelen en daarmee beïnvloeden zij de grijptijd. Het gaat daarbij niet alleen om de benodigde tijd voor één grijpbeweging (dat is de paktijd, zie de formules in paragraaf 4.4), maar ook om het aantal grijpbewegingen dat nodig is om een x-aantal colli te pakken. De volgende fysieke kenmerken zijn het meest relevant:

- o afmetingen
- o gewicht
- o vorm
- o stevigheid
- o stapelbaarheid
- o collomodulariteit
- o nestbaarheid
- o breukgevoeligheid
- o vochtgevoeligheid
- o primaire ladingdrager: roly of pallet

Het merendeel van deze kenmerken speelt een rol bij de keuze voor het opslagtype en de plaats in het circuit (slotting). Eenmaal in het circuit bepalen ze voor een groot gedeelte de grijptijd. De invloed van de kenmerken spreekt in het merendeel van de gevallen voor zich. Grote, zware artikelen zijn bijvoorbeeld moeilijk te pakken, terwijl kleine artikelen soms moeilijk stapelbaar zijn. Als we wat dieper ingaan op de invloed van het gewicht van een collo op de paktijd dat geldt in het algemeen dat hoe zwaarder een product is:

- o hoe minder tegelijk de orderverzamelaar er meeneemt
- o hoe minder ver de orderverzamelaar geneigd is om er mee te lopen
- o hoe langer de orderverzamelaar er over doet om één collo van het product te pakken

Dus zware (en ook grote) producten resulteren in een grotere grijptijd (vaker heen en weer tussen BT en locatie), meer stops (want dichterbij neergezet) en een langere paktijd. Esmeijer (1996) heeft ook de relatie tussen het gewicht van een product en de paktijd onderzocht. In figuur 4.5 staat dit weergegeven.



Figuur 4.5: Invloed gewicht op de paktijd

Geconcludeerd kan worden dat de paktijd bij een groter gewicht meer dan evenredig toeneemt. Bij een basis-grijptijd van 5 sec, bedraagt het verschil tussen de paktijd van een collo van 1 en een collo van 5 kilo al meer dan één seconde. De gemiddelde paktijd bij Albert Heijn ligt hoger, dus dit zijn zeker verschillen die aandacht verdienen bij het bepalen van de capaciteit. Vooral om de kans op congestie in bepaalde gedeelten van een gang vast te stellen kan het gewicht van de daar opgeslagen colli een belangrijke factor zijn.

Naast het gewicht zijn ook de andere kenmerken van invloed op de paktijd. De slappe verpakkingen van bijvoorbeeld toetjes zorgen ervoor dat deze colli moeilijk met meer dan één tegelijk te pakken zijn en bovendien moeilijk te stapelen zijn. Met collomodulariteit wordt aangegeven in hoeverre het product een standaard formaat heeft en dus makkelijk te stapelen is. Hoe minder collomoduul de producten zijn, hoe moeilijker het is om de producten fatsoenlijk in dezelfde rolcontainer op te stapelen.¹¹ Dit leidt tot extra handelingen (herstapelen) en dus extra benodigde tijd. Producten die genest¹² zijn, zijn lastig met één hand van de locatie te picken, waardoor het meenemen van meerdere producten tegelijk een probleem kan worden.

Opgemerkt moet worden dat het steeds om de kenmerken van een collo gaat. Over het algemeen betreft dit meerdere producten die in één secundaire ladingdrager (doos of fust) verpakt zijn.

Het product heeft verder nog een kleine invloed op de informatietijd (een onderdeel van de paktijd nodig voor het bepalen van de locatie en het kiezen van de juiste producten).

¹¹ Ongeveer 1/3 van het assortiment is collomoduul.

¹² Producten zijn genest als het gaat om fusten, dozen die verlijmd zijn of dozen die in verband gestapeld zijn.

Producten die in moeilijk herkenbare verpakkingen zitten of die lijken op producten die vlak in de buurt opgeslagen zijn, kunnen leiden tot verwarring bij het orderpicken. Dit kan een vergroting van de informatietijd tot gevolg hebben. Met het gebruik van scanners zal deze extra tijd echter tot een minimum gereduceerd worden. Het scannen zelf levert echter weer een vergroting van de informatietijd op.

- *Omzet*

De omzet van een product is het aantal colli dat per dag gepickt wordt. Dit is naast de fysieke kenmerken de tweede belangrijke factor bij de keuze voor een opslagtype. Voor de capaciteit is uiteindelijk niet de omzet per product, maar de omzet per gangmeter, de pickdichtheid, de belangrijke factor. Zo resulteert het opslaan van langzaamlopers in kleine locaties en snellopers in grote locaties (in dezelfde gang) in een nivellering van de omzet per gangmeter, wat betekent dat:

- de rijafstanden niet langer zijn dan nodig (zo min mogelijke extra meters voor producten die weinig gepickt hoeven te worden)
- de aanvulfrequentie niet hoger is dan nodig (de hardlopers kunnen door de grote locaties met veel colli tegelijk aangevuld worden)
- de congestieproblemen niet groter zijn dan nodig (de grootte van de locaties zorgt voor relatief grotere rijafstanden tussen de hardlopers en voor relatief lagere aanvulfrequenties)

In feite zien we hier weer een trade-off tussen rijafstand, aanvulfrequentie en congestie. Daarnaast spelen hier ook alle factoren uit de vorige paragraaf die het grijpgemak bepalen weer een rol. Hoe groter de omzet, hoe groter de invloed van het grijpgemak van een bepaald opslagtype wordt, aangezien de grijpbeweging dan vaker gemaakt zal moeten worden. De grootste reductie van de grijptijd kan dus verkregen worden door hardlopers in eenvoudig te picken locaties op te slaan. Bij een lage omzet is de invloed van het grijpgemak kleiner en is efficiënte opslag belangrijker (Ploos van Amstel, 1995). De reductie in de rijafstand die behaald wordt door kleine locaties boven elkaar, speelt dan waarschijnlijk een belangrijkere rol dan de toename van de grijptijd door de grotere grijphoogte.

4.6.3 Slottingsmethode

De methode waarmee de producten aan een bepaalde locatie worden toegewezen, slotting genoemd, is een volgende onderscheidend kenmerk van een opslagsysteem. De slotting wordt gemaakt op basis van bepaalde vooraf vastgestelde criteria. Het al of niet toepassen van bepaalde criteria heeft gevolgen voor het orderpickproces. Binnen het DC wordt op dit moment op basis van de volgende criteria geslot:

- Assortimentsgroepen bij elkaar
- Dozen eerder in het circuit dan treetjes (slappe verpakkingen van bijvoorbeeld toetjes)
- Sorteren op vorm: vooral hoogte
- Sorteren op gewicht
- Optisch gelijke producten niet naast elkaar

Als het lukt, wordt er ook nog rekening gehouden met omzetspreiding en bufferspreiding. Overigens is de methode per site anders, wat de uniformiteit tussen de sites niet ten goede komt. Zoals opgemerkt is vergroten van die uniformiteit één van doelstellingen van de projectgroep geweest.

Bij de toewijzing van producten aan picklocaties wordt er in het distributiecentrum gewerkt volgens het "opslag naar vaste locaties" of "dedicated storage" principe, wat betekent dat ieder

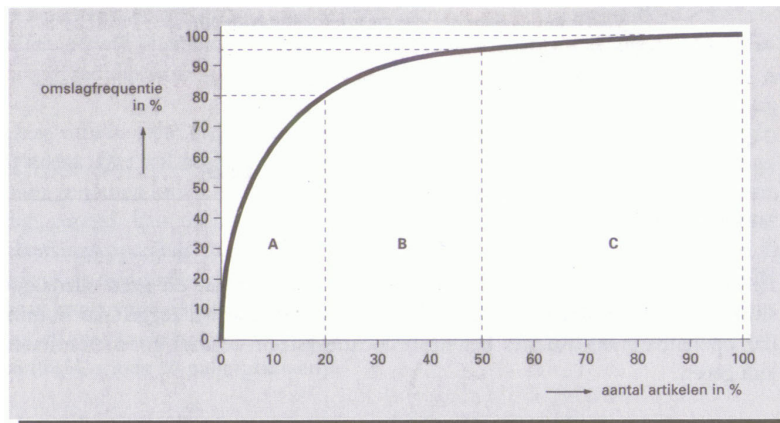
product in principe zijn eigen vaste locatie heeft. Daarnaast is er het "opslag naar vrije locaties" of "random location storage" principe. In dat geval wordt bij de binnenkomst van nieuwe artikelen steeds opnieuw een andere locatie vastgesteld. Dit principe wordt in aangepaste vorm gehanteerd bij het toewijzen van de bufferlocaties, zie verder paragraaf 4.6.4. In het vervolg worden de criteria die bij het slotten worden gebruikt beschreven en wordt aangegeven wat de gevolgen van het hanteren van ieder criterium voor de capaciteit zijn.

○ Productkenmerken

De productkenmerken zijn belangrijke criteria op grond waarvan een slotting gemaakt wordt. De volgorde waarin de producten in het circuit komen te staan, de gemaakte slotting, is van invloed op het gemak waarmee de orderpicker de producten kan stapelen op de ladingdragers, en daarmee op het onderdeel stapeltijd van de grijptijd. Het gaat daarbij vooral om de fysieke kenmerken zoals gewicht, afmetingen en vorm. Immers, zware en grote producten op het eind van het circuit leveren, naast een grotere kans op breuk, ook een langere grijptijd op, omdat het voor de medewerker moeilijk is om het product nog fatsoenlijk in de rolcontainer te krijgen. Dit geldt vooral als het stapelen een belangrijk onderdeel van de grijptijd uitmaakt (dus niet als alles in een fust zit).

○ Omzet

De keuze voor een opslagtype zal altijd mede op basis van de omzet bepaald worden. Producten met een hogere omzet worden in grotere picklocaties geslot. De volgorde in het circuit kan ook op basis van de omzet bepaald worden. Bij een slotting op basis van de omzet wordt de ABC-methode gehanteerd, waarbij de snellopers op de makkelijk bereikbare plaatsen worden geslot met minimale rijafstanden. Zie figuur 4.6 voor een ABC curve.



Figuur 4.6: ABC-slotting

Over het algemeen wordt aangenomen dat dit leidt tot efficiënter picken. Er is echter sprake van tegengestelde effecten. Aan de ene kant betekent slotten van alle hardlopers in één ophaalgebied een forse reductie van de totale rijafstand. Hetzelfde geldt overigens voor een indeling met alleen hardlopers in bepaalde gangen en langzaamlopers in de andere gangen. De afname van de rijafstand is daarbij gebaseerd op het feit dat de gedeelten van het circuit met langzaamlopers minder vaak doorgereden hoeven te worden. Tevens geldt een reductie van de grijptijd door de toename van het aantal te picken colli per locatie en het aantal te picken

locaties per stop. Aan de andere kant resulteert het in een vergroting van de verstoring ten gevolge van de activiteiten van orderverzamelaars en aanvullers. De pickdichtheid zal immers erg hoog zijn. Er zijn ook andere manieren om te slotten op basis van omzet. Zo is een slotting denkbaar met hardlopers aan de ene kant van de gang en langzaamlopers aan de andere kant. Dit beïnvloedt de af te leggen afstand niet. De grijptijd wordt daarentegen op verschillende manieren beïnvloed. Een voordeel is dat de gang minder vaak overgestoken zal hoeven te worden door de orderverzamelaar. Daar tegenover staat een verslechtering van de toegankelijkheid van de picklocaties aan de drukke kant, waardoor de paktijd iets hoger zal liggen. Maar door de hogere pickdichtheid (meer colli per locatie) zal de paktijd weer iets afnemen.

Het is ook nog mogelijk om de hardlopers aan het begin van de gangen neer te zetten. Dit zal een afname van de rijafstand beteken als er niet met de S-shape heuristiek¹³ wordt gewerkt. Is dit wel het geval, dan wordt de gang altijd helemaal doorgereden en maakt het dus niets uit. Deze slottingsmethode kan echter ook tot congestie leiden. Dit geldt zeker als de hardlopers helemaal aan het begin van de gang geplaatst worden. Orderverzamelaars zullen hun voertuig dan niet geheel de gang inrijden. Dit belemmert dan al snel de doorstroming in de hoofdgang. Dit geldt zeker als er meerdere orderverzamelaars tegelijk in die gang moeten zijn. Het is dus beter om de eerste locaties met langzaamlopende producten te vullen en de hardlopers iets verderop in de gang neer te leggen, zodat de kans op belemmeringen kleiner is.

Ondanks dat de voordelen niet altijd even duidelijk zijn, noemen ook Jacobs e.a. (1998) de pickfrequentie als maatgevend om te bepalen waar de artikelen het best kunnen worden geplaatst met als doel rijtijd verkorten. De snellopende artikelen worden op zo goed mogelijk bereikbare plaatsen opgeslagen. Dit kan afhankelijk van de steilheid van de ABC-curve (een kromme waarin 20% van de artikelen verantwoordelijk is voor negentig procent van de picks is zeer steil), leiden tot spectaculaire reducties van de verzameltijd. In hetzelfde artikel wordt de werkwijze voor een dergelijke analyse beschreven.

Ook De Koster en Roodbergen (1999) noemen het plaatsen van veelgevraagde producten op locaties die eenvoudig bereikbaar zijn als een geschikte methode om de rijafstanden te verminderen. Onder eenvoudig bereikbaar verstaan zij op ideale grijphoogte en dichtbij de beginpunten van de verzamelroutes.

Caron e.a. (1998) doen de aanbeveling om de hardlopers aan het begin van de gang te plaatsen als de largest gap methode wordt gehanteerd. Wordt traversal routing (= S-shape heuristiek) gehanteerd, dan dienen alle hardlopers in dezelfde gang geplaatst te worden, waarbij de gang dan weer zo dicht mogelijk bij het beginpunt van de opdracht moet liggen.

Uit verschillende bronnen blijkt dus dat er grote besparingen in de rijtijd behaald kunnen worden wanneer de producten volgens de ABC-opslagstrategie opgeslagen worden. Of de genoemde voordelen ook haalbaar zijn, is afhankelijk van de omzet van de artikelen en het aantal artikelen (SKU's). Immers, wat een langzaamloper is in het ene magazijn, kan een snelloper zijn in het andere magazijn. Zo wordt in het landelijke DC van AH in Geldermalsen gewerkt met een op omzet gebaseerde slotting, waardoor de producten met de hoogste omzet bij elkaar worden geplaatst en gangen met langzaamlopers dikwijls niet doorlopen hoeven te worden. Zou een dergelijke slottingsprincipe gehanteerd worden in Pijnacker, dan zou dit resulteren in grote congestieproblemen in de ganggedeelten met hoge omzet. Het voordeel van

¹³ zie paragraaf 4.7.2 voor een uitleg van de routeringsmethoden

het niet hoeven te doorlopen van gangen zou bovendien grotendeels wegvallen omdat de langzaamlopers in dit DC een hogere omzet hebben dan de snellopers in Geldermalsen. Duidelijk komt dus naar voren dat rekening gehouden moet worden met de koppeling tussen de routeringsmethode (paragraaf 4.7.2) en de slottingsmethode om de invloed van de keuze voor een bepaald opslagtype op de capaciteit goed in te schatten.

○ *Aanvulfrequentie*

De aanvulfrequentie geeft aan hoe vaak een product aangevuld moet worden. Dit heeft rechtstreeks gevolgen voor de verstoring van het orderpickproces door de aanvuller. De omzet gedeeld door de gewenste aanvulfrequentie geeft aan wat de capaciteit van het opslagtype moet zijn.

○ *Family grouping*

In het distributiecentrum wordt family grouping toegepast, wat betekent dat de producten zo veel mogelijk op assortiment geslot worden (ten behoeve van de filialen). Het effect op de grijptijd is geheel afhankelijk van de verschillen in de productkarakteristieken van de producten die tot een bepaalde assortimentsgroep behoren. Over het algemeen hebben de artikelen die tot dezelfde assortimentsgroep behoren ongeveer dezelfde karakteristieken, dus de stapelbaarheid zal niet beter of slechter zijn dan bij een slotting waarbij rekening wordt gehouden met stapelbaarheid. De omzet van de producten behorende tot een bepaalde assortimentsgroep kan wel heel verschillend zijn, waardoor rekening houden met de omzet bij het maken van een slotting bemoeilijkt wordt. De precieze invloed van het wel of niet hanteren van family grouping zijn moeilijk in te schatten.

Tot slot van deze paragraaf nogmaals de belangrijkste punten: Op basis van de fysieke kenmerken en de omzet wordt een opslagtype gekozen (slotting). De combinatie van een bepaald product en een bepaald opslagtype bepaalt uiteindelijk de invloed op de grijptijd. De grijptijd kan geminimaliseerd worden door een zo optimaal mogelijke combinatie van opslagtype en productkarakteristieken na te streven (Ploos van Amstel, 1995). De grootte en vooral de variëteit van het assortiment bepalen in hoeverre dit mogelijk is. Hoe groter de variëteit in productkenmerken, hoe meer verschillende opslagtypen wenselijk zijn. Dit kan echter weer tot een circuit leiden dat niet in overeenstemming is met de randvoorwaarden of dat leidt tot veel grotere rijafstanden. De invloed van het opslagtype op de grijptijd (zie paragraaf 6.1) en de invloed van de productkenmerken (zie paragraaf 6.2) resulteren tezamen in de grijptijd voor een bepaalde locatie. De totale grijptijd wordt verkregen door ook de ligging van de verschillende opslagtypen in het circuit en de samenstelling van de opdrachten mee te nemen.

4.6.4 Aanvulmethode

Volgens Jacobs e.a. (1998) wordt de aanvulmethode (door hem inslagstrategie genoemd) primair bepaald door de gebruikte opslagmethodiek. De aanvulmethode is dus een belangrijk onderdeel van het opslagsysteem. In paragraaf 4.2 en 4.3 zijn de activiteiten "aanvullen bufferlocatie" en "aanvullen picklocatie" reeds beschreven. De inhoud van deze activiteiten wordt vooral bepaald door keuzes op tactisch niveau. In deze paragraaf komen de

belangrijkste onderscheidende kenmerken van de aanvulmethode aan de orde, en wordt aangegeven hoe ze de capaciteit van het orderpickproces beïnvloeden.

- *Bufferen*

Onderscheid maken tussen pick- en bufferlocaties betekent dat een product op twee verschillende locaties op voorraad wordt gehouden; de picklocatie, die gemakkelijk bereikbaar is voor de orderverzamelaar, en de bulk- of bufferlocatie waar het merendeel van de voorraad staat. Gebruik maken van buffers betekent een extra transportbeweging in het aanvulproces en dus meer verstoringen. In vers 3 wordt er gebufferd, in vers 1 en 2 niet.

- *Buffermethode*

Bij het toewijzen van de bufferlocaties in vers 3 wordt er naar gestreefd om een bufferlocatie dichtbij de picklocatie van het product te kiezen. Om dit mogelijk te maken zullen bufferlocaties vaak gereserveerd worden voor een bepaald product, waardoor er geen sprake meer is van echte "randomized storage". Dit betekent dat de af te leggen afstand voor de aanvullers van bufferlocaties langer is dan het geval zal zijn bij strikte toepassing van dit principe (dan zou steeds gekozen worden voor de dichtstbijzijnde vrije bufferlocatie vanaf het ontvangsteiland). Echter, voor het aanvullen van de picklocatie zal het een reductie in de benodigde horizontale tijd opleveren. De verticale tijd wordt bepaald door de locaties van de bufferlocaties. Het aantal lagen de hoogte in waarop gebufferd wordt is relevant voor de tijd nodig om een bufferlocatie aan te vullen of leeg te maken.

Een andere methode, naast "randomized storage", om de bufferlocaties toe te wijzen is de ABC-methode. Net als bij de toewijzing van picklocaties, krijgen de snellopers de makkelijk bereikbare plaatsen met minimale rijafstanden toegewezen. Dit zijn de bufferlocaties die zich het dichtst bij de ontvangsteilanden bevinden. Dit resulteert in een lage doorlooptijd voor het aanvullen van de bufferlocatie. Het aanvullen van de picklocatie zal echter een hoge doorlooptijd kennen, omdat buffer- en picklocatie ver uit elkaar liggen. Extra complexiteit bij AH is dat er zowel vanaf de voorkant als vanaf de achterkant van het DC aangevuld wordt, waardoor een ABC-indeling minder zin heeft.

- *Type aanvulbeweging*

Zoals vermeld is er onderscheid tussen het aanvullen van de bufferlocatie en het aanvullen van de picklocatie. Daarnaast zijn er ook verschillende manieren waarop het aanvullen van de picklocatie plaats kan vinden. Eerder genoemd zijn al de verschillende handelingen die uitgevoerd moeten worden afhankelijk van het opslagtype. In de praktijk blijkt het verschil in tijd overigens zeer beperkt te zijn. Het aanvullen van de diverse opslagtypes duurt gemiddeld ongeveer even lang.

- *Tijdstip aanvulbeweging*

Het tijdstip waarop de aanvulbewegingen worden uitgevoerd bepaalt in welke mate het orderpickproces gehinderd wordt. Belangrijk is of het aanvullen tijdens het orderpickproces plaatsvindt. In het distributiecentrum wordt er tijdens het orderpicken aangevuld, maar geprobeerd wordt om het merendeel van de aanvulbewegingen uit te voeren tijdens de speciale aanvuldienst, als er niet gepickt wordt. Hoe meer aanvulbewegingen worden uitgevoerd buiten de orderpickdiensten, hoe geringer de hinder die de orderpickers en de aanvullers van elkaar ondervinden. Dit leidt tot efficiënter uitvoeren van beide processen.

Moeten de activiteiten toch parallel uitgevoerd worden, dan valt er vaak winst te behalen door de inslag van een binnengekomen pallet te combineren met het naar een lagere locatie brengen van een andere pallet (zie verderop bij dubbelspelen). Andere mogelijkheden om het orderpick- en aanvulproces te scheiden zijn aanvullen tijdens de pauze van de orderpickers of het tijdelijk dichtzetten van een ophaalgebied om daar aan te vullen.

○ *Frequentie aanvulbeweging*

De aanvulfrequentie dient niet alleen als input voor de slotting, maar heeft ook rechtstreeks invloed op de capaciteit van het orderpickproces. Ieder product genereert ontvangst- en aanvulbewegingen op bepaalde tijdstippen. Dit beïnvloedt de af te leggen afstanden en de tijden waarop een aanvuller zich op een bepaalde plaats in het circuit bevindt. Dit bepaalt waar congestie kan ontstaan.

De wijze waarop de aanvulfrequentie tot stand komt kan variëren. Als er niet gebufferd wordt is de aanvulfrequentie per definitie gelijk aan de aanleverfrequentie. Wordt er wel gebufferd, dan kan de aanvulfrequentie onafhankelijk of afhankelijk van het opslagtype vastgesteld worden. In het eerst geval wordt bepaald hoeveel aanvulbewegingen maximaal wenselijk worden geacht. Dit is dan input voor het te kiezen van een opslagtype. In het twee geval wordt een opslagtype gekozen en resulteert hieruit - gegeven de omzet - de aanvulfrequentie. In de praktijk zal dit vaak een wisselwerking zijn. De Koster (2000) noemt dit de "equal time" methode, waarbij ieder product dezelfde turnover tijd heeft. Producten worden dan in zodanige opslagtypen opgeslagen, dat iedere picklocatie ongeveer even vaak leeg is. Dit is in feite waar DCP ook naar toe wil.

○ *Volgorde aanvulbeweging*

Bij het aanvullen van picklocaties is de volgorde waarin de aanvulbewegingen die gedurende het orderpickproces plaatsvinden worden uitgevoerd nog van belang. Dit bepaalt de afstand die de aanvuller, in dit geval dus de SWAGer, tussen de opeenvolgende aanvulbewegingen aflegt. Omdat het aanvullen vaak ad hoc plaatsvindt (op verzoek van een orderpicker), is er veelal sprake van SWAGers die kris kras door het circuit rijden. Dat dit een negatief effect heeft op de congestie spreekt voor zich.

Voor het aanvullen van bufferlocaties geldt dit minder, omdat de totale af te leggen afstand daar vooraf al bepaald is (de aanvuller moet steeds terug naar het ontvangsteiland om de volgende pallet te pakken). De volgorde waarin de pallets worden weggezet in het circuit kan echter wel invloed hebben op de congestie, al is moeilijk te duiden wat de beste manier is om de hinder tot een minimum te beperken.

○ *Registratie aanvulbeweging*

Registreren van een aanvulbeweging betekent een toename van de administratietijd. Het levert niet direct een toename op van de capaciteit van het orderpickproces, zoals dat is gedefinieerd in dit onderzoek. Maar dat het een veel nauwkeuriger voorraadadministratie en dus minder onnodige doorhalingen tot gevolg heeft spreekt voor zich. Bij AH worden op dit moment alleen de SWAGbewegingen geregistreerd. De aanvulbewegingen vanaf het ontvangsteiland worden door de inboeker gelijk ingeboekt op de nieuwe locatie. De activiteit van de aanvuller wordt dus niet geregistreerd. Echter ook als het WMS de inslaglocatie van tevoren heeft bepaald is het aan te bevelen om bij handmatige inslag de fysieke inslaglocatie te laten bevestigen. Het eenvoudigst en betrouwbaarst werkt dit wanneer dit op de inslaglocatie direct

aan het systeem kan worden gemeld, bijvoorbeeld met de terminal aan boord van de reachtruck die nu al bij het registreren van SWAGbewegingen gebruikt wordt.

- *Aanvulgangen*

Het hanteren van aanvulgangen betekent dat orderpickers en aanvullers elkaar niet of nauwelijks tegenkomen. Dit betekent dat ze elkaar niet zullen hinderen. Esmeijer (1996) beschouwt het wel of niet hanteren van specifieke aanvulgangen als een kenmerk van het orderverzamelsysteem en spreekt van een hoofdgangstelsel als er geen speciale aanvulgangen zijn, en van een tweegangstelsel als dit wel het geval is. Zie voor de mogelijkheden om aanvulgangen te gebruiken paragraaf 4.6.1.

- *Dubbelspelen*

Een andere keuze die onderdeel uitmaakt van de aanvulmethode is het wel of niet uitvoeren van dubbelspelen. Uitvoeren van een dubbelspel betekent dat de reachtrucker na het aanvullen van een locatie direct een pallet meeneemt uit een locatie voor de volgende aanvulbeweging. Dit levert een afname van de af te leggen afstanden op. Het moge duidelijk zijn uit het voorgaande dat er bij AH op dit moment niet op deze manier gewerkt wordt.

Het uitvoeren van een dubbelspel, zou gezien de huidige inrichting van de processen in het DC betekenen dat na het weggrijpen van een ontvangen pallet, meteen een andere pallet vanuit een bufferlocatie in een lege picklocatie geplaatst wordt. Dit kan een positief effect hebben op de congestie.

4.7 Orderverzamelsysteem

In deze paragraaf komen de relevante factoren zoals die gelden binnen het orderverzamelsysteem aan bod. Het orderverzamelsysteem is bepalend voor de manier waarop het orderpicken plaatsvindt. Het omvat de keuzes die gemaakt worden op tactisch niveau voor twee belangrijke onderdelen van het orderverzamelen; de orderverzamelmethode en de routeringsmethode. De orderverzamelmethode betreft de manier waarop de ophaalopdrachten worden samengesteld. Dit komt in paragraaf 4.7.1 aan de orde. De mogelijkheden wat betreft de routeringsmethode komen aan de orde in paragraaf 4.7.2. Deze methode heeft betrekking op de route die de orderpickers volgen tijdens het lopen van een opdracht. Beide methodes hebben uiteraard met elkaar te maken.

Een gebruikelijke indeling van orderverzamelsystemen is terug te vinden in (Esmeijer, 1996). De volgende systemen worden daar onderscheiden:

- eendimensionaal
- tweedimensionaal
- dynamisch

Bij de één- en tweedimensionale systemen beweegt de orderpicker zich naar het product; de zogenaamde picker-to-parts systemen. De orderpicker beweegt zich door het magazijn en neemt tijdens de trip de gewenste artikelen uit de picklocaties. In het eerste geval verplaatst de orderverzamelaar zich alleen horizontaal, in het tweede geval ook verticaal (met een hulpwerktuig).

Daarnaast zijn er de dynamische of parts-to-picker systemen, waarbij de te picken artikelen naar de picker worden bewogen. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn paternosters,

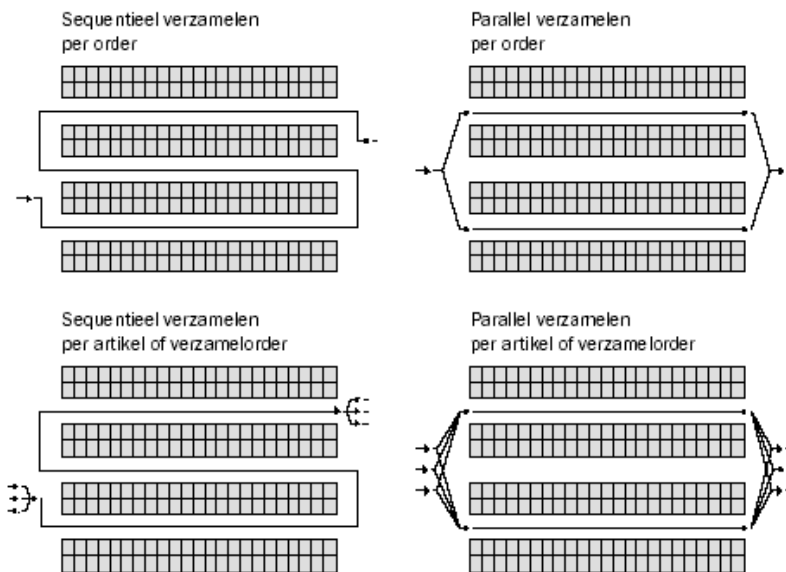
carrousel en Automatic Storage and Retrieval Systems (AS/RS). Het onderzoek beperkt zich tot de eendimensionale orderverzamelsystemen omdat dit de situatie is in DCP. Binnen een ééndimensionaal systeem zijn er verschillende mogelijkheden wat betreft de orderverzamelmethode en de routeringsmethode. Deze worden nu besproken.

4.7.1 Orderverzamelmethode

De orderverzamelmethode is de methode waarmee de opdrachten worden samengesteld. Met andere woorden: hoe worden de bestellingen omgezet in ophaalopdrachten? Niet alleen de tactische keuze voor een bepaalde orderverzamelmethode heeft gevolgen voor de capaciteit van het orderpickproces. Het resultaat van deze keuze, te weten de ophaalopdrachten met hun kenmerken die op het operationeel niveau het orderpickproces aansturen, is ook bepalend voor de uitkomst van dit proces. Onderscheid tussen de verschillende methodes kan gemaakt worden op basis van onderstaande indelingen.

Er zijn verschillende methoden om verzamelorders samen te stellen op basis van de klantorder, zie onder andere Gronau (1990), Gelders en Pintelon (1996), Tompkins en Smith (1988) en Goor, e.a. (1996). Een veelgebruikte indeling is de volgende:

1. Sequentieel per order, ofwel het serieel picken van één klantorder: Hierbij haalt een orderpicker een gehele klantorder in één keer achter elkaar op. Eventueel kan de order daarbij doorgegeven worden aan een andere orderverzamelaar, men spreekt dan van een pick-and-pass systeem.
2. Sequentieel per verzamelorder, ofwel batchgewijs met één orderpicker: Hierbij haalt een orderpicker meerdere klantorders tegelijk in één keer achter elkaar op.
3. Parallel per order, ofwel het parallel picken van één klantorder: Hierbij werken meerdere orderpickers gelijktijdig aan één dezelfde klantorder in verschillende delen van het magazijn. Later worden de verzamelorders die opgehaald zijn door de verschillende orderpickers dan samengevoegd, zodat de complete klantorder in één keer uitgeleverd kan worden.
4. Parallel per verzamelorder, ofwel batchgewijs met meerder orderpickers: Hierbij werken meerder orderpickers gelijktijdig aan dezelfde klantorder in verschillende delen van het magazijn, waarbij iedere orderpicker tevens met meerdere klantorders tegelijk bezig is.



Figuur 4.7: Verschillende orderverzamelmethodes

Batching is het samenvoegen van meerdere klantorders en deze vervolgens door één of meer orderpickers laten verzamelen. In dat geval worden er verzamelorders geconstrueerd, die bestaan uit meerdere klantorders; bijvoorbeeld van verschillende filialen. Batching kan, naast het onderscheid sequentieel en parallel, op twee manieren plaatsvinden:

- Batching op klantorderniveau: Meerdere klantorders worden tegelijk verzameld en tijdens het verzamelen direct op klant gesorteerd: sort-while-pick systeem.
- Batching op orderregelniveau: Eerst worden alle benodigde artikelen voor meerdere klantorders verzameld en vervolgens worden deze in een aparte ruimte gesorteerd op klant.

Het gelijktijdig werken aan dezelfde klantorder door verschillende orderpickers betekent dat het magazijn is ingedeeld in verschillende ophaalgebieden; zonering genoemd. De artikelen worden dan in toepasselijke gebieden opgeslagen in het magazijn; bijvoorbeeld op grond van temperatuur, waarde of schadegevoeligheid. Er wordt dan gesproken van het verbreken van de orderintegriteit (Tompkins en Smith, 1988). De order wordt immers opgedeeld in deelorders voor de verschillende ophaalgebieden.

Het volgende schema laat de verschillende methoden nog eens overzichtelijk zien.

	Geen zonering (sequentieel, één picker per klantorder)	Zonering (parallel, meerdere pickers per klantorder)
Geen batching (één klantorder per picker)	1	3
Batching (meerdere klantorders per picker)	2	4

Tabel 4.1: Orderverzamelmethoden

In de literatuur wordt ookwel een indeling in vijf orderverzamelmethoden gehanteerd, oplopend van eenvoudig tot complex. Zie bijvoorbeeld Magee e.a. (1985).

In het distributiecentrum in Pijnacker wordt er parallel per verzamelorder opgehaald (methode 4). Daarbij wordt batching op klantorderniveau toegepast. De keuze voor een

orderverzamelmethode heeft gevolgen voor het orderpickproces en de capaciteit daarvan. Hieronder worden deze gevolgen per kenmerk besproken.

○ *Sequentieel versus parallel*

Sequentieel verzamelen leidt over het algemeen tot grotere af te leggen afstanden, omdat de kans groter is dat in bepaalde gedeelten van het magazijn niets opgehaald hoeft te worden. Bij parallel lopen van dezelfde klantorder door meerdere orderverzamelaars hoeven deze gedeelten niet of minder doorlopen te worden. De rijafstand zal dus korter zijn. Dit resulteert tevens in een betere spreiding van de orderpickers in het circuit, omdat de uitsplitsing sowieso al een bepaalde spreiding waarborgt, waardoor de maximale "opeenhoping" gereduceerd wordt met een zelfde factor als het aantal orderpickers dat bezig is met dezelfde ophaalorder (die kunnen elkaar per definitie al niet tegenkomen).

○ *Zonepicking*

Zonepicking is het hanteren van verschillende zones – ophaalgebieden – waardoor er dus altijd parallel gepickt wordt (de order wordt opgeknipt voor de verschillende ophaalgebieden). Zonepicking leidt over het algemeen tot efficiënter picken volgens Baptist (1996). Zonepicking resulteert in korte rijafstanden en een betere spreiding in het circuit. Bovendien biedt het mogelijkheden om ophaalgebieden met vergelijkbare productkarakteristieken te maken, wat de stapelbaarheid vergroot en daarmee de paktijd kan reduceren.

○ *Batching*

Batching van sequentieel gelopen orders betekent niets anders dan dat de orderverzamelaar blijkbaar de mogelijkheid heeft om, vergeleken met de sequentiële situatie, meer producten op zijn wagen mee te nemen. Dit betekent natuurlijk altijd een reductie van de totale rijafstand: met het afleggen van dezelfde afstand kunnen dan x keer meer producten meegenomen worden, waarbij x de grootte van de batch is.

Voor batching van parallelle orders geldt hetzelfde wat betreft de reductie van de totale rijafstand. Dit is echter mogelijk met een gelijke capaciteit - vergeleken met parallel ophalen - van de orderpickwagen. De rijafstand per opdracht zal dan ook korter worden (het voertuig is eerder vol). Afhankelijk van de gelijkvormigheid van de verschillende klantorders zal ook de grijptijd lager liggen. Immers, als de orderpicker meerdere colli uit dezelfde locatie nodig heeft (omdat meerdere klanten het product willen hebben en hij voor meerdere klanten tegelijk aan het ophalen is) zal de paktijd per colli lager zijn. Hij kan immers meer colli tegelijk meenemen en hoeft minder vaak te scannen. Ook het stapelen is eenvoudiger (meer colli van dezelfde soort, dus die zijn in ieder geval gelijkvormig). Dit geldt overigens sowieso al omdat er minder verschillende producten meegenomen hoeven te worden, maar juist meer van dezelfde. Gecombineerd met zones met gelijke productkarakteristieken (zie hierboven) zal de grijptijd nog lager zijn. De conclusie luidt dat batchgewijs lopen van orders vrijwel altijd tot efficiënter picken leidt.

○ *Samenstelling ophaalopdrachten*

Naast de bovenstaande mogelijkheden bij het samenstellen van de ophaalopdrachten zijn het gebruikte algoritme, de spreiding over de dag, het gehanteerde tijdsvenster en de toegepaste logistieke sturing van belang. Het samenstellen van de opdrachten is een belangrijke factor, die grote gevolgen voor de capaciteit kan hebben. De Koster en Roodbergen (1999) zien het

als een twee belangrijke factor (naast de routeringsmethode) om de rijafstanden te beïnvloeden. Naast de rijafstand wordt ook de grijptijd voor een belangrijk deel bepaald door de samenstelling van de opdrachten.

Het opslagsysteem (paragraaf 4.6) de routeringsmethoden (paragraaf 4.7.2) en de hulpmiddelen (onder andere capaciteit¹⁴ van de orderpickwagen, paragraaf 4.9) vormen een gegeven voor het samenstellen van de opdrachten.

De bestellingen vormen de input voor de samenstelling van de opdrachten. Kenmerken zijn het aantal orderregels en het aantal colli per orderregel. Daarnaast is de frequentie van de bestellingen van belang. Een grotere bestelfrequentie betekent afname van de ordergrootte en dus een toename van de gemiddelde afstand die een orderpicker in het circuit moet afleggen voordat een rolcontainer gevuld is. Dit effect wordt echter verminderd door de toegenomen schaalvergroting. Het aantal supermarkten neemt af en de winkels die overblijven worden groter. Hierdoor worden de bestellingen van de gemiddelde supermarkt weer groter (Van der Laan, 1999).

Als er geen batches worden gemaakt en er ook niet parallel wordt opgehaald, dan is met de klantorder meteen de ophaalopdracht geformeerd. Het aantal colli per orderregels is dan ook het aantal colli dat bij een bepaalde locatie gepickt moet worden. Als er in batches opgehaald wordt, dan zullen er meer colli per locatie gepickt moeten worden. Bij batching wordt een algoritme gebruikt om de verschillende klantorders slim te koppelen tot één ophaalopdracht. Bij zonering gaat het om het slim splitsen van de klantorder in ophaalopdrachten. Worden beiden toegepast, dan moet de combinatie van beiden zo slim mogelijk uitgevoerd worden. Overigens ligt de uitsplitsing van een klantorder in deelorders voor een groot gedeelte al vast als er gewerkt wordt met ophaalgebieden. Slim splitsen is alleen relevant als er geen ophaalgebieden zijn, of als de deelorder binnen een bepaald ophaalgebied nogmaals gesplitst wordt.

Het gehanteerde algoritme kan verschillende doelen nastreven voor de samen te stellen opdracht. Afhankelijk van de doelstelling zullen één of meer componenten van de orderverzamelcyclus geoptimaliseerd worden. Het gaat daarbij vooral om de rijtijd en de grijptijd. De mate waarin de doelstellingen bereikt kunnen worden is afhankelijk van de orderstructuur en van het gehanteerde tijdsvenster. Een grote uniformiteit in de klantorders betekent dat het eenvoudiger wordt om winst te halen uit het combineren van klantorders in dezelfde ophaalopdracht, wat de efficiëntie ten goede komt. Hoe kleiner het gehanteerde tijdsvenster, hoe minder klantorders er beschikbaar zijn om te gebruiken bij de samenstelling van een ophaalopdracht. Dit resulteert in minder efficiënte opdrachten. Dat wil zeggen dat de af te leggen afstanden langer zullen zijn en het aantal colli per locatie kleiner, wat een langere totale grijptijd betekent.

○ *Opdrachttuitgifte*

Nadat de opdrachten geformeerd zijn, worden ze uitgegeven. De methode die hiervoor gehanteerd wordt, heeft vooral invloed hebben op de spreiding van de orderverzamelaars in het circuit.

De werkwijze bij AH is in paragraaf 3.4.2 uitgebreid aan de orde geweest. In de literatuur is hier weinig over te vinden. Deze alinea beperkt zich dan ook tot het beschrijven van de gevolgen van de werkwijze AH en mogelijke veranderingen daarin.

¹⁴ Bij AH wordt daarvoor het breakgewicht en het breakvolume van de ladingdragers gehanteerd.

Bij het uitgeven van de opdrachten is in feite sprake van een pool van opdrachten, waarbij het uitgeven van een nieuwe opdracht wordt getriggerd door het afmelden van een vorige opdracht (pull-mechanisme). Group-pick bepaalt dan wat de meest geschikte vervolgoopdracht is voor deze medewerker. Momenteel is de uitgiftetijd van de ophaalopdracht het belangrijkste criterium. Er zijn echter verschillende andere criteria op grond waarvan de selectie van de volgende opdracht kan plaatsvinden:

- wensen orderverzamelaar ¹⁵
- afwisseling voor orderverzamelaar, bijvoorbeeld ander ophaalgebied dan vorige
- plaats waar orderverzamelaar opdracht gereed meldt; vaste uitgiftestations voor ieder gebied
- spreiding orderverzamelaars; bijvoorbeeld door de ophaalgebieden steeds te rouleren
- prioriteit voor een ophaalgebied; bijvoorbeeld in verband met congestie

Bij de eerste twee criteria wordt niet gestuurd op basis van de spreiding van orderpickers in het circuit. De mate van spreiding is er een resultaat van, waarbij voor de eerste drie gevallen geldt dat het afhankelijk is van de gehanteerde instellingen. Het derde criterium waarborgt in ieder geval een spreiding van de orderpickers over de ophaalgebieden, waardoor de congestie buiten het circuit, zeker als er decentraal (dus in het ophaalgebied) geladen kan worden, iets minder zal zijn. Dit kan ook bewerkstelligd worden door de orderverzamelaars toe te delen aan een bepaald ophaalgebied.

Interessanter is het om te kijken welke mogelijkheden er zijn om de spreiding binnen het ophaalgebied te bevorderen. Dit is het geval bij criterium 4 en 5. In het eerste geval wordt de begingang van de opdracht willekeurig gewisseld, met andere woorden de toewijzing van ophaalopdrachten vindt zodanig plaats dat de verzamelaars zoveel mogelijk ergens anders beginnen. In het tweede geval vindt de keuze voor de begingang plaats op basis van prioriteit. De uitgifte kan dan bijvoorbeeld plaatsvinden op basis van het actuele aantal orderpickers in bepaalde gangen.

De invloed op de capaciteit is eenduidig. Als spreiding in het circuit bewerkstelligd kan worden, zal dit reductie van de verstoringen ten gevolge van drukte in de gangen tot gevolg hebben.

4.7.2 Routeringmethode

De routering heeft betrekking op het door de orderpicker af te leggen traject om de producten uit een ophaalopdracht te verzamelen. Dit is in feite de volgorde waarin de producten in een ophaalopdracht zitten. De keuze voor de routeringsmethode is dus ook weer een tactische, die als randvoorwaarde dient voor het samenstellen van de ophaalopdrachten op operationeel niveau.

Het optimaliseren van de orderverzamelroutes is één van de manieren waarmee besparingen wat betreft het orderpickproces gerealiseerd kunnen worden. Afhankelijk van het aantal items kunnen de reducties op de totale loopafstand in een magazijn oplopen tot 40% (De Koster e.a., 1998). Er zijn verschillende methodes om de opeenvolging van de gangen vast te stellen. Zie onder andere De Koster en Roodbergen (1999) en Caron e.a. (1998):

¹⁵ Er is bij AH een onderzoek gedaan naar het toevoegen van meer medewerker specifieke eisen aan de opdracht, bijvoorbeeld geen opdrachten met zware colli voor vrouwelijke medewerkers of voor medewerkers met fysieke problemen; dit leverde slechts marginale verbeteringen op.

1. S-shape methode

Bij deze methode wordt in principe elke gang waar een product opgehaald moet worden, geheel doorlopen. Gangen waar niets verzameld hoeft te worden, worden overgeslagen. Dit is de enige methode waarbij er sprake is van éénrichtingverkeer in de pickgangen.

2. Largest Gap methode

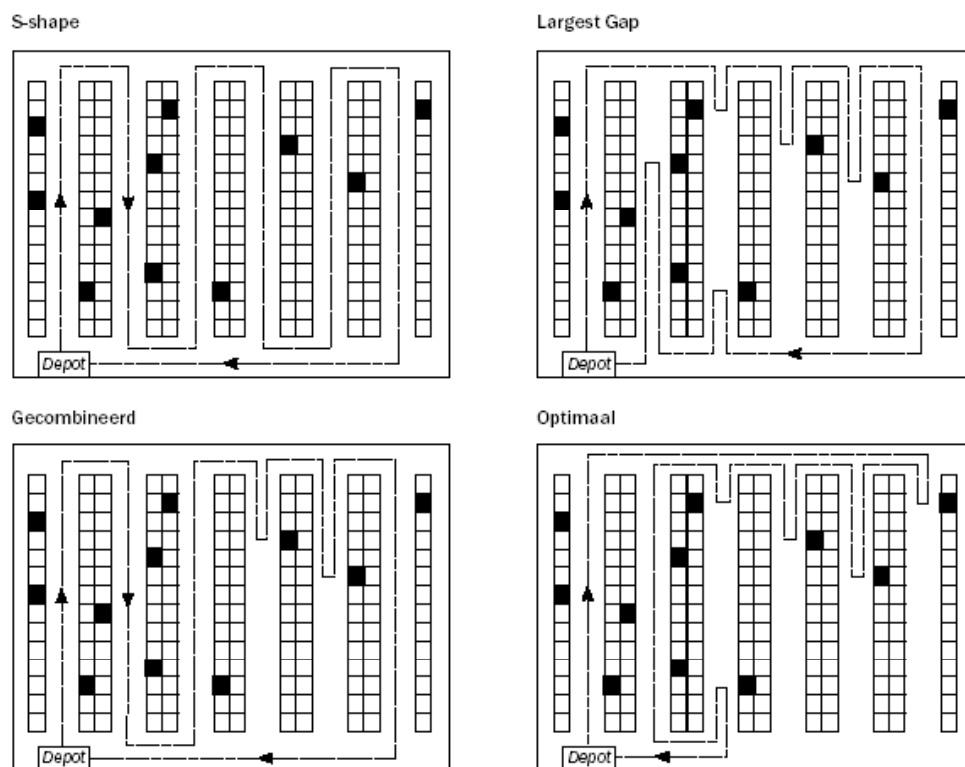
In dit geval wordt iedere gang ingegaan tot de "grootste opening". Vervolgens verlaat de orderverzamelaar de gang weer aan dezelfde kant als waar hij deze was binnengegaan. Op die manier is de grootse opening dat gedeelte van de gang, waar de orderpicker niet komt.

3. Gecombineerde methode

Bij deze methode wordt elke gang waar een product opgehaald moet worden één keer aangedaan. Voor iedere gang wordt bekeken wat het kortst is: de gang volledig doorlopen of de gang inlopen en aan dezelfde kant weer verlaten.

4. Optimale methode

Deze methode combineert de bovenstaande methodes en bepaalt steeds de beste optie, dat wil zeggen de route met de kortste afstand. De algoritmen voor dergelijke methoden zijn voor verschillende magazijn lay-outs ontworpen door onder andere Hall (1993) en Ratliff en Rosenthal (1983).



Figuur 4.8: Verschillende routeringsmethoden

Deze routeringsmethoden zijn in feite allemaal heuristieken die de optimale oplossing zo goed mogelijke benaderen. De ideale oplossing is de oplossing van het zogenaamde handelsreizigersprobleem. Daarnaast is uitgebreid onderzoek gedaan binnen de operations research (zie Ratliff en Rosenthal, 1983), maar zoals Gelders en Pintelon (1996) concluderen, blijkt dit op het eerste gezicht relatief eenvoudig uitziende probleem een moeilijk oplosbaar combinatorisch probleem te zijn, vooral indien men voor een probleem van realistische dimensie een optimale oplossing wil generen. Wat veelal blijkt uit de onderzochte literatuur is

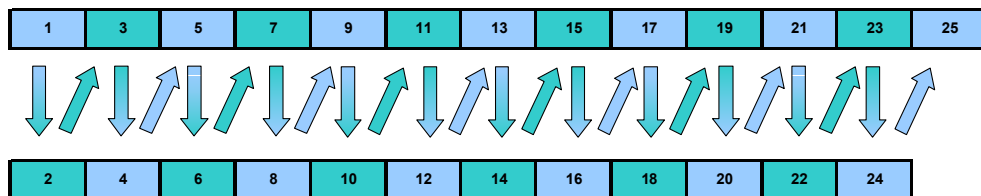
dat de daarin opgestelde heuristieken en algoritmen slecht beperkt toepasbaar zijn en dikwijls niet meer dan indicaties opleveren van de relaties zoals die zich manifesteren binnen de geldende situatie in een distributiecentrum.

De invloed van de verschillende methodes op de rijafstand is heel erg afhankelijk van de indeling van het orderpickercircuit en de karakteristieken van de opdrachten. Het wel of niet gebruiken van een orderverzamelwagen beïnvloedt de belangrijkheid van de rijafstand ten opzichte van de andere tijdscomponenten.

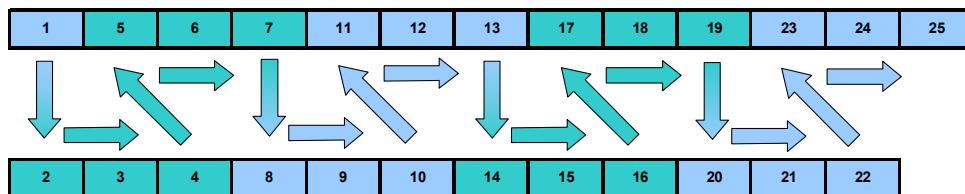
Moerkerken (2000) concludeert ten aanzien van de optimale methode dat deze leidt tot de kortst mogelijke af te leggen afstanden, maar dat de routes dikwijls onlogisch en verwarrend zijn voor de orderverzamelaar. Ook voor een theoretische benadering van het effect van de S-shape heuristiek op administratie-, rij- en grijptijd wordt verwezen naar Moerkerken (2000).

De Koster en Roodbergen (1999) vermelden dat de S-shape methode een zeer goede optie is als er gebruik gemaakt wordt van orderverzameltrucks of als er veel verzamelaars zijn en eenrichtingsverkeer noodzakelijk wordt om de congestie te verminderen. Het belang van een efficiënte doorstroming prevaleert dan boven korter rijafstanden. In het algemeen geldt dat toepassen van de juiste routeringsmethode voor een situatie tot kortere rijafstanden leidt

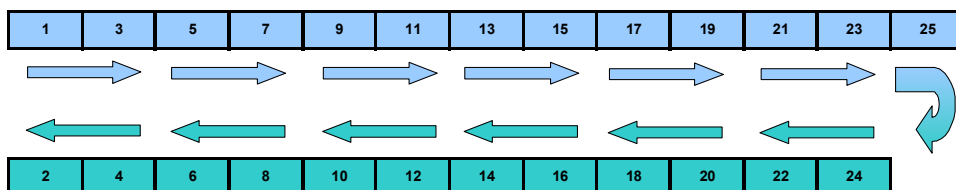
Naast de volgorde van de gangen, zoals hierboven besproken, kan ook de manier waarop de picklocaties elkaar binnen een gang opvolgen verschillend zijn. Het betreft hier het onderscheid tussen eenzijdig en tweezijdig picken. Als er eenzijdig wordt gepickt, wordt eerste de ene kant van de gang doorlopen en vervolgens de andere kant van de gang. Dit wordt *looping* genoemd. Wat betreft de volgorde van de gangkanten zijn er ook weer verschillende mogelijkheden (zie bijvoorbeeld figuur 4.9c). Binnen het tweezijdig picken worden twee varianten onderscheiden: *zig-zag picking* en *Z-picking*. In het eerste geval moet de orderpicker steeds de gang oversteken, in het tweede geval doet hij Z locaties aan de ene kant en vervolgens Z aan de andere kant. Zie verder figuur 4.9.



Figuur 4.9 a: Zig-zag-picking



Figuur 4.9 b: Z-picking



Figuur 4.9 c: Looping

Eenzijdig of tweezijdig orderpicken heeft gevolgen voor de rijafstand. Bij eenzijdig orderverzamen (looping) is de rijafstand theoretisch twee keer zo groot. Bij tweezijdig picken zullen er in de gang waarschijnlijk ook zig-zag bewegingen worden gemaakt tijdens het verplaatsen (omdat de orderverzamelaar afhankelijk van de volgende picklocatie zal wisselen van kant), waardoor het verschil minder wordt dan een factor twee.

De invloed op de grijptijd is onzeker: Bij tweezijdig orderverzamen zal de gemiddelde afstand van de orderverzamelwagen naar de picklocatie groter zijn. Bovendien zal de orderpicker bij de zig-zag methode regelmatig om het voertuig heen moeten lopen. Dit is ook het geval bij Z-picking als hij het voertuig onhandig neerzet (niet tussen de open ruimte binnen twee opeenvolgende Z-vormen). Echter, het aantal locaties per stop zal groter zijn (twee kanten in plaats van één), wat weer een positief effect heeft op de totale grijptijd van een opdracht.

4.8 Medewerker

Ook de menselijke factoren van zijn van belang. Het spreekt voor zich dat de persoonskenmerken van de orderpicker en de reachtrucker een groot gedeelte van het uiteindelijke resultaat bepalen. De belangrijkste persoonskenmerken zijn:

- opleiding en training
- motivatie
- ervaring
- coaching
- verantwoordelijkheidsgevoel
- accuraatheid

De factor mens is van grote invloed op het orderverzamelproces. Naast de algemene persoonskenmerken zijn ook andere factoren te onderkennen.

Allereerst is het werken met juiste taaktijden van belang. Daarbij gaat het om het correct vaststellen van de omstandigheden die van invloed zijn op de werkzaamheden en de bewerkingstijden die dat oplevert. Zijn de taaktijd te laag ingeschat, dan wordt er teveel van de orderpicker verwacht. Zijn ze te hoog ingeschat, dan zal de orderpicker zijn tempo hierop aanpassen (Starink, 2000). Dit geldt zelfs gedurende de dag. Als een orderpicker ziet dat de productie voorloopt zal hij minder snel geneigd zijn om een stapje extra te zetten. Daardoor zal de individuele productiviteit dalen. De huidige productiestatus is daarmee een factor die van invloed is op de werkelijk te realiseren capaciteit.

De wijze waarop de orderpicker zich door het circuit begeeft (stopstrategie, aantal colli per grijpbeweging) is voornamelijk afhankelijk van ervaring en motivatie. Een ervaren, gemotiveerde orderpicker zal weten wat het volgende product normaalgesproken is en hoe de Z in elkaar zit en hier ook gebruik van maken. Is de orderpicker onervaren of heeft hij er geen zin in, dan zal dit niet het geval zijn.

In het algemeen is het uiteraard de orderpicker die bepaalt hoe snel hij alles doet. Maar hij kan met zijn werkwijze ook de werkzaamheden voor andere orderpickers gemakkelijker maken. Zo kan hij de colli beter bereikbaar maken door zo nu en dan het restant naar voren te schuiven en door geen onnodig hoge stapels te laten staan. Dit zal voor zijn eigen paktijd een kleine toename betekenen, maar voor de totale paktijd betekent dit een afname.

Hetzelfde geldt voor de aanvuller en met name voor de SWAGer. De wijze waarop deze de nieuwe voorraad in de picklocatie zet, heeft invloed op het gemak waarmee de orderpicker de

producten kan pakken. Zo betekent niet verwijderen van de folie die om de pallet zit dat de orderpickers langer bezig zijn om de producten te pakken. Dit geldt ook voor het plaatsen van teveel colli op de picklocatie (te hoog, naast of achter de locatie). De orderpicker kan er minder goed bij en er is een kans dat de producten uit de locatie vallen. Het zodanig aanvullen dat de orderpicker optimaal zijn werk kan doen, betekent dat de aanvuller langer bezig is, maar het heeft een positieve invloed op de paktijd.

Daarnaast is organisatie van de inzet van orderpickers van belang. Hieronder wordt de taakverdeling en het aantal orderpickers per dienst per ophaalgebied verstaan. De inzet van te veel of te weinig orderpickers kan grote gevolgen hebben voor het orderpickproces. Tenslotte spelen de ARBO-regelingen een rol. Deze regels geven randvoorwaarden aan met betrekking tot de inzet van orderpickers.

4.9 Hulpmiddelen

Als laatste capaciteitsbepalende factoren komen de onderdelen van het material handling systeem, de hulpmiddelen waarover de orderpickers en de aanvullers beschikken, aan de orde. Zij bepalen in grote mate het gemak, waarmee de activiteiten uitgevoerd kunnen worden.

o Scanner

Het gebruik van een scanner levert een bijdrage aan het verminderen van het aantal pickfouten. De informatietijd (een onderdeel van de paktijd) zal echter hoger komen te liggen, omdat scannen over het algemeen meer tijd kost dan aflezen van een lijst. Door de barcodes die gescand moeten worden, duidelijk zichtbaar en op de juiste hoogte op te hangen, kan de extra tijd zoveel mogelijk beperkt worden.

o Orderpickvoertuig

Het gebruik van voertuig betekent een reductie van de rijtijd. De snelheidskarakteristieken bepalen een groot gedeelte van de rijtijd. De capaciteit van het voertuig bepaalt het aantal producten dat achter elkaar gepickt kan worden, en is daarmee van invloed op de totale rijafstand (alle afstanden per opdracht opgeteld). Immers, een grotere capaciteit betekent dat er groter opdrachten gelopen kunnen worden, waardoor de totaal benodigde rijafstand om dezelfde hoeveelheid producten te verzamelen afneemt.

De afmetingen van het voertuig geven de mogelijkheden voor inhalen en het aantal mogelijke stoplocaties in een gang aan. Hoe groter het voertuig, hoe moeilijker inhalen zal zijn en hoe beperkter de mogelijkheden zijn om meerdere stoplocaties te vinden waarvandaan een orderpicker bereid is om een producten uit een bepaalde locatie te picken.

Het aantal voertuigen dat tegelijkertijd ingezet wordt in een circuit is één van de belangrijkste factoren die de uiteindelijke capaciteit bepalen. Hoe meer orderpickers tegelijkertijd bezig zijn, hoe meer orders in een bepaald tijdsbestek gelopen kunnen worden, maar ook hoe groter de kans op congestie.

De afleghoogte, de hoogte waarop de orderpicker de gepickte colli moet stapelen, wordt ook bepaald door het voertuig. In DCP kunnen de lepels van de BT niet opgetild worden, wat betekent dat de orderpicker in het begin van de opdracht veel zal moeten bukken om een collo te stapelen.

o *Reachtruck*

Voor de reachtruck die gebruikt wordt bij het aanvullen geldt in grote lijnen hetzelfde. Echter, de interesse gaat hier alleen uit naar de versturende werking van het gebruik van deze voertuigen, aangezien ze binnen de gemaakt afbakening alleen nadelig bijdragen aan de capaciteit van het orderpickproces. De afmetingen van het voertuig bepalen in grote mate hoe ernstig deze versturende werking is. Daarnaast zijn de snelheidskarakteristieken van belang. Echter, voor de reachtruck zijn de hefkaracteristieken en de manoeuvreerbaarheid nog belangrijker, omdat juist gedurende de tijd dat een reachtrucker een pallet uit een bufferlocatie haalt of er één wegzet, de versturende werking het grootst is. Immers, hij blokkeert de gang dan volledig. Daarnaast geldt natuurlijk het aantal aanvullers dat tegelijkertijd aan het werk is in het circuit als een belangrijke congestiebepalende factor.

4.10 Schematisch overzicht

In dit hoofdstuk zijn volgens het raamwerk uit de eerste paragraaf de belangrijkste factoren beschreven die invloed hebben op de productiviteit en daarmee op de capaciteit. In het overzicht op de volgende bladzijde zijn al deze factoren ingevuld en is ook aangegeven op welk tijdscomponent van de drie hoofdprocessen ze invloed hebben. Tevens is in dit overzicht te zien hoe de volgende hoofdstukken zich verhouden tot dit hoofdstuk.

Hoofdstuk 5 vormt het eerste onderdeel van het kwantitatieve traject van het onderzoek. Het richt zich voornamelijk op de constructie van het simulatiemodel. In hoofdstuk zes worden dan de experimenten die met het model uitgevoerd zijn besproken. Zoals blijkt uit het overzicht is daar aandacht voor de indicatoren per activiteit, de indicatoren per gang en voor de drie belangrijkste indicatoren van het gehele circuit: de individuele productiviteit, de totale productiviteit en de capaciteit. Merk op dat al deze indicatoren direct of indirect zijn terug te voeren op één of meerdere van de factoren in het overzicht.

5. Modelconstructie

Om de capaciteit van de verscentrale van het DC te kunnen bepalen en dieper in te kunnen gaan op enkele belangrijke capaciteitsbepalende factoren is een simulatiemodel ontwikkeld. Op die manier kunnen ook kwantitatief uitspraken gedaan worden over de relevantie van deze capaciteitsbepalende factoren. Dit hoofdstuk bevat de beschrijving van de modelconstructie en vormt daarmee het tweede gedeelte van de specificatiefase.

Allereerst wordt in paragraaf één de keuze voor de gekozen modelleertechniek en het simulatiepakket verantwoord. Vervolgens worden in paragraaf twee en drie de afbakening en het aggregatieniveau van het model besproken. De volgende twee paragrafen bevatten de beschrijving van het model. Paragraaf 5.4 beschrijft het tactische niveau; de randvoorwaarden waarbinnen het operationele proces wordt uitgevoerd. Paragraaf 5.5 gaat dieper in op dit operationele proces. Binnen deze paragrafen komt ook de dataverzameling aan bod. Tot slot wordt in paragraaf 5.6 de behandelingsopzet beschreven, waarna in de laatste paragraaf de wijze waarop het model is geverifieerd en gevalideerd aan bod komt.

5.1 Keuze modelleertechniek

In deze paragraaf wordt de keuze voor de modelleertechniek toegelicht. In paragraaf 5.1.1 zullen de redenen voor het gebruik van een simulatiemodel worden uiteengezet. Vervolgens worden in paragraaf 5.1.2. kort de werkwijze en de specifieke voordelen van het gekozen simulatiepakket, AutoMod, beschreven.

5.1.1 Waarom simulatie?

Er is gekozen voor het maken van een simulatiemodel in het pakket AutoMod. Onder simulatie wordt verstaan: Het ontwerpen van een model van een bestaand systeem en het uitvoeren van experimenten met dat model. Dit met als doel het gedrag van het systeem te begrijpen en / of verschillende strategieën te evalueren (Shannon, 1975). Uit deze definitie blijkt dat het construeren van een simulatiemodel een belangrijke bijdrage kan leveren aan de doelstelling van dit onderzoek.

Naast simulatie zijn er diverse andere wiskundige technieken die gehanteerd kunnen worden bij dergelijke onderzoeken. De belangrijkste twee categorieën naast simulatie zijn spreadsheet- en operations research modellen. Hieronder wordt de motivatie om gebruik te maken van een simulatiemodel in plaats van dergelijke modellen weergegeven.

- Om de factoren in kaart te kunnen brengen is een model op gedetailleerd operationeel niveau noodzakelijk. Ook opdat daarmee inzicht kan worden verkregen in de kansen op bepaalde problemen (bijvoorbeeld congestie). Dit is te complex om daarbij gebruik te maken van OR-modellen. Die modellen zijn beter toepasbaar op tactisch niveau.
- Experimenteren met het systeem als geheel is te duur en veroorzaakt een ongewenste verstoring van het productieproces.
- Het dynamische karakter van de processen (objecten beïnvloeden elkaar voortdurend) en het tijdsaspect kunnen het beste tot uiting worden gebracht in een dynamisch simulatiemodel.

- De processen binnen het systeem kunnen door het gebruik van animatie relatief eenvoudig inzichtelijk worden gemaakt, zodat de interpretatie en presentatie van de resultaten eenvoudiger plaats kunnen vinden.
- Doel van het onderzoek is niet alleen het bepalen van de capaciteit, maar juist het vergroten van het inzicht in de factoren die van belang zijn bij de totstandkoming van deze capaciteit. De precieze grootte van de invloed van deze factoren is nog onbekend en kan met een simulatiemodel vastgesteld worden door verschillende experimenten uit te voeren. Zo kan de bottleneck opgespoord worden.
- Het model moet gebruikt kunnen worden om de capaciteit in andere (hypothetische) uitgangssituaties - ander DC, andere slotting, andere orderpickstrategie, andere methode om de opdrachten samen te stellen - te bepalen. Daarom moeten de indeling van de productieruimte en de aanvul-, buffer- en orderpickstrategie zoveel mogelijk door variabelen weergegeven worden. Een simulatiemodel biedt hiervoor de beste mogelijkheden.
- Logistiek is een belangrijk toepassingsgebied van simulatie. Belangrijke onderdelen van het te modelleren systeem, zoals de magazijnlay-out en -inrichting, de productstromen, de verkeersstromen, de uitgifte van orders en de capaciteitsplanning lenen zich goed om met behulp van een simulatiemodel nader onderzocht te worden.

5.1.2 Beschrijving simulatiepakket

AutoMod is een discreet, flow georiënteerd simulatiepakket. De belangrijkste reden voor het gebruik van AutoMod is dat dit pakket specifiek geschikt is voor warehouse- en material handling studies, omdat het beschikt over ingebouwde functionaliteiten om dit soort systemen gemakkelijk in kaart te brengen. Daarnaast hebben het paradigma, de animatiemogelijkheden, de programmeerwijze en de beschikbare expertise een rol gespeeld bij de keuze voor dit pakket.

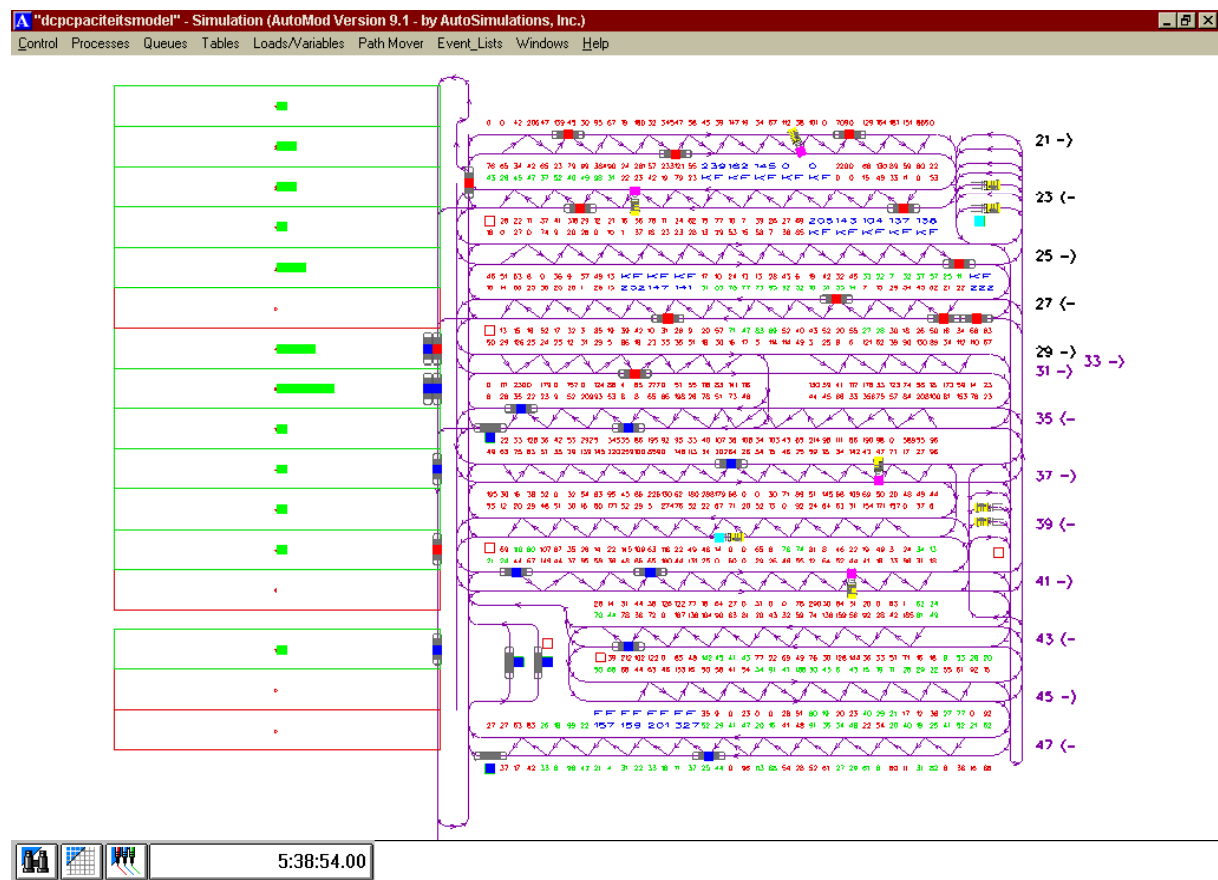
5.2 Afbakening

De grenzen van het te modelleren systeem zijn gelijk aan de in hoofdstuk 3 weergegeven afbakening. De ingaande stroom wordt gevormd door de producten van de leveranciers, de uitgaande stroom door de rolcontainers en roly's die in een vrachtwagen naar de filialen worden gereden. In deze paragraaf wordt verder ingegaan op de specifiek voor het model toegepast reductie.

Producten verschijnen voor het eerst in het model op het moment dat ze op een ontvangsteiland staan, ingeboekt en voorzien van een sticker met de bestemming. Ze verlaten het model op het moment dat de FCDO op strek wordt gezet. De controle- en laadactiviteiten maken dus ook geen onderdeel uit van het model. Het model beperkt zich tot de twee ophaalgebieden binnen vers 3.

In het model worden de drie bekende processen opgenomen; aanvullen bufferlocatie, aanvullen picklocatie en orderpicken. In het voorgaande zijn deze processen uitgebreid beschreven, zowel in theorie als in de Albert Heijn praktijk. In werkelijkheid hebben de processen duidelijke relaties in de tijd. Veelal initieert een activiteit in het ene proces een activiteit in het andere. Echter, in het model zijn de processen ontkoppeld en zijn ze terug te vinden zijn als verschillende transportprocessen met hun eigen opdrachten en voertuigen.

Voor de drie processen geldt in het algemeen dat verstoringen anders dan door andere orderpickers, aanvullers of bufferaars niet worden meegenomen. Denk hierbij aan kapotte BT's of scanners, breuk van producten, bufferen in gangen, geparkeerde BT's, enzovoorts. Deze keuze maakt het modelleren gemakkelijker en aangezien de interesse uitgaat naar de maximale productiviteit is het niet onrealistisch om te stellen dat er, om deze te kunnen halen, geen bijzondere verstoringen mogen zijn. Bovendien zou wel meenemen van deze verstoringen slechts leiden tot het toevoegen van extra tijdsvertragingen met een bepaalde kansverdeling. Voor de relaties binnen het model is dat niet relevant. De concepten waarop het model gebaseerd is zijn te vinden in de procesdiagrammen en -beschrijvingen in hoofdstuk 3. Figuur 5.1 laat zien hoe de animatie van het uiteindelijke simulatiemodel eruit ziet. De verschillende onderdelen van het model worden in het vervolg van dit hoofdstuk besproken.



Figuur 5.1: Animatie van het simulatiemodel

5.3 Aggregatieniveau

Ook hier worden de drie detailniveaus, strategisch, tactisch en operationeel, gehanteerd. Het model richt zich op activiteiten die plaatsvinden op operationeel niveau. Het gaat dan om dagelijkse uitvoering van de werkzaamheden door de medewerkers, in dit geval de orderpickers en reachtruckers, en de wijze waarop ze dat willen en kunnen doen. Uit het in kaart brengen van het operationele niveau met behulp van het model kan lering getrokken worden voor het tactisch niveau. Bijvoorbeeld door beslissingen op dat niveau met betrekking tot de productiviteit beter te kunnen onderbouwen. Kijkend naar figuur 4.1 uit hoofdstuk 4 geldt dat het operationele niveau van het opslag- en het orderverzamelstelsel wordt

gemodelleerd. De aspecten op tactisch en strategisch niveau gelden als randvoorwaarden voor het model, waarbij voor de tactische keuzes geldt dat deze beperkt variabel zijn.

5.4 Beschrijving DCP capaciteitsmodel op tactisch niveau

In deze en de volgende paragraaf wordt het model beschreven. Daarbij komt ook de data die gebruikt is als input voor het model aan bod. De data is voornamelijk gebaseerd op informatie verkregen uit de diverse informatiesystemen bij DCP, expertschattingen, eerder verrichte onderzoeken, gehouden vraaggesprekken en praktijkwaarnemingen. De gegevens zijn op verschillende manieren verwerkt en opgenomen in het model. Voor zover gegevens beschikbaar waren zijn deze direct (ophaalopdrachten, aanvulbewegingen, afmetingen) gebruikt of gefit op een theoretische kansverdeling (vrijwel alle procestijden). Indien gegevens niet of onvolledig voorradig waren is een theoretische kansverdeling (enkele procestijden) of een constante waarde (aantal picklocaties per stop) aangenomen op basis van expertschattingen.

Aan de hand van de indeling uit hoofdstuk vier, wordt hier de invulling van het tactische en in mindere mate het strategische niveau besproken. Dit is in feite de omgeving waarbinnen de drie hoofdprocessen dagelijks worden uitgevoerd. De nadruk ligt op het aangeven van de gedane aannames en de toegepaste reducties en vereenvoudigingen.

5.4.1 Lay-out

De afstanden in het model zijn overgenomen van de plattegrond van het DC. Daarbij is geprobeerd zoveel mogelijk de gangbare routes als trajecten in het model op te nemen. Omdat er in het model in tegenstelling tot de werkelijkheid geen sprake is van een ruimte waarin een voertuig zich in principe vrijelijk kan bewegen – er moet gewerkt worden met vaste trajecten – is dit niet altijd mogelijk geweest.

De indeling van het orderpickercircuit is zoveel mogelijk overeenkomstig de werkelijkheid. De twee ophaalgebieden binnen de vers 3 afdeling worden gemodelleerd. Een plattegrond van deze ophaalgebieden is opgenomen in bijlage 1. In onderstaande tabel is de indeling van de verscentrale van DCP in ophaalgebieden weergegeven. De gemodelleerde gebieden zijn geel gekleurd.

Ohgb	Omschrijving	Gangnummers	Aantal locaties	Ladingdrager
010	Vers 1	62, 64, 66, 68	320	Rolly
022	Vers 2 2°C	51, 53, 55, 57	278	Rolly
024	Vers 2 14°C niet LTB	10, 11	82	Container
025	Vers 2 14°C LTB	12, 13, 14, 16	100	Container
031	Vers 3 Rolly	21, 23, 25, 27, 29	522	Rolly
032	Vers 3 Container	31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47	630	Container

Tabel 5.1: Indeling in ophaalgebieden

De gangen en de bochten bepalen de te maken fysieke verplaatsingen van de orderpicker. De breedte van de gangen bepaalt hoeveel BT's elkaar kunnen passeren en bepaalt tevens de toegankelijkheid van picklocaties bij drukte in de gang. De breedte van een ophaalgang

bedraagt 3,60 meter. Dit betekent dat maximaal twee voertuigen zich naast elkaar in de gang kunnen bevinden. Ook geldt dat de gang volledig geblokkeerd is als een reachtruck daarin aan het manoeuvreren is. Alle pickgangen zijn eenrichtingsverkeer.



Figuur 5.2 (l): "Dit betekent dat maximaal twee voertuigen zich naast elkaar in de gang kunnen bevinden." (r): "Ook geldt dat de gang volledig geblokkeerd is als een reachtruck daarin aan het manoeuvreren is."

De hoofdverkeersgang kan in twee richtingen bereden worden. Deze wordt gemodelleerd met de aanname dat er niet over de strekken gereden wordt. Dit is overigens wel realistisch, omdat de strekken behoorlijk vol staan op een drukke dag en vooral de polarboxen (die aan het eind van het strek staan) inhalen over de strekken dan vrijwel onmogelijk maken. Het betekent dat er maximaal drie BT's naast elkaar kunnen rijden in de hoofdgang. Het is wel mogelijk dat twee orderpickers tegelijk een FCDO wegzetten op hetzelfde strek. De gang aan de achterkant van het circuit wordt behalve door de orderverzamelaars die van gang wisselen, vooral gebruikt door de aanvullers. Gangen en bochten worden in het model opgenomen als trajecten waarop zich steeds beslismomenten voordoen voor de orderpicker, waar de te volgen richting of uit te voeren actie (remmen, wachten, optrekken) bepaald kan worden. Opgemerkt moet worden dat gang 29 in het model een combinatie is van de werkelijke gangen 29, 31 en 33. Zoals blijkt uit de plattegrond is dit fysiek één gang, die om administratieve redenen gescheiden is. Registratie van kentallen is echter alleen mogelijk bij een duidelijk begin- en eindpunt van iedere gang. Daarom is er voor gekozen om gang 29, 31 en 33 samen te voegen tot één gang, gang 29.

Een afmeldstation bestaat uit één afmeldpunt en één laadpunt, die zich naast elkaar in een kast bevinden. Van één laadstation kan slechts één orderpicker tegelijk gebruik maken. Er bevinden zich 6 afmeldkasten in het circuit in de oneven gangen (de gangen die uitkomen op de hoofdgang). Daarnaast is er een laadpunt bij de portocabine.

Er zijn twee opzetspunten voor ladingdragers. De roly's bevinden zich naast de portocabine, de rolcontainers in een containerbaan tussen gang 47 en 57. In het model is dit opgenomen als één locatie, waar maximaal twee orderverzamelaars tegelijk dragers op hun BT kunnen plaatsen. In de praktijk is het aantal orderpickers dat daar tegelijk ladingdragers op zijn BT kan zetten afhankelijk van hoe de BT wordt neergezet en wat er verder nog in de weg staat.

De strekken vormen de bestemming van de gevulde rolcontainers (FCDO's). In het model worden de strekken alleen meegenomen om de afstand te bepalen die de orderpickers met de gepickte rolcontainers af moeten leggen. Zodra ze op strek zijn geplaatst verdwijnen de FCDO's uit het model. Capaciteit van het strek en de handelingen die daar plaats vinden worden dus niet meegenomen.

5.4.2 Opslagsysteem

Het opslagtype, de producten en de slottingsmethode maken deel uit van het opslagsysteem. De wijze waarop ze zijn opgenomen in het model wordt in deze paragraaf beschreven.

Opslagtype

Het model maakt alleen onderscheid tussen de verschillende opslagtypes wat betreft de fysieke afmetingen en de aanvulkenarakteristieken. Dit heeft als gevolg dat de omzet per meter gang in het model overeenkomt met de omzet per meter gang in de werkelijkheid. Tevens betekent dit dat de aanvulrequentie - voornamelijk bepaald door de capaciteit van de locatie - in grote lijnen overeenkomt met de werkelijkheid. In eerste instantie worden de grijpkenarakteristieken, zoals de hoogte en de diepte van de picklocatie, niet meegenomen. Voor de fysieke afmetingen wordt het volgende aangehouden: Eén stellingsectie is 2,80 meter breed, daarbinnen passen twee normaalallocaties, vier komlocaties of één flowrack. Voor de laatste is het aantal picklocaties zoals bekend afhankelijk van het type. Zie tabel 5.2 voor een overzicht van de in vers 3 gehanteerde en in het model opgenomen opslagtypen.

Opslagtype	# locaties per sectie
Normaalallocatie / palletlocatie (NM)	2
Komlocatie onder (KO)	2
Komlocatie boven (KB)	2
Flowrack 2x6	12
Flowrack 3x6	18

Tabel 5.2: Opslagtypen vers 3

Voor de duidelijkheid: er bevinden zich altijd 2 kom onder en 2 kom boven locaties in één sectie. In het model worden volgnummers gehanteerd die één normaalallocatie, één komlocatie (kom onder plus kom boven) of één flowrack aanduiden. Het aantal picklocaties per volgnummer verschilt dus. Indien dit aantal groter is dan één dan worden de te pakken colli uit die picklocaties opgeteld en op die manier opgenomen in de ophaalopdracht.

Het is bekend dat de verschillende opslagtypen verschillende aanvulkenarakteristieken hebben. Bij flowracks moet er per krat of per colli aangevuld worden aan de achterkant van de picklocatie. Bij andere opslagtypen per pallet aan de voorkant. Hoe dit is opgenomen in het model komt bij de beschrijving van het aanvulproces in paragraaf 5.5.2 aan de orde.

De bufferlocaties worden in tegenstelling tot de picklocaties zeer vereenvoudigd opgenomen in het model. Ze bevinden zich boven de picklocaties tot maximaal drie lagen hoog. Behalve hun plaats in het circuit worden er geen kenmerken van de bufferlocaties meegenomen. Opgemerkt moet worden dat het volgnummer van buffer- en picklocaties in het model niet overeenkomen, aangezien er ook bufferlocaties boven de achterkant van de flowracks en

boven de afmelkasten zijn. Bovendien zijn er boven één flowrack (één volgnummer) twee bufferlocaties (twee volgnummers).

Producten

Het merendeel van de productkarakteristieken wordt alleen indirect meegenomen via de slotting van het product. Veel van deze kenmerken beïnvloeden ook de paktijd. In het model wordt hiervoor echter een vaste verdeling aangenomen. Afmetingen en gewicht zijn ook van belang voor de opdrachtsamenstelling. Aangezien er wordt gewerkt met werkelijk gelopen ophaalopdrachten hoeven deze karakteristieken niet ook nog apart meegenomen te worden. Het aantal te pakken producten wordt, zoals beschreven, per volgnummer bepaald.

Slottingsmethode

De methode waarmee de producten geslot worden maakt geen onderdeel uit van het model. In het model is de huidige slotting opgenomen. De in het kader van de dataverzameling geconstrueerde database bevat de slotting, waarin voor iedere locatie opgezocht kan worden welke producten er liggen en omgekeerd. Omdat de producten niet expliciet in het model bekend zijn, betekent dit in feite niets anders dan dat de route die een orderverzamelaar voor een bepaalde ophaalopdracht moet afleggen in overeenstemming met deze slotting is.

5.4.3 Orderverzamelsysteem

De bestellingen komen niet terug in het model. De bestellingen worden door OMEGA en Group-pick verwerkt tot ophaalopdrachten. Deze vormen de input voor het model.

Het model werkt met werkelijke ophaalopdrachten. Deze zijn gereconstrueerd op basis van de inhoud van de uitgaande FCDO's, de FCDO's behorende bij een opdracht en de locaties van de verschillende producten in het circuit. Dit betekent dat de doorhalingen geen onderdeel uitmaken van de opdrachten.

Aangezien er twee ophaalgebieden zijn opgenomen in het model zijn er ook twee groepen opdrachten. Dummy opdrachten maken geen deel uit van de opdrachtnet. De set opdrachten kan meerder keren gelopen worden. De belangrijkste kenmerken van een ophaalopdracht zijn:

- ophaalgebied
- begingang
- aantal colli per locatie
- eindgang
- afmeldpunt

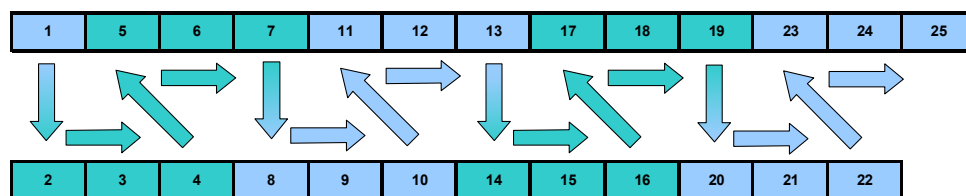
Omdat gewerkt wordt met reeds samengestelde opdrachten komen wat betreft de orderverzamelmethode veel beïnvloedingsfactoren niet expliciet in het model voor, maar slechts indirect via die ophaalopdrachten. Dit geldt onder andere voor afwegingen op het gebied van sequentieel versus parallel, zonepicking, batching en het gehanteerde algoritme. De gevolgen van de wijze waarop de opdrachten worden samengesteld komen tot uitdrukking in de activiteiten die deel uit maken van het orderpickproces. De kenmerken van de orderverzamelmethode, die in DCP gehanteerd wordt, zijn parallel, per verzamelorder, batchgewijs, zonepicking en scannend met een BT. In het model wordt dit zo goed mogelijk nagebootst.

Wel expliciet opgenomen in het model is de opdrachtuitgifte. In eerste instantie worden de opdrachten in dezelfde volgorde uitgegeven als in de werkelijke situatie, waarbij een orderpicker onmiddellijk een nieuwe opdracht krijgt als hij klaar is met de vorige. De

volgorde kan echter ook op basis van bepaalde criteria aangepast worden, zoals zal blijken bij het uitvoeren van de experimenten (zie hoofdstuk 6).

Het tweede belangrijke onderdeel van het orderverzamelsysteem op tactisch niveau is de routeringsmethode. Het is goed hier nogmaals duidelijk het verschil tussen de orderverzamelmethode en de routeringsmethode aan te geven. Met de eerste methode wordt bepaald welke colli in een ophaalopdracht komen, waarna met de tweede wordt bepaald in welke volgorde die colli opgehaald moeten worden. Uiteraard is er een wisselwerking; het samenstellen gebeurt zodanig dat de route minimaal is.

De routing wordt vooral bepaald door de keuze voor eenrichtingsverkeer. Gegeven de begingang en de eindgang van een opdracht, is er dan alleen nog sprake van routeringsmogelijkheden *binnen* een pickgang. Bij AH wordt daarvoor Z-picking gehanteerd. Binnen vers 3 wordt gewerkt met een Z van drie, wat betekent dat de opeenvolging van de locaties in een gang vast is en dat per drie locaties de gangkant wisselt. Zie figuur 5.3 waarin dit schematisch wordt weergegeven.



Figuur 5.3: Z-picking

5.4.4 Medewerkers

De orderpicker wordt vereenvoudigd in het model. In werkelijkheid is iedere orderpicker anders. Dit wordt veroorzaakt door persoonskenmerken als opleiding, ervaring, verantwoordelijkheid, accuraatheid, motivatie enzovoorts. Deze kunnen echter heel moeilijk in het model opgenomen worden. Daarom zal uitgegaan worden van een gemiddelde orderpicker. Dit betekent dat iedere orderpicker dezelfde stopstrategie en werkwijze heeft.

Verder is de orderpicker onbeperkt inzetbaar en kan ieder willekeurig aantal op ieder moment ingezet worden, wat betekent dat de indeling in diensten en pauzes niet opgenomen worden in het model. Dit is ook logisch, omdat het doel van het model is om inzicht te verkrijgen in de maximale productiviteit gedurende een tijdsperiode. Wel moet bij het interpreteren van de uitkomsten rekening worden gehouden met de zogenaamde persoonlijk verzorging (kletsen met collega's, naar het toilet), opdat niet uitgegaan wordt van onrealistische hoge productiviteiten.

Voor de reachtruckers gelden in grote lijnen dezelfde vereenvoudigingen. Ook zij werken allen op dezelfde manier en kennen geen diensten of pauzes. In tegenstelling tot de inzet van orderpickers is de inzet van het aantal reachtruckers echter vast. Het aantal transportbewegingen dat ze uitvoeren is wel variabel.

5.4.5 Hulpmiddelen

De BT's en de reachtrucks worden gemodelleerd als verschillende voertuigen met de volgende karakteristieken:

	BT	Reachtruck
Snelheid recht (m/s)	2,88	2,80
Snelheid bocht (m/s)	1,48	1,40
Versnelling (m/s²)	1,20	1,00
Vertraging (m/s²)	2,80	2,40
Capaciteit	4 ladingdragers	1 pallet
Afmetingen (m x m)	3,40 x 0,80	3,10 x 1,00

Tabel 5.3: Voertuigkarakteristieken

De voertuigen gebruiken dezelfde trajecten. Aanname is dat het voertuig en zijn bestuurder altijd de kortste weg zoeken (en vinden) en op maximale snelheid rijden (zodra die bereikt is). Inhalen en stoppen wordt geregeld via beslisregels (zie paragraaf 5.5.1).

Ten aanzien van het aantal beschikbare BT's en reachtrucks geldt hetzelfde als voor de orderpickers en de reachtruckers: er zijn altijd genoeg voertuigen. Om die reden is het ook niet interessant om downtime in verband met opladen of reparatie mee te nemen.

De scanner is alleen indirect terug te vinden in het model in de paktijd, waar een scantijd in zit. Ook scanners gaan in het model nooit kapot en de voorraad is onuitputtelijk.

5.5 Beschrijving DCP capaciteitsmodel op operationeel niveau

Nu beschreven is hoe het tactische niveau is opgenomen in het model, kunnen de operationele processen in meer detail beschreven worden. Per activiteit wordt in de drie volgende paragrafen aangegeven hoe deze is gemodelleerd en welke aannames gedaan zijn.

5.5.1 Orderpicken

Het orderpicken bestaat in het model uit de volgende onderdelen:

Laden ophaalopdracht

De eerste keer laden alle orderverzamelaars een ophaalopdracht bij de portocabine. Om een onrealistisch lange wachtrij te voorkomen is de oplaadtijd de eerste keer op nul gezet. Op die manier kunnen alle orderverzamelaars zich, nadat ze de ladingdragers hebben gepakt, snel verspreiden over het circuit.

In het vervolg laden de orderpickers de opdrachten bij de afmeldkast waar ze hun vorige opdracht hebben afgemeld. Iedere orderpicker kan bij alle afmeldkasten ophaalopdrachten voor beide ophaalgebieden toegewezen krijgen. In het model is het type opdracht herkenbaar aan de kleur van de BT; rood is het krattencircuit, blauw het dozencircuit.

Als alle opdrachten een keer zijn uitgegeven (er zijn ruim 500 verschillende opdrachten), kan de opdrachtenset opnieuw gebruikt worden.

Opzetten ladingdrager

Bij de portocabine neemt de orderverzamelaar één van de twee opzetzpunten in beslag en plaatst afhankelijk van de geladen opdracht vier rolcontainers of vier rollen op de lepels van de BT. Hiervoor gelden verschillende tijdsvertragingen, omdat rollen gemakkelijker en sneller opgezet kunnen worden dan rolcontainers.

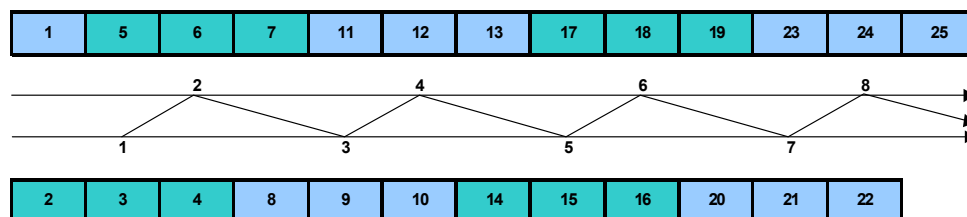
Ook het opzetten van de ladingdragers levert de eerste keer geen tijdsvertraging op. Bij de volgende opdrachten kijkt de orderverzamelaar of er een plekje vrij is bij één van de twee opzetzpunten en als dat het geval is neemt hij die plek in beslag. Zo niet, dan wacht hij totdat één van de twee orderverzamelaars voor hem klaar is.

Lopen opdracht

Zodra een opdracht is toegewezen aan een orderpicker (vormgegeven door een "load" in het model) is het voertuig bekend met de begingang en de eindgang van de opdracht. Op basis van de eindgang, wordt het dichtstbijzijnde afmeldpunt toegewezen. Vervolgens krijgt het voertuig de opdracht naar dit afmeldpunt toe te rijden. Onderweg wordt het voertuig aangestuurd door "vehicle procedures" en "vehicle functions". Iedere keer dat het voertuig een control point passeert treden één of meerdere van deze functies in werking. Een control point is een fysieke locatie op een route, aangegeven door een kruisje. De procedures en functions zorgen ervoor dat het voertuig in de begingang van de opdracht aankomt.

In iedere pickgang zijn stoplocaties gedefinieerd, waarvandaan een orderpicker bepaalde picklocaties kan bereiken om de benodigde colli te pakken. Daarvoor zijn de volgende aannames gedaan over de werkwijze van de orderpicker:

- Vanaf een stoplocatie pikt een orderpicker maximaal zes locaties, drie aan iedere kant van de gang. (Dit is in feite een hele Z.)
- Per drie locaties is er één stoplocatie gedefinieerd.¹⁶
- Iedere locatie kan vanaf twee verschillende stoplocaties gepickt worden. Deze stoplocaties bevinden zich altijd ieder aan een andere kant van de gang.



Figuur 5.4: Trajecten en stoplocaties in een pickgang

In figuur 5.4 zijn de trajecten en de stoplocaties aangegeven. Vanaf stoplocatie 2 kunnen de locaties 5, 6 en 7 aan de ene kant van de gang en 8, 9 en 10 aan de andere kant gepickt worden. Vanaf stoplocatie 3 zijn dat de locaties 8, 9 en 10 en dan 11, 12 en 13. Als stoplocatie 3 bezet is, dan zal een orderpicker die vanaf stoplocatie 1 komt en iets moet picken in locatie 8 uitwijken naar stoplocatie 2.

¹⁶ Dit is $3 \times 1,40 \text{ m} = 4,20 \text{ m}$. Gezien de lengte van een BT (3,40 m), is dat geen probleem.

Eenmaal in de pickgang maakt de orderpicker (de "load") bij iedere stoplocatie twee afwegingen:

- Op remafstand van de volgende stoplocatie: Maakt één van de picklocaties die gepickt kunnen worden vanaf die stoplocatie deel uit van mijn opdracht? Zo ja, dan begint het voertuig te remmen en komt tot stilstand op de stoplocatie. Zo nee, dan rijdt het voertuig door.
- Voor de splitsing bij iedere stoplocatie: Is de volgende stoplocatie in de richting waarin ik me verplaats bezet? Zo ja, dan wijkt het voertuig uit naar het andere pad in de gang en rijdt om zijn voorganger heen. Zo nee, dan rijdt het voertuig door. Dus als het voertuig geen voorgangers moet inhalen, zal het niet van pad veranderen.

Als het voertuig gestopt is, begint de orderverzamelaar met het picken van de colli uit de locatie die de reden voor de stop was. In het model levert dit voor iedere collo een tijdsvertraging op. Deze tijdsvertraging representeert de activiteiten scannen, lopen, bukken, pakken, strekken, omdraaien, lopen en stapelen. Als alle colli van die locatie gepakt zijn, bepaalt de orderpicker of één of meerdere van de overige picklocaties die vanaf die stoplocatie gepickt kunnen worden onderdeel uitmaken van zijn opdracht. Is dit het geval, dan zal hij deze op volgnummer ook picken. Vergelijken we dit met de werkelijkheid, dan zijn dit de picklocaties die vanaf de huidige stoplocatie lopende gepickt kunnen worden. Het model doet dus een aanname aangaande het moment waarop een orderpicker de afstand te ver vindt en eerst weer een stuk gaat rijden.

Op deze manier gaat de orderpicker alle gangen waar iets gepickt moet worden door, en zal hij uiteindelijk bij het afmeldpunt uitkomen.

Afmelden opdracht

Zodra het voertuig de afmeldkast bereikt heeft, neemt hij het control point voor de kast en de capaciteit van de kast zelf volledig in beslag, voor zolang als het duurt om af te melden, stickers uit te draaien, deze aan de ladingdragers te bevestigen en een nieuwe opdracht te laden. Dit is vormgegeven door één tijdsvertraging. In het model worden hier ook de bestemmingsstrekken van de ladingdragers gegenereerd. Dit gebeurt door steeds vier strekken uit een opeenvolgende groep van acht strekken te kiezen als bestemming. Dit is gebaseerd op de werkelijke situatie, waarbij de strekken in blokken van acht opschuiven in de tijd.

Wegzetten op strek

Als de orderverzamelaar klaar is bij de afmeldkast, zijn de vier strekken waarop de ladingdragers weggezet moeten worden ook bekend. Hij bepaalt hiervoor altijd de kortste route, zodat het voertuig nooit teruggedreven hoeft te worden. Bij een bestemmingsstrek stopt de orderpicker zijn BT en zet een FCDO weg. Daarna begeeft hij zich naar het volgende strek. De FCDO's verdwijnen na 10 minuten automatisch van het strek.

Invullen van het orderpickproces zoals dat is opgenomen in het model in de theoretische beschrijving van het orderpickproces uit paragraaf 4.4 levert het volgende:

$$\text{cyclustijd:} \quad T_c = T_a + T_r + T_g$$

waarbij:

$$\text{administratietijd:} \quad T_a = V_{\text{opzettijd}} + V_{\text{afmeldtijd}}$$

$$\text{rijtijd:} \quad T_r = \frac{\sum_i (L_{gi} + L_{bi})}{v_{BT}} + T_w$$

waarbij:

$$\text{wegzettijd:} \quad T_w = \frac{L_a}{v_{BT}} + 4 * V_{\text{wegzetten_FCDO_tijd}}$$

$$\text{grijptijd:} \quad T_g = \sum_l T_{p,l}$$

waarbij:

$$\text{paktijd:} \quad T_{p,l} = V_{\text{looptijd_naar_Ploc}} + (V_{\text{paktijd}} * V_{\text{aantal_colli_loc}(l)})$$

In tabel 5.4 staan de waarden van de gebruikte variabelen weergegeven. De variabelen die beginnen met V_ zijn precies zo opgenomen in het simulatiemodel.

Variabele	Waarde	Omschrijving
L_g	variabel per gang	lengte gang
L_b	variabel per bocht	lengte bocht
L_a	variabel per opho	afstand van afmeldpunt naar opzetpunt via 4 strekken
v_{BT}	2,88 m/s	gemiddelde snelheid BT
I	variabel per opho	index gangen in ophaalopdracht
L	variabele per opho	index picklocaties in ophaalopdracht
$V_{\text{opzettijd_rollies}}$	TRIA(16,38.5,51)	opzetten 4 rollies
$V_{\text{opzettijd_rolcontainers}}$	TRIA(47, 87.7, 210)	opzetten 4 rolcontainers
$V_{\text{looptijd_naar_Ploc}}$	3	lopen van BT naar pickloc en terug (1x per picklocatie)
V_{paktijd}	TRIA(8,12,14)	pakken en stapelen van 1 collo
$V_{\text{afmeldtijd}}$	TRIA(71, 97.4, 282)	afmelden opho, uitdraaien stickers, bevestigen stickers, laden nieuwe opho
$V_{\text{wegzetten_FCDO_tijd}}$	TRIA(43, 93.1,310)	wegzetten op strek van 1 FCDO
$V_{\text{aantal_colli_loc}}$	variabel per pickloc	aantal te picken colli per picklocatie

Tabel 5.4: Variabelen orderpickproces

Deze opbouw van de cyclustijd is in grote lijnen ook vergelijkbaar met de wijze waarop Group-pick de geplande doorlooptijd van een opdracht berekend (zie paragraaf 3.4.2). Dat is natuurlijk logisch, want beiden gaan over hetzelfde proces. Grote verschil is dat de waarden in het model variabel zijn, terwijl de parameters die Group-pick hanteert constant zijn.

5.5.2 Aanvullen

Allereerst wordt het aanvullen van de bufferlocatie besproken. Dit zijn transportbewegingen van een ontvangsteiland naar een bufferlocatie en terug. Er zijn twee ontvangsteilanden in het vers 3 circuit. Vanaf ieder ontvangsteiland rijdt één reachtrucker de binnengekomen pallets naar de bufferlocaties in het circuit. Het aanvulproces in het simulatiemodel bestaat uit de volgende stappen:

- wachten op levering op het ontvangsteiland
- oppakken eerste pallet van levering
- rijden naar de bufferlocatie die is toegewezen aan de betreffende pallet
- draaien van de reachtruck voor de bufferlocatie
- heffen
- wegzetten van de pallet in de bufferlocatie
- dalen
- terugdraaien van de reachtruck in de gangrichting
- terugrijden naar ontvangsteiland

Na het afronden van één cyclus pakt de reachtrucker altijd de volgende pallet van hetzelfde product (indien er meer pallets zijn). Anders pakt hij de volgende pallet van dezelfde levering. Heeft hij de gehele levering weggereden dan wacht hij op de volgende levering. De leveringen worden aangemaakt op basis van werkelijke leveringen. De levertijden worden ingelezen door het model. Alleen de bewegingen tussen 23.00 uur en 17.00 uur worden gebruikt, aangezien dan interactie met het orderpickproces plaatsvindt.

Voor sommige experimenten is het noodzakelijk om een hogere aanleverfrequentie in het model op te nemen (indien er sprake is van een hogere omzet). Dit is mogelijk door de aanlevertijden met een bepaalde factor te vervroegen. Op basis van dezelfde werkelijke bewegingen kunnen dan extra bewegingen gegenereerd worden.

De toewijzing van een bufferlocatie wordt als volgt gesimuleerd: Aangenomen is dat de bufferlocatie zich over het algemeen dichtbij de picklocatie bevindt. Dit wordt in de praktijk ook altijd zoveel mogelijk geprobeerd. De dichtstbijzijnde stoplocatie van de bijbehorende picklocatie geldt daarom als de bestemming van de transportbeweging. Dit geldt niet indien de picklocatie in een flowrack ligt. Dan is de stoplocatie aan de aanvulkant van dat flowrack in de achterliggende gang de bestemming.

Het rijden door de gangen en het eventueel inhalen wordt op dezelfde manier aangestuurd als bij het orderpickproces. Het eenrichtingsverkeer in de pickgangen wordt ook gerespecteerd door de aanvuller. Dit is in de werkelijkheid niet zo, maar in het model is het niet mogelijk om selectief eenrichtingsverkeer op een werkbare manier in te voeren. Daarom is dit gecompenseerd door de overige procestijden iets te verlagen ten opzichte van de werkelijke situatie. Tijdens het wegzetten van de pallet in de bufferlocatie blokkeert de reachtrucker de pickgang volledig. Dit is het geval vanaf het moment dat het draaien voor de bufferlocatie wordt ingezet, totdat de reachtruck weer volledig teruggedraaid in de richting van de gang op de stoplocatie staat.

Ook hier kan de algemene formule uit paragraaf 4.2 worden ingevuld met de variabelen uit het simulatiemodel:

$$\text{cyclustijd:} \quad T_c = T_x + T_h$$

waarbij:

$$\text{horizontale tijd:} \quad T_x = L_b / v_x$$

$$\text{handlingtijd:} \quad T_h = V_{\text{paktijd_pallet}} + 2(V_{\text{positioneertijd}} + V_{\text{draaitijd}}) + V_{\text{pallet_grijptijd1}}$$

De verticale tijd en de administratietijd zijn in vergelijking met de theoretische formule verdwenen. De verticale tijd maakt onderdeel uit van $V_{\text{pallet_grijptijd1}}$. Met deze variabele worden de activiteiten heffen, wegzetten in bufferlocatie en dalen met één tijdsvertraging beschreven. De administratietijd is niet van toepassing omdat de aanvuller niets registreert. Tabel 5.5 bevat de gehanteerde variabelen.

Variabele	Waarde	Omschrijving
L_b	variabel per aanvulbeweging	afstand ontvangsteiland –bufferloc en terug
$L_{b,p}$	variabel per SWAGbeweging	afstand bufferloc-pickloc
v_x	2,80 m/s	horizontale snelheid reachtruck
$V_{\text{paktijd_pallet}}$	TRIA(5,10,18)	pakken pallet op ontvangsteiland
$V_{\text{positioneertijd}}$	1	bewegen reachtruck naar midden gang en terug
$V_{\text{draaitijd}}$	3	draaien BT naar bufferlocatie en terug
$V_{\text{pallet_grijptijd1}}$	TRIA(5, 17,5 , 29)	plaatsen pallet in bufferlocatie (aanvullen) of pakken pallet uit bufferlocatie (SWAG)
$V_{\text{pallet_grijptijd2}}$	TRIA(24, 60.8, 152)	plaatsen volle pallet in pickloc, overstapelen, verwijderen folie, terugzetten pallet
$V_{\text{registratietijd}}$	TRIA(3, 10, 28)	opzoeken bufferlocatie product in systeem of registreren verplaatsing (allen bij SWAG)

Tabel 5.5: Variabelen aanvulproces

Het aanvullen van de picklocaties wordt gemodelleerd in de vorm van zeven reachtruckers die vertrekken vanaf één van de twee ontvangsteilanden en hier ook terugkeren als ze niets te doen hebben. Bij het uitvoeren van één SWAGcyclus doorloopt een reachtruck de volgende stappen:

- rijden naar eerste locatie
- opzoeken bufferlocatie in systeem
- pakken volle pallet uit bufferlocatie
- rijden naar tweede locatie
- weghalen lege pallet
- wegzetten volle pallet
- overige handelingen: verwijderen folie, overstapelen resterende colli
- registreren verplaatsing

Na het uitvoeren van één cyclus gaat de SWAGer in principe door met de volgende, behalve als de volgende beweging volgens zijn schema pas later uitgevoerd wordt. Dan wacht hij op één van de ontvangsteilanden tot het zo laat is. De transportbewegingen zijn gebaseerd op werkelijk gemaakte bewegingen tussen 23.00 uur en 17.00 uur. Het is belangrijk om de SWAG bewegingen in de juiste volgorde plaats te laten vinden, anders moet de SWAGer kras door het circuit heen. Daarom zijn alle SWAG bewegingen uit die tijdsperiode op basis van de oorspronkelijke uitvoerder op een logische manier verdeeld over zeven SWAGers.

Het feit dat ook de SWAGer in het model geconfronteerd wordt met éénrichtingsverkeer heeft tot de volgende aanpassingen geleid:

- Twee in plaats van drie stoplocaties: Over het algemeen rijdt een SWAGer van picklocatie naar bufferlocatie en weer terug naar de picklocatie. Dit zou tot onrealistisch veel omrijden leiden en daarom worden beide locaties slechts één keer aangedaan. Gezien de aanname dat pick- en buffer vlak bij elkaar liggen, is dit niet onlogisch. Waarnemingen in de praktijk tonen aan dat pick- en bufferlocatie vaak vanaf dezelfde stoplocatie bereikt kunnen worden.
- Buffer- en picklocaties omgedraaid, indien nodig: op deze manier doet de reachtrucker altijd als eerste de dichtstbijzijnde stoplocatie (gezien vanaf zijn vertrekpunt) aan en wordt onjuist omrijden voorkomen.
- Vaste volgorde processtappen: In werkelijkheid is de volgorde erg persoonsgebonden. Zo wordt er soms gelijk geregistreerd, terwijl anderen in één keer drie locaties tegelijk aanvullen en dan alles in één keer registreren.

Voor het aanvullen van flowracks geldt zoals bekend een andere cyclus. In het model wordt dit niet meegenomen. Uit metingen is gebleken dat de doorlooptijd van een aanvulcyclus voor een palletlocatie of een flowrack-locatie niet noemenswaardig verschilt. Alle aanvulbewegingen in het model worden daarom opgebouwd als zijnde aanvullen van een pallet- of komlocatie. Wel wordt bij flowracks de achterkant van de betreffende locatie als bestemmingslocaties genomen.

Invullen van de formules uit paragraaf 4.3 levert:

$$\text{cyclustijd:} \quad T_c = T_x + T_h + T_a$$

waarbij:

$$\text{horizontale tijd:} \quad T_x = L_{b,p}/v_x$$

$$\text{handling-tijd:} \quad T_h = 2*(V_{\text{positioneertijd}} + V_{\text{draaitijd}}) + V_{\text{pallet_grijptijd1}} + 2*(V_{\text{positioneertijd}} + V_{\text{draaitijd}}) + V_{\text{pallet_grijptijd2}}$$

$$\text{administratietijd:} \quad T_a = 2*V_{\text{registratietijd}}$$

De verticale tijd maakt ook hier onderdeel uit van de grijptijd. De variabelen voor beide aanvulprocessen worden weergegeven in tabel 5.5.

De implementatie van de twee aanvulprocessen zoals hierboven beschreven in het model betekent dat de aanvulbewegingen niet aangestuurd worden, maar volledig autonoom plaatsvinden op basis van de levertijden (ontvangst rijden) en de registratietijden (SWAGen).

5.6 Behandelingsopzet

De behandelingsopzet bestaat uit de opstarttijd, de runlengte en het aantal benodigde replicaties. Deze onderdelen komen achtereenvolgens aan bod.

Opstarttijd

Het orderpickproces is een eindig proces. Vanaf 23.00 uur (dag 1) wordt in ploegen tot de volgende dag 16.30 uur (dag 2) gewerkt. Er is sprake van een beperkte opstarttijd, namelijk de tijd die het duurt voordat alle orderpickers zijn begonnen aan een ophaalcyclustijd. Vanaf het moment dat de laatste orderpicker begint met het laden van een opdracht worden er reële waarden voor de prestatie-indicatoren gegenereerd. Omdat in het begin van iedere run de laad- en opzettijden tijdelijk op nul worden gezet, hoeft echter niet gewerkt te worden met een opstarttijd bij het bepalen van de resultaten.

Runlengte

De runlengte bedraagt 18 uur, te weten een volledige productiedag.¹⁷ De tijd tussen 17.00 en 23.00 uur, waarin wel veel ontvangen en aangevuld wordt, wordt dus niet gemodelleerd. Dit voldoet aan de vuistregel voor het bepalen van de runlengte. Die gaat uit van minimaal drie keer de langste cyclustijd. Als daarvoor de gemiddelde doorlooptijd van een ophaalopdracht wordt genomen (ongeveer 45 tot 60 minuten), dan is een runlengte van 18 uur lang genoeg. In feite kan ook met een kortere runlengte gewerkt worden, maar omdat het binnen DCP gebruikelijk is om de prestatie-indicatoren over de gehele dag te bepalen, is toch gekozen voor genoemde runlengte. Dit sluit beter aan bij de werkelijkheid en draagt bij aan de representativiteit van het model. De werkelijke gegevens in het model (ophaalopdrachten, aanvulbewegingen, SWAGbewegingen) zijn afkomstig uit de gegevens over vrijdag 11 januari 2002. Er is gekozen voor een vrijdag, omdat dit de drukste dag van de week is, met gemiddeld ongeveer 23% van de weekomzet. De 11^e januari was een normale vrijdag met gemiddelde drukte en kan dus goed als basis dienen om de capaciteit in normale omstandigheden te bepalen.

Aantal replicaties

Omdat het model stochastisch is, moet er een aantal replicaties van iedere run worden uitgevoerd om betrouwbare resultaten te krijgen. Om het aantal benodigde replicaties te bepalen, is gekeken naar de variabele "individuele productiviteit". De werkwijze voor het bepalen van het aantal replicaties is ontleend aan Sol, e.a. (1999). Een gedetailleerde uitwerking staat in bijlage 4. De uiteindelijke betrouwbaarheid is de gegeven individuele productiviteit binnen een marge van plus of min 2. Bij een uitkomst van 142 kan dan met hoge zekerheid (95%) gezegd worden dat de individuele productiviteit ligt tussen 140 en 144 colli per uur.

5.7 Verificatie en validatie

Het controleren van het model bestaat uit de verificatie en de validatie. Verificatie betreft het controleren van het model op de juist codering, terwijl bij validatie gecontroleerd wordt of het model een goede representatie van de werkelijkheid is.

Verificatie is een activiteit die gedurende de hele modelconstructie wordt uitgevoerd. Het gaat er vooral om dat er geen fouten in het model zitten, dat de entiteiten de juiste processen doorlopen en dat de uitkomsten op de juiste wijze bepaald worden. Door het model eerst te bouwen voor een beperkt aantal locaties is gecontroleerd of de beslisregels met betrekking tot

¹⁷ De diensten lopen vaak iets uit, daarom is ervoor gekozen om 18 uur te simuleren.

het stoppen bij een picklocatie en het pakken van het juiste aantal colli goed worden uitgevoerd door de orderpickers. Vervolgens zijn alle picklocaties in het model opgenomen en is gecontroleerd of één orderpicker op de juiste wijze alle processen doorloopt. Hierbij is uiteraard uitgebreid gebruik gemaakt van de animatie. Ook de feature in AutoMod waarmee op vooraf gedefinieerde momenten en in bepaalde condities berichten op het scherm afgebeeld kunnen worden is gebruikt om fouten uit het model te halen. Door de voorraadniveaus bij iedere picklocatie weer te geven is steeds gecheckt of alle opdrachten correct gelopen zijn (de voorraden moeten op het eind allemaal nul zijn). Tot slot is gecontroleerd of de uitvoervariabelen correct zijn berekend. Zo moet de totale orderpicktijd altijd gelijk zijn aan de som van de doorlooptijden van alle opdrachten. En, door de opdrachtenset slechts een keer te doorlopen, is bepaald of alle opdrachten worden gelopen en of voor iedere opdracht het juiste aantal colli wordt gepickt.

De validatie heeft op drie manieren plaatsgevonden. Allereerst is een replicatieve validatie uitgevoerd, waarbij de uitkomsten zijn vergeleken met de werkelijke waarden, zoals die geregistreerd worden in het distributiecentrum (voor zover bekend). Nadere uitleg bij de prestatie-indicatoren die in deze paragraaf worden gebruikt, is te vinden in paragraaf 6.1.

Omschrijving	Gemiddelde van 5 replicaties (40 orderpickers, nacht en dag)	Standaard deviatie	DCP werkelijk (20 orderpickers nacht, 40 dag)
Dagomzet (colli)	74097	0	74511
Totale productiviteit (colli/uur)	5812	58	onbekend
Individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	145,3	0,9	141,0
Aantal opdrachten gelopen	539	0	542
Totale orderpicktijd (uur)	510:18	2:24	528:30
Doorlooptijd ophaalopdracht (min)	56:50 (s = 23:02)	0:20	55 (s = 37)
Aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	0	742
Totale SWAGtijd (uur)	56:50	1:19	90:30 (SWAG+aanvullen)
Doorlooptijd SWAGbeweging (min)	4:36 (s = 3:21)	0:06	4:32 (s = 3:50)
Aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	510	28	onbekend
Totale aanvultijd (uur)	35:28	0:01	zie Totale SWAGtijd
Doorlooptijd aanvulbeweging (min)	4:11 (s = 2:55)	0:15	onbekend

Tabel 5.6: Vergelijking modelresultaten met werkelijke gegevens (nacht en dag)

In bovenstaande tabel worden de resultaten weergegeven die verkregen zijn door het model te runnen totdat alle opdrachten één keer gelopen zijn. De dagomzet is dus gelijk aan de werkelijke omzet (minus drie onjuist geregistreerde opdrachten). De individuele productiviteit, de totale orderpicktijd en de doorlooptijd van de opdrachten vertonen allen resultaten vergelijkbaar met de werkelijke waarden. Bij de doorlooptijd staat tussen haakjes de standaarddeviatie van de doorlooptijd van de individuele ophaalopdrachten weergegeven. Dit geeft aan hoe groot de spreiding is in de doorlooptijden van de opdrachten, zoals die samengesteld worden door Group-pick. De spreiding in het model ligt aanmerkelijk lager dan in de werkelijkheid. Dat wordt veroorzaakt door het feit dat het model uitgaat van een gemiddelde orderpicker; de procestijden voor alle orderpickers worden steeds uit dezelfde

verdelingen getrokken. In werkelijkheid zal het nogal wat uitmaken of de orderpicker een uitzendkracht is of een zeer ervaren medewerker.

Ook de indicatoren van het SWAGproces komen goed overeen. De SWAG- en aanvultijden worden in het DC door één kental geregistreerd, waardoor deze tijden niet apart vergeleken kunnen worden. De doorlooptijden van de aanvulbewegingen worden zelfs helemaal niet geregistreerd.

Zoals eerder opgemerkt wordt binnen het DC gewerkt met dag- en nachtdiensten. Het aantal orderpickers verschilt per dienst. Voor de volledigheid zijn in tabel 5.7 daarom de belangrijkste indicatoren vergeleken met alleen de werkelijke dagdienst. De waarden van de prestatie-indicatoren uit het model veranderen niet, omdat het model gedurende de hele dag 40 orderpickers kent.

Omschrijving	Gemiddelde van 5 replicaties (40 orderpickers, alleen dag)	Standaard deviatie	DCP werkelijk (40 orderpickers, alleen dag)
Individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	145,3	0,9	148,0
Doorlooptijd ophaalopdracht (min)	56:50 (s= 23:02)	0:20	56 (s= 36)
Doorlooptijd SWAGbeweging (min)	4:36 (s= 3:21)	0:06	4:44 (s= 4:03)

Tabel 5.7: Vergelijking modelresultaten met werkelijke gegevens (alleen dag)

De productiviteit en de doorlooptijden veranderen enigszins. De waarden van het model blijven echter goed in overeenstemming met de werkelijke waarden. De doorlooptijd van een ophaalopdracht, de indicator die in feite het belangrijkste is, omdat die weergeeft wat er in het circuit gebeurt, is nu praktisch gelijk aan de werkelijk geregistreerde doorlooptijd.

Tot slot is ook gekeken naar de waarden indien één orderpicker wordt ingezet. Deze moeten vergelijkbaar zijn met de waarden waarmee Group-pick de minimale looptijd van een opdracht bepaalt. Tabel 5.8 laat dit zien.

Omschrijving	Gemiddelde van 5 replicaties (1 orderpicker)	Standaard deviatie	Parameters Group-pick
Individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	170,1	1,1	160 (ophaalnrm)
Doorlooptijd ophaalopdracht (min)	43:43 (s= 18:00)	0:18	44 (s= 23)

Tabel 5.8: Vergelijking run met 1 orderpicker met parameters Group-pick

De doorlooptijd komt goed overeen. Hier is ook een Chi-kwadraat toets uitgevoerd, waarbij de doorlooptijden zijn vergeleken met de geplande looptijden uit Group-pick. Deze moeten vergelijkbaar zijn, omdat bij inzet van één orderpicker, die orderpicker optimaal zijn werk kan doen. De toets toont aan dat doorlooptijden in meer dan 99% van de gevallen vergelijkbaar zijn. De individuele productiviteiten zijn niet in overeenstemming, maar doel van het onderzoek is juist om (onder andere) de individuele productiviteit beter te bepalen. De verwachting is dat deze productiviteit daalt met het aantal orderpickers. Het is dus niet verassend dat de individuele productiviteit in het simulatiemodel bij één orderpicker hoger ligt dan de ophaalnrm. Overigens moet opgemerkt worden dat de individuele productiviteit bij inzet van slechts één orderpicker erg afhankelijk is van de opdrachten die de orderpicker loopt.

Ten tweede heeft structurele validatie plaatsgevonden, waarbij gecontroleerd is of het model juist reageert op veranderingen in de invoervariabelen. Een voorbeeld is het doorlopen van het model met slechts één orderpicker, zoals hierboven eigenlijk al besproken is. Veel van de experimenten zijn eerst onderdeel van de structurele validatie geweest. Zo is gekeken of het model bij zeer grote aantallen orderpickers en extreme paktijden nog realistische uitkomsten geeft. Dit bleek het geval te zijn. Voor de resultaten van deze experimenten wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk.

Tot slot heeft validatie plaatsgevonden door middel van expert toetsen. Medewerkers van de afdeling Logistic Control van het DC hebben het model en de resultaten beoordeeld op validiteit. Deze medewerkers zijn verantwoordelijk voor de logistieke processen en het produceren van kentallen, waarmee de processen beoordeeld en verbeterd kunnen worden. Ze zijn dus goed op de hoogte van de verschillende processen en van de verschillende kentallen die bij die processen horen. De animatie is gebruikt om de processen in het model inzichtelijk te maken. Daarnaast is een overzicht van de invoervariabelen en een overzicht van de belangrijkste resultaten voorgelegd aan de experts. Daarbij is juist ook aandacht besteed aan de indicatoren per gang¹⁸, omdat deze nauwelijks gevalideerd konden worden met werkelijke gegevens. De belangrijkste vragen die gesteld zijn, luiden:

- Zijn alle relevante processen in het model opgenomen?
- Is de volgorde van de processen juist?
- Is de wijze waarop de orderpickers zich voortbewegen realistisch?
- Zijn de keuzes die orderpickers maken overeenkomstig met de werkelijkheid?
- Zijn de invoervariabelen correct?
- Zijn de resultaten realistisch?

Enkele aanpassingen die naar aanleiding van de expert toetsen zijn doorgevoerd zijn:

- Orderpickers rijden in principe rechtdoor als ze niemand hoeven in te halen.
- Reachtruckers bokkeren de gang volledig vanaf het moment dat ze beginnen met draaien, al het achteropkomende verkeer moet wachten.
- Procestijden voor aanvullen van alle opslagtypes zijn nagenoeg gelijk.
- Ontvangst wegrijden vindt direct na het binnenkomst plaats.
- Orderpickers rijden bijna nooit om als een afmeldkast bezet is. Ook als er al meer staan te wachten, blijven ze staan totdat de kast vrij is.
- Er kan maar één orderpicker tegelijk van een afmeldkast gebruik maken.
- Orderpickers hebben de mogelijkheid om tegelijk een FCDO op hetzelfde strek te zetten.

In dit hoofdstuk is beschreven hoe de werkelijke situatie is vertaald naar het simulatiemodel en hoe daarbij gebruik is gemaakt van de theorie uit hoofdstuk vier. Met de aannames uit dit hoofdstuk in het achterhoofd behandelt hoofdstuk 6 hoe het model is gebruikt om experimenten mee te doen en welke resultaten dat heeft opgeleverd.

¹⁸ Onder andere aantal orderpickers per gang, gemiddelde verblijftijd per gang, aantal stops per gang aantal colli per stop. Zie paragraaf 6.1 voor een overzicht van alle prestatie-indicatoren.

6. Experimenten & Resultaten

In dit hoofdstuk worden de uitgevoerde experimenten en de resultaten daarvan beschreven. Deze resultaten kunnen gezien worden als de kwantitatieve invulling van een gedeelte van de kwalitatief bepaalde beïnvloedingsfactoren in hoofdstuk vier. Hoe de resultaten en de daaruit verkregen inzichten in de praktijk van waarde kunnen zijn, komt in hoofdstuk 7 aan de orde.

De experimenten worden na elkaar besproken. Per experiment wordt kort toegelicht wat de reden voor het experiment is en hoe het is uitgevoerd. Vervolgens worden de resultaten besproken. Dit gebeurt aan de hand van een aantal standaard prestatie-indicatoren. De gehanteerde prestatie-indicatoren en de structuur van de gegenereerde resultaten worden in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk toegelicht.

Met het model zijn twee soorten experimenten uitgevoerd, experimenten die betrekking hebben op veranderingen op operationeel niveau en experimenten die betrekking hebben op veranderingen op tactisch niveau. Respectievelijk de type 1 en de type 2 experimenten. In paragraaf 6.2 komen de type 1 experimenten aan bod. De gevolgen van het veranderen van het aantal orderpickers worden uitgebreid toegelicht, waarna ook de gevolgen van experimenten met een andere paktijd, een ander aantal aanvulbewegingen, een andere grijptijd voor reachtruckers en een andere opbouw van de paktijd voor orderpickers besproken worden. Paragraaf 6.3 bevat een bespreking van de resultaten van de type 2 experimenten; invoeren van een uitgiftestrategie, invoeren van een andere slotting en het aanbrengen van een wijziging in het opslagtype van gang 29. Tot slot zijn in de vierde paragraaf de capaciteit van het krattencircuit, het dozencircuit en van de individuele gangen bepaald.

6.1 Prestatie-indicatoren

Het tweede gedeelte van de doelstelling luidde: “Het ontwikkelen van een hulpmiddel waarmee het inzicht in de capaciteit in verschillende uitgangssituaties verbeterd kan worden.” Zoals bekend is het hulpmiddel een simulatiemodel geworden. Om de gewenste inzichten te verkrijgen, zijn twee soorten experimenten met dit simulatiemodel uitgevoerd. De resultaten daarvan worden weergegeven met behulp van verschillende prestatie-indicatoren, die ingebouwd zijn in het model. De belangrijkste zijn de totale productiviteit en de individuele productiviteit. De totale productiviteit is het totaal aantal geproduceerde colli per tijdseenheid in het vers 3 circuit. De individuele productiviteit is het aantal geproduceerde colli per orderverzamelaar per tijdseenheid in datzelfde circuit. De capaciteit kan gevonden worden door de maximale totale productiviteit te bepalen. Zie voor de precieze definities eventueel paragraaf 3.2.1.

Om de waarde van deze indicatoren te verklaren, zijn de volgende indicatoren *per gang* bepaald:

- verblijftijd: totale tijd die een orderpicker in een gang verblijft
- looptijd: totale tijd benodigd voor heen en weer lopen tussen BT en picklocatie
- paktijd: tijd benodigd voor het pakken en stapelen van alle colli
- afmeldtijd: tijd benodigd voor het afmelden van een opdracht
- congestietijd: tijd die niet verklaard kan worden door lopen, pakken, afmelden of rijden
- rijtijd: tijd nodig voor doorrijden gang
- gemiddeld aantal orderpickers

Voor de duidelijkheid: de verblijftijd per gang is de som van de looptijd, paktijd, afmeldtijd, rijtijd en congestietijd. Deze indicatoren geven tezamen een beeld van de situatie in iedere gang. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in de totstandkoming van de capaciteit. De resultaten worden besproken aan de hand van bovenstaande prestatie-indicatoren, waarbij eerste de algemene indicatoren en vervolgens, indien relevant, de indicatoren per gang worden behandeld. Tijdens het uitvoeren van de experimenten zijn deze indicatoren steeds in dezelfde structuur gegenereerd. De indicatoren voor het gehele circuit staan weergegeven in tabel 6.1. Er wordt uitgegaan van een basismodel met 30 orderpickers. De uitkomsten van dit basismodel staan ingevuld in deze tabel. De uitkomsten zijn steeds het gemiddelde van 5 replicaties.

Omschrijving	Gemiddelde van 5 replicaties	Standaard deviatie	Eenheid
Dagomzet (18 uur)	82.995	245	# colli
Totale productiviteit	4.611	13	# colli/uur
Individuele productiviteit	153,2	0,4	# colli/uur/orderpicker
Aantal opdrachten gelopen	597	3	
Doorlooptijd ophaalopdracht	52:41	0:10	min
Aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	0	
Totale SWAGtijd	57:58	2:35	uur
Doorlooptijd SWAGbeweging	4:40	0:13	min
Aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	519	22	
Totale aanvultijd	35:26	0:02	uur
Doorlooptijd aanvulbeweging (per pallet)	4:06	0:10	min

Tabel 6.1 Output gehele circuit, 30 orderpickers

De doorlooptijd van een activiteit geeft aan hoe lang deze gemiddeld duurt. Dit is in feite de kwantitatieve waarde van de cyclustijden, zoals die kwalitatief beschreven zijn in hoofdstuk 4. De totale orderpickertijd maakt geen onderdeel uit van de output. Deze is constant en gelijk aan het aantal orderpickers maal 18 uur.

Naast de resultaten die gelden voor heel vers 3, wordt ook per gang een standaard output gegenereerd. De waarden van de indicatoren in tabel 6.2 worden voor iedere gang bepaald. Ter illustratie zijn de uitkomsten voor gang 35 volgens het basismodel ingevuld.

Variabele	Gemiddelde van 5 replicaties	Standaard deviatie	Eenheid
Aantal keer gang in opdracht	323	1	
Gemiddelde verblijftijd	11:11	0:24	min
Gemiddelde looptijd	0:39	0:00	min
Gemiddelde paktijd	5:59	0:01	min
Gemiddelde afmeldtijd	1:30	0:02	min
Gemiddelde congestietijd	2:36	0:23	min
Netto rijtijd	0:27	0:00	min
Totale congestietijd	13:58:34	2:01:21	uur
Gemiddeld aantal orderpickers aanwezig	3,36	0,11	
Gemiddeld aantal stops	4,16	0,02	
Omzet	10.692	28	colli
Gemiddeld aantal colli per stop	7,96	0,04	

Tabel 6.2: Output gang 35, 30 orderpickers

De resultaten van alle uitgevoerde experimenten staan met behulp van de in deze paragraaf besproken prestatie-indicatoren weergegeven in bijlage 5.

6.2 Type 1 experimenten

Het eerste type experimenten heeft betrekking op de huidige situatie. Het doel van deze experimenten is om voor belangrijke factoren de grootte van hun invloed op de capaciteit te bepalen. Het model wordt als het ware gebruikt om de gevoeligheid van de capaciteit voor een bepaalde factor te bepalen. Het principe is eenvoudig. Steeds wordt één variabele (die een factor representeert) veranderd, waarna wordt bepaald wat de gevolgen zijn voor de prestatie-indicatoren. De veranderingen hoeven niet persé realistisch te zijn. Het gaat om het bepalen van de invloed van de factoren.

De volgende factoren komen aan bod:

- aantal orderpickers
- paktijd van een collo
- aantal aanvulbewegingen
- grijptijd van een pallet

Met andere woorden, er wordt bepaald hoe het aantal orderpickers en reachtruckers de capaciteit beïnvloed. Daarnaast wordt gekeken hoe de tijd dat ze (een gedeelte van) een gang blokkeren van invloed is op de capaciteit. Met behulp van de indicatoren per gang worden vervolgens de resultaten verklaard.

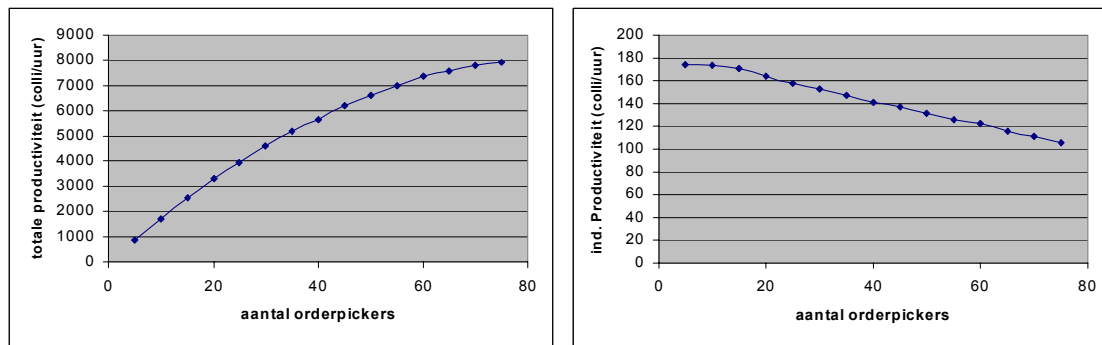
6.2.1 Variëren aantal orderpickers

Door de variabele "aantal orderpickers" te variëren kan de invloed van deze factor op de capaciteit bepaald worden. Het doel is om de relatie tussen het aantal orderpickers en de totale productiviteit te bepalen. De individuele productiviteit en de congestie-indicatoren worden gebruikt om een verklaring te geven voor de resultaten. Als maximale bezetting wordt op dit moment 45 orderverzamelaars aangehouden. Met behulp van het model kunnen de gevolgen van verhogen of verlagen van dit aantal worden bepaald.

De verwachting is dat in eerste instantie de totale productiviteit lineair zal toenemen met het aantal pickers. Echter, omdat de orderpickers elkaar steeds meer in de weg gaan lopen, zal de toegevoegde waarde van een extra orderpickers steeds kleiner worden. Op een gegeven moment zal de maximale productiviteit (= capaciteit) bereikt worden. Het toevoegen van extra orderpickers heeft dan geen nut meer en zal zelfs een negatieve invloed hebben. In het DC gaat men er op dit moment vanuit dat die capaciteit rond de 45 orderpickers ligt. Naar verwachting zal dit aantal echter hoger liggen, omdat de individuele productiviteit bij een inzet van 45 orderpickers nog steeds redelijk hoog is.

Bepaling grafieken

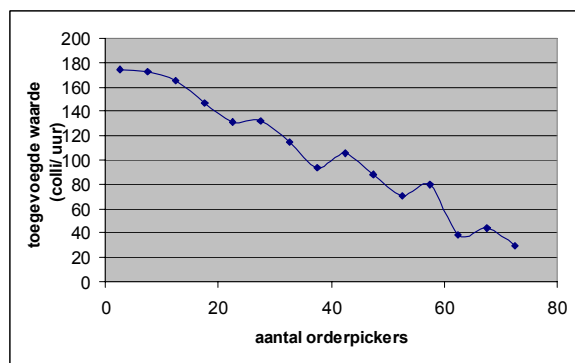
Voor dit experiment zijn de prestatie-indicatoren voor 0 tot 75 orderpickers bepaald, oplopend met 5 orderpickers per keer. De totale en de individuele productiviteit staan weergegeven in figuur 6.1.



Figuur 6.1: Totale en individuele productiviteit bij verschillende aantallen orderpickers

Duidelijk is dat de curve van de totale productiviteit steeds minder stijl wordt. Het punt waarop het inzetten van een extra orderpicker niets meer oplevert, de capaciteit, blijkt theoretisch op ongeveer 8100 colli per uur te liggen. De capaciteit wordt bereikt bij inzet van 88 orderpickers. Gegeven een dag van 18 uur resulteert dat in een dagomzet van ruim 146.000 colli. De rechtergrafiek in figuur 6.1 laat zien dat het aantal colli dat één orderpicker in een uur op kan halen, de individuele productiviteit, afneemt als er meer orderpickers ingezet worden. Wiskundig is de individuele productiviteit gelijk aan de richtingscoëfficiënt van de raaklijn vanuit de oorsprong aan de linkergrafiek in figuur 6.1. Of simpeler: de waarde van de individuele productiviteit is gelijk aan de totale productiviteit gedeeld door het aantal orderpickers.

De grafiek in figuur 6.2 geeft de toegevoegde waarde van één extra ordervverzamelaar. Dit is de afgeleide van de linkercurve in figuur 6.1 en kan dus omschreven worden als de marginale productiviteit.



Figuur 6.2: Toegevoegde waarde één extra orderpicker bij verschillend aantal orderpickers

Hoewel de toename van het aantal orderpickers per keer eigenlijk te groot is om de grafiek correct weer te geven, is de trend duidelijk. Zo is de extra productiviteit vanaf 45 orderpickers minder dan 100 colli per uur.

Afleiding functies

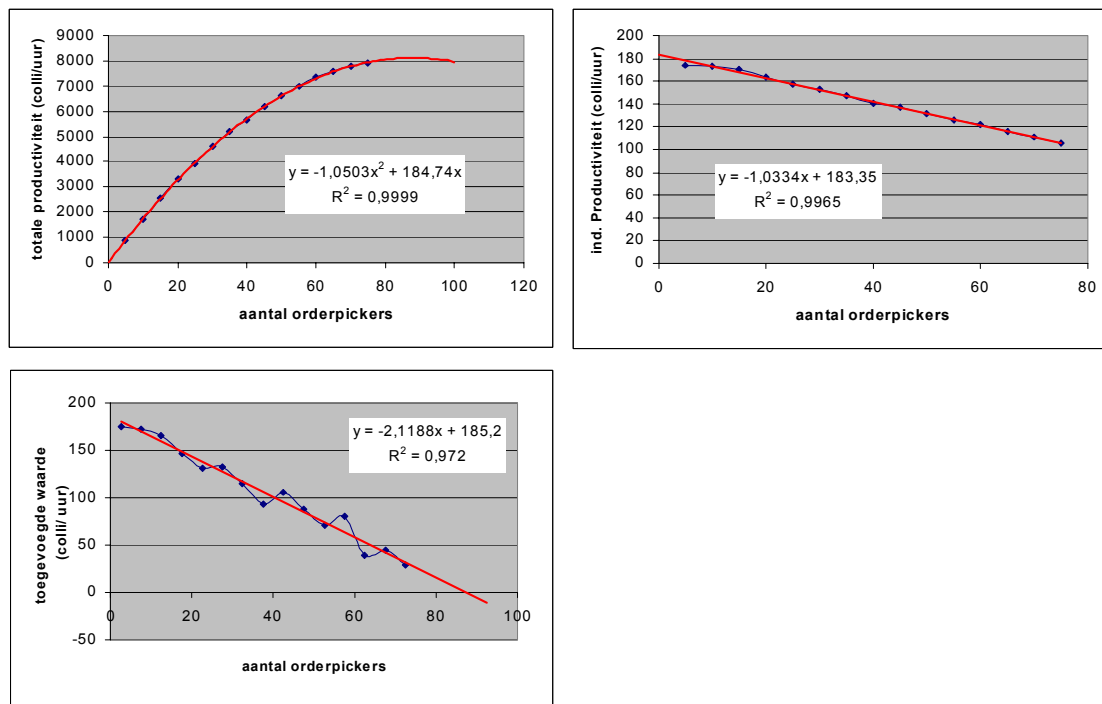
Om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen bovenstaande drie grafieken zijn de wiskundige functies voor deze grafieken bepaald. In figuur 6.3 staan de drie productiviteitsgrafieken, met daarin de gefitte trendlijn, de functie en de R^2 . De functies zijn bepaald door de trendlijn zo nauwkeurig mogelijk te fitten op de grafiek. Er wordt echter geen grote fout gemaakt, als de volgende functies worden gebruikt om de drie grafieken te beschrijven:

Totale productiviteit: $f(x) = -x^2 + 184x$ (6.1)

Individuele productiviteit: $g(x) = \frac{f(x)}{x} = -x + 184$ (6.2)

Marginale productiviteit: $h(x) = f'(x) = -2x + 184$ (6.3)

Waarbij x het aantal orderpickers aangeeft.



Figuur 6.3: Productiviteitsgrafieken en bijbehorende functies

Geconcludeerd kan worden dat de resultaten in grote mate overeenkomen met de verwachting. De capaciteit blijkt echter dusdanig hoog te liggen dat deze niet gevonden is met de uitgevoerde runs.

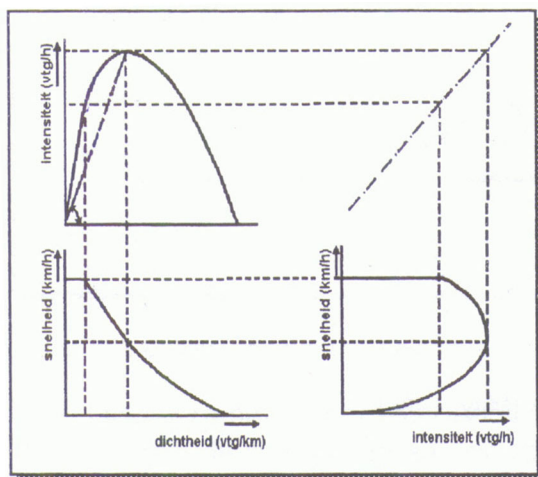
In feite hebben we hier te maken te maken met de wet van de toe- en afnemende meeropbrengsten, zoals die veel voorkomt in productieomgevingen: De inzet van een steeds grotere hoeveelheid van een productiefactor bij een constant gehouden hoeveelheid van de overige productiefactoren leidt eerst tot een meer dan evenredige stijging van de productie, daarna tot een minder dan evenredige stijging en bij nog grotere inzet van die productiefactor zelfs tot een daling van de productie (Dietz e.a., 1996). Eigenlijk is hier sprake van een speciale variant, omdat de toename van het aantal orderpickers alleen maar negatief werkt, waardoor het meer dan evenredig stijgende deel van de grafiek niet bestaat. De grafieken die bij een dergelijke situatie horen en die hierboven staan weergegeven vinden we ook terug in de economische beschrijving van marktvormen. Ze zijn namelijk vergelijkbaar met de vraagfunctie die geldt voor een monopolist. De prijs is dan vergelijkbaar met het aantal colli, het aantal orderpickers met de verkochte hoeveelheid. Voor de monopolist geldt dat het aanbieden van meer producten alleen maar tot lagere prijzen zal leiden. Net zoals de

monopolist een lage prijs zal moeten vragen als hij veel wil afzetten, zo zal het DC genoeg moeten nemen met een lage individuele productiviteit als er veel orderpickers ingezet worden.

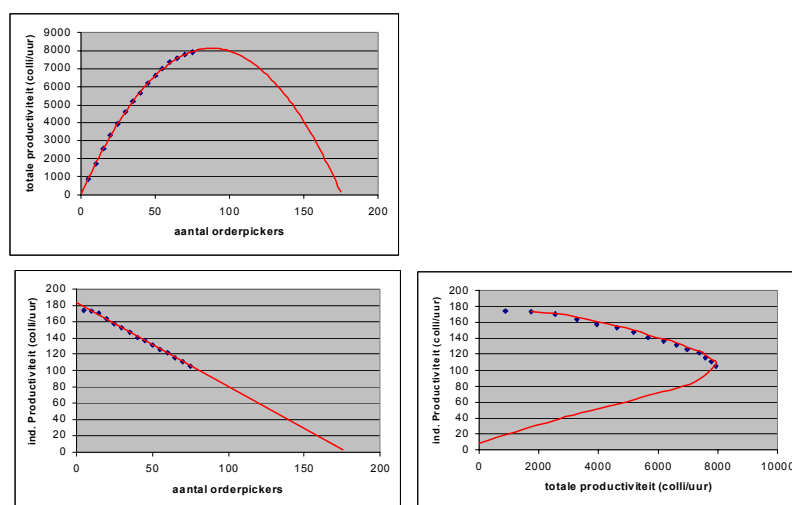
De gedefinieerde functies zijn gebaseerd op metingen binnen het interval $0 < x < 80$. Op grond van bovenstaande analogieën kan echter geconcludeerd worden dat de functies tot aan het capaciteitspunt een betrouwbaar beeld geven. Onderstaande analogie leert dat ze hoogstwaarschijnlijk ook een goede indicatie geven van de gevolgen als er nog meer orderpickers worden ingezet.

Analogie verkeersstroomtheorie

De grafieken vertonen ook overeenkomsten met het basisdiagram zoals dat geldt voor de intensiteit, de snelheid en de dichtheid in de verkeersstroomtheorie. Dit wordt duidelijk door te kijken naar figuren 6.4 en 6.5. Figuur 6.4 bevat het basisdiagram. Daaronder in figuur 6.5 staan nogmaals de grafieken van de totale en individuele productiviteit uit figuur 6.3, met daaraan toegevoegd de grafiek die de relatie tussen de totale productiviteit en de individuele productiviteit weergeeft. In alledrie de grafieken zijn de gevonden trendlijnen wat verder doorgetrokken.



Figuur 6.4: Basisdiagram verkeertheorie (zie May, 1990)



Figuur 6.5: Vergelijking resultaten met basisdiagram verkeertheorie

Voor het basisdiagram geldt de volgende relatie: $\text{intensiteit} = \text{dichtheid} * \text{snelheid}$. Onder intensiteit wordt het aantal voertuigen verstaan dat een bepaald wegvak passeert gedurende een tijdsperiode. De dichtheid is het gemiddeld aantal voertuigen per lengte-eenheid. De snelheid spreekt voor zich. Voor de situatie in het DC kan dat vertaald worden naar totale productiviteit = aantal orderpickers * individuele productiviteit.

Hoewel de verhoudingen tussen de verschillende onderdelen van de grafieken anders liggen, kunnen er toch inzichten aan het basisdiagram ontleend worden. Bij een toename van het aantal voertuigen zal de snelheid tot een bepaald punt constant blijven. Dit geldt in het DC tot een individuele productiviteit van ongeveer 15. Toevoegen van meer voertuigen betekent dat de voertuigen hinder van elkaar gaan ondervinden, waardoor de snelheid lager komt te liggen. De intensiteit blijft groeien, maar niet langer lineair. Nog meer voertuigen betekent dat op een gegeven moment de maximale intensiteit (=capaciteit) bereikt wordt. Dit is in het DC de capaciteit van ongeveer 8100 colli per uur. Ieder extra voertuig betekent vervolgens een afname van de intensiteit. Dit gaat door totdat alle voertuigen stilstaan: intensiteit en snelheid zijn dan nul, de dichtheid is maximaal. Dit gedeelte na de maximale intensiteit, de zogenaamde congestietak, zal in het DC niet snel voorkomen. Interessanter is hoe er wordt omgegaan met het gedeelte van de grafiek vanaf de daling van de snelheid tot aan de maximale intensiteit. Voor het DC gaat het dan om een aantal orderpickers tussen de 15 en de 88. Daarbij draait het om de vraag welke individuele productiviteit nog als acceptabel wordt gezien. Niet alleen wat betreft de werkomstandigheden, maar uiteraard ook financieel. In de verkeertheorie wordt in dit verband gewerkt met de term afwikkelingsniveau of level of service. Het afwikkelingsniveau geeft aan wat in een bepaalde situatie een toelaatbare intensiteit, met bijbehorende minimale snelheid en dichtheid, is (Hansen e.a., 1998). Voor het DC is het eigenlijk niet anders: de gewenste capaciteit moet vastgesteld worden. Daaruit volgen dan de bijbehorende individuele productiviteit en het aantal orderpickers.

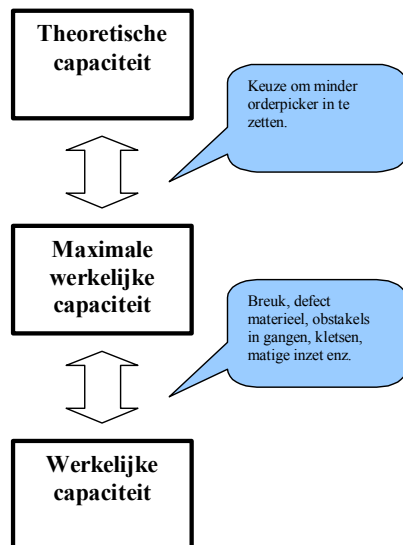
Feitelijk kan er onderscheid gemaakt worden tussen drie verschillende capaciteiten: de theoretische capaciteit, de maximale werkelijke capaciteit en de werkelijke capaciteit.

De theoretische capaciteit wordt gegeven door het maximum in de grafiek van de totale productiviteit (figuur 6.3). Deze treedt op bij de inzet van 88 orderpickers. Deze capaciteit is te vergelijken met de maximale intensiteit in het basisdiagram.

De maximale werkelijke capaciteit is de capaciteit die in de huidige situatie maximaal gehaald kan worden. Deze kan ook afgelezen worden uit de grafiek, namelijk bij het op dit moment maximaal gehanteerde aantal van 45 orderpickers. Dit aantal orderpickers is een keuze, dit is dus de gewenste capaciteit die te vergelijken is met de toelaatbaar geachte intensiteit voor een bepaald afwikkelingsniveau.

De werkelijke capaciteit is de maximale productiviteit die met 45 orderpickers regelmatig gehaald kan worden als rekening gehouden wordt met verstoringen als breuk, defecte scanners, niet gemotiveerder orderpickers, "onhandige" opdrachten en obstakels in de gangen. Deze kan niet afgelezen worden in de grafiek of in het basisdiagram. Door deze verstoringen te verminderen zal de werkelijke capaciteit dichterbij de maximale werkelijke capaciteit komen te liggen. Dit zal altijd wenselijk zijn. De maximale werkelijke capaciteit zal dichterbij de theoretische capaciteit komen te liggen als aantal ingezette orderpickers wordt vergroot. Dit hoeft echter helemaal niet wenselijk te zijn, omdat het tot niet plezierige werksituaties voor de orderpickers kan leiden.

Alledrie de capaciteiten kunnen vergroot worden door verbeteringen in het orderpickproces aan te brengen. Die verbeteringen kunnen alle in hoofdstuk vier genoemd factoren betreffen. In figuur 6.6 staat de drie capaciteiten en hun relatie weergegeven.

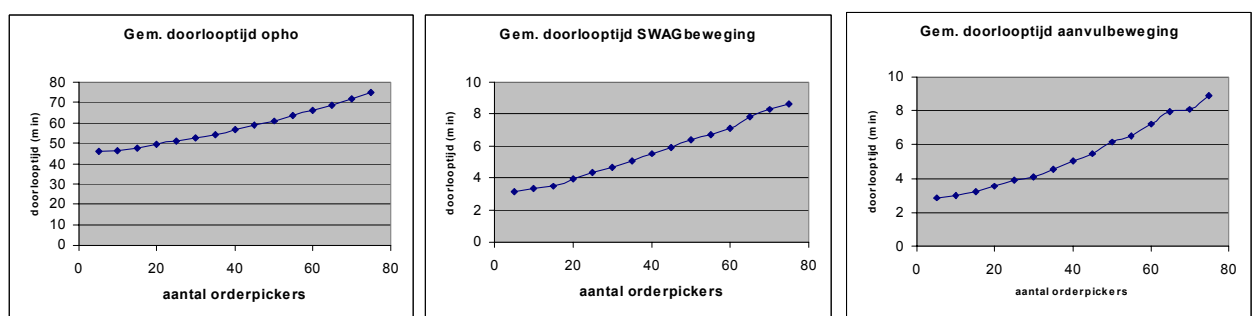


Figuur 6.6: Relatie theoretische en werkelijke capaciteit

Delen van de werkelijke capaciteit door de theoretische geeft de volumecapaciteitsbezetting, zoals die eerder is besproken in paragraaf 3.2.1.

Doorlooptijden

In figuur 6.7 zijn de gemiddelde doorlooptijden van de ophaalopdrachten, SWAGbewegingen en aanvulbewegingen bij verschillende aantallen orderpickers weergegeven. Deze grafieken vertonen een (exponentieel) stijgend verloop. Opvallend is dat de doorlooptijden van de reachtruck activiteiten meer dan verdrievoudigen en dat de doorlooptijd van een ophaalopdracht uiteindelijk met meer dan 60% toeneemt.



Figuur 6.7: Doorlooptijden orderpicken, SWAGen en aanvullen

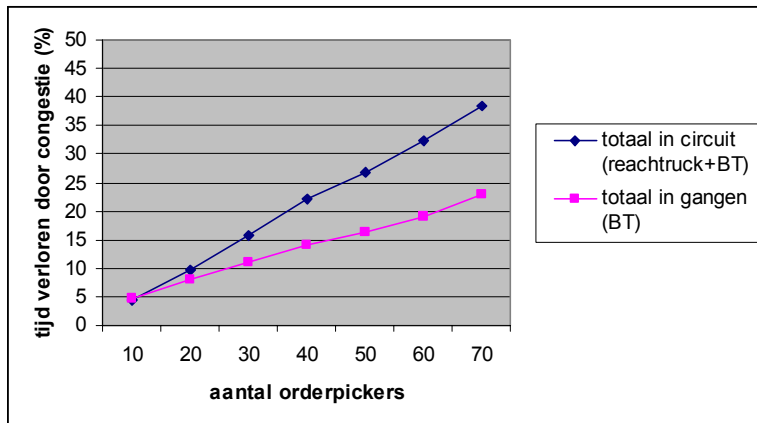
Congestie

De toename van de doorlooptijden en de afname van de individuele productiviteit zoals hierboven beschreven, zijn gevolgen van het feit dat de hinder die de orderpickers en reachtruckers van elkaar ondervinden toeneemt als er meer orderpickers tegelijk bezig zijn. Deze hinder wordt aangeduid met de term congestie. Daarbij kan gedacht worden aan het in de weg staan met de BT voor de picklocatie, het bezet houden van een afmeldkast, het

(gedeeltelijk) blokkeren van een gang, het in de weg lopen enzovoorts. Een gedeelte van de congestie wordt veroorzaakt door de reachtrucks. De verstoringen die dat oplevert zijn bij dit experiment echter constant gehouden.

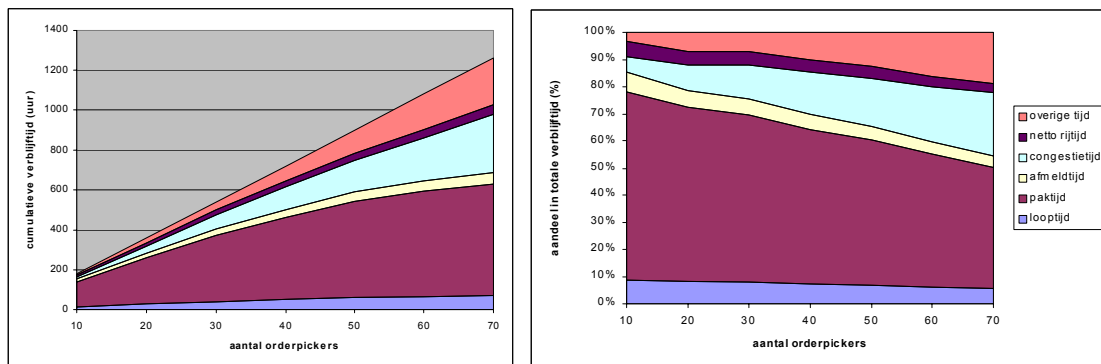
In het vervolg van deze paragraaf zal aandacht worden besteed aan de verandering van de congestie bij een toename van het aantal orderpickers, het bepalen van de gangen waar de congestieproblemen het grootst zijn en het verklaren van deze congestieproblemen.

De totale congestie neemt uiteraard toe met het aantal orderpickers. Dit is te zien in figuur 6.8. Hierin staat het percentage van de totale tijd dat alle orderpickers tezamen hebben verloren als gevolg van congestie. De blauwe lijn betreft alle verloren capaciteit ten gevolge van congestie. Dit geldt zowel voor de BT's als voor de reachtrucks en overall in de vershal (dus ook in de hoofdverkeersgang en bij de strekken). De roze lijn geeft het percentage van de totale tijd dat alle orderpickers hebben moeten wachten in een gang. Voor 40 orderpickers is dit bijvoorbeeld 14%, dat is dan 2,5 uur op een dag van 18 uur. Voor 40 orderpickers is de totale congestietijd dan 100 uur. Deze tijd zijn alle orderpickers samen "kwijtgeraakt" ten gevolge van het feit dat ze met 40 orderpickers en 9 reachtrucks in het circuit bezig zijn.



Figuur 6.8: Totale congestietijd

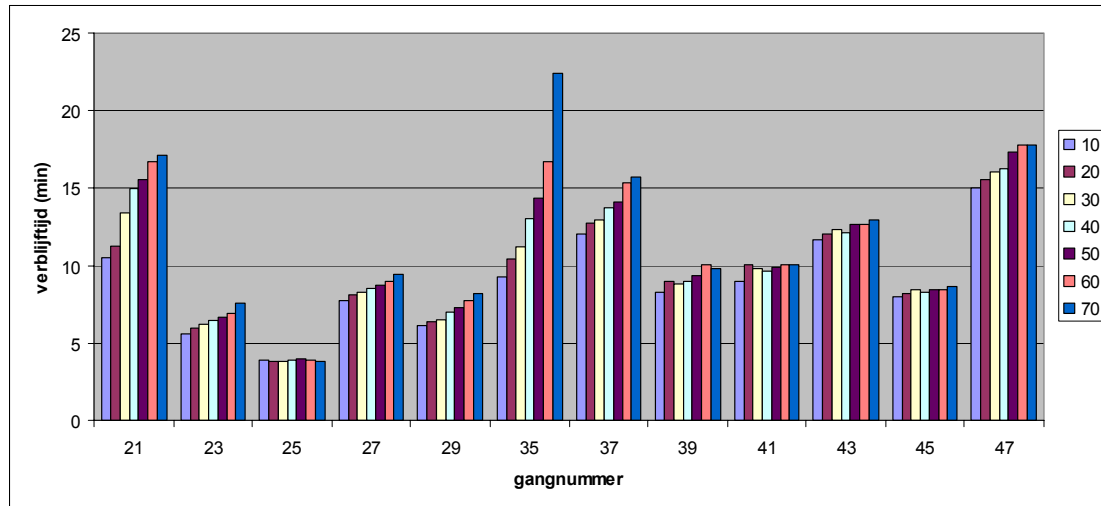
Voor de volledigheid wordt in figuur 6.9 het aandeel van de verschillende tijdscomponenten in de totale tijd weergegeven. Naast de verschillende onderdelen van de verblijftijd in de gangen is ook de tijd buiten het orderpickercircuit opgenomen als de overige tijd. Dit betekent dat de totale verblijftijd altijd gelijk is aan het aantal orderpickers maal 18 uur.



Figuur 6.9: Absolute en procentuele aandeel tijdscomponenten in de totale verblijftijd

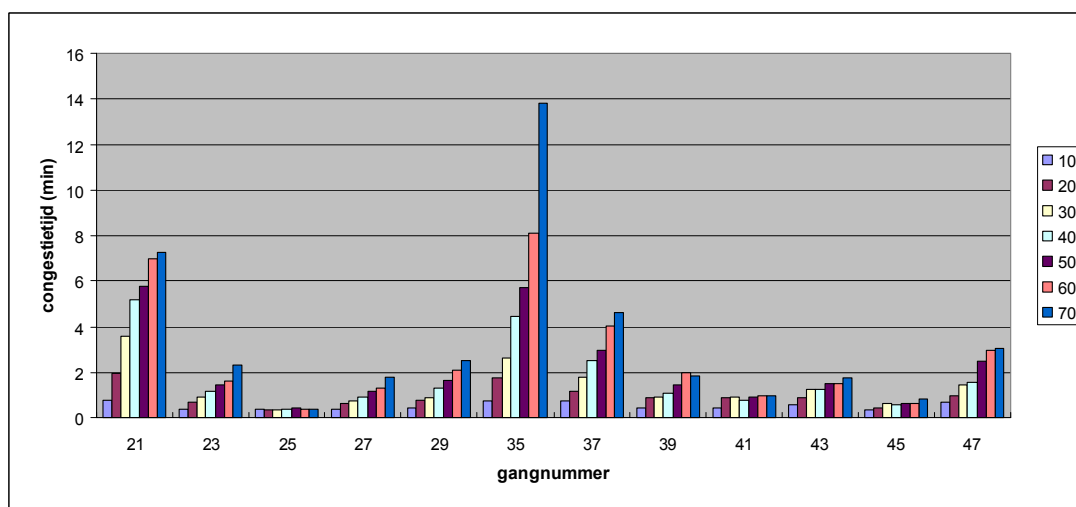
Indicatoren per gang

Meer inzicht in de totstandkoming van de capaciteit, de totale productiviteit en de individuele productiviteit kan verkregen worden door te kijken op gangniveau. In de bijlag 5 zijn de volledige overzichten per gang terug te vinden. In het vervolg zijn de indicatoren per gang beschreven.



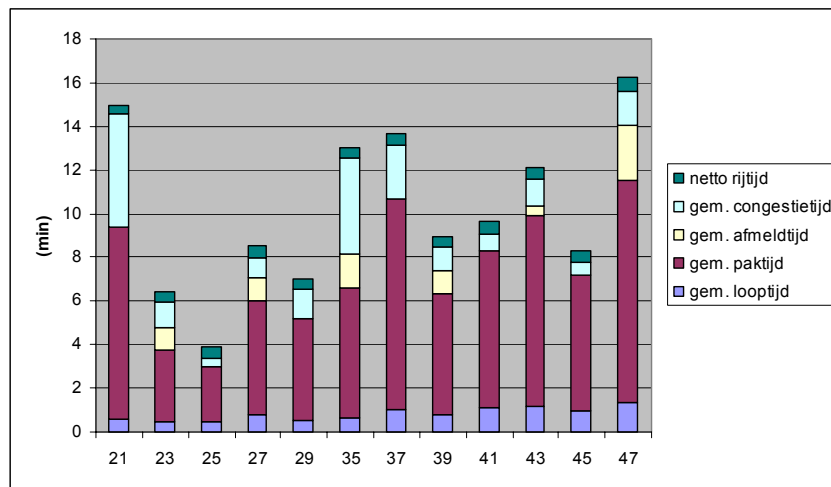
Figuur 6.10: Verbliftijd per gang

Uit figuur 6.10 blijkt dat een beperkt aantal gangen een grote bijdrage aan de gemiddelde verbliftijd levert. De uitschieters zijn gang 21, 35, 37 en 47. De vraag is in hoeverre deze hoge verbliftijden op congestieproblemen duiden. Figuur 6.11 laat dit zien. Dezelfde vier gangen laten de hoogste congestietijden zien. Grote vertragingen zijn echter alleen in de gangen 21 en 35 en in veel mindere mate in gang 37 waar te nemen. De toename van de congestietijd bij een toename van het aantal orderpickers blijkt in gang 35 het grootst te zijn. De hoge gemiddelde verbliftijd van gang 47 blijkt veroorzaakt te worden door kenmerken van de gang zelf, de congestie is daar beperkt.



Figuur 6.11: Congestietijd per gang

Hoe de congestietijd zich verhoudt ten opzichte van de totale verblijftijd per gang en de overige onderdelen van de verblijftijd is te zien in figuur 6.12. Daar is voor de situatie van 40 orderpickers de verdeling van de totale verblijftijd in verschillende onderdelen weergegeven.



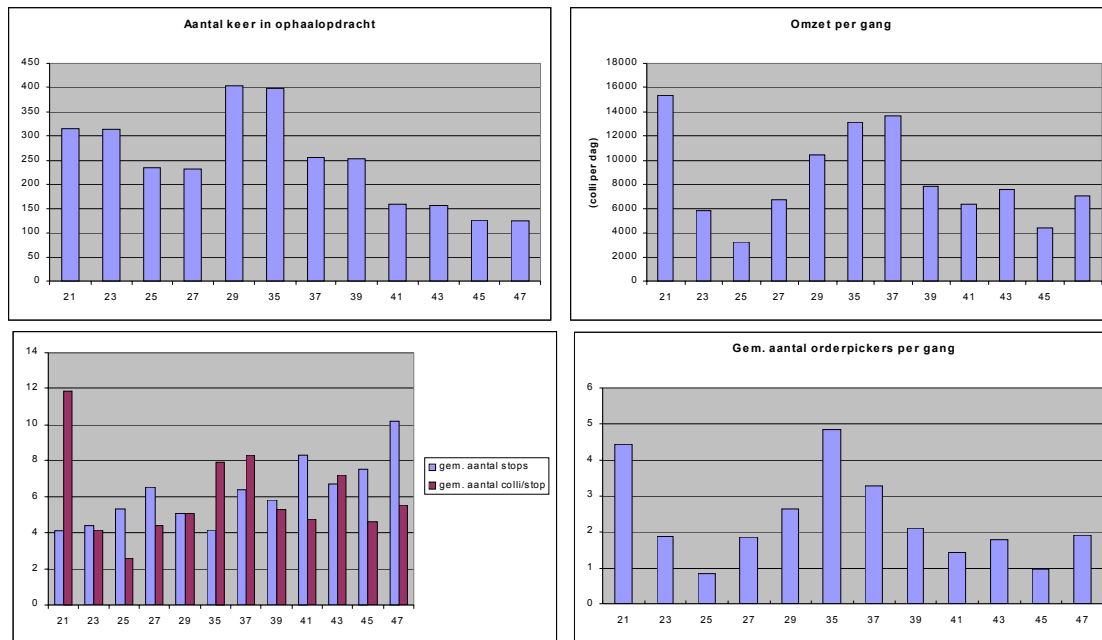
Figuur 6.12: Verdeling verblijftijd per gang

Niet alleen de *gemiddelde* congestietijd per gang is interessant; de verdeling van de *totale* congestietijd over de gangen geeft aan waar totaal het meeste tijd wordt verloren. De verdeling van deze totale congestietijd blijkt te veranderen bij een ander aantal orderpickers. Gangen 21 en 35 leveren in alle gevallen de grootste bijdrage aan de totale congestietijd. Daarbij wordt echter het aandeel van gang 35 steeds groter, terwijl dat van gang 21 stabiliseert rond 25% en zelfs wat afneemt bij 70 orderpickers. Gang 29 en 37 leveren structureel ieder ongeveer 10% van de totale congestietijd op. De totale congestietijd die in de overige gangen wordt veroorzaakt is zeer beperkt.

Duidelijk mag zijn dat gang 35 op dit moment de bottleneck vormt. Een verklaring voor de congestiegegevens zoals die geconstateerd zijn, kan gegeven worden met behulp van figuur 6.13. Daarin zijn een aantal kenmerken van de gangen weergegeven. Dit zijn opnieuw de waarden die gelden bij inzet van 40 orderpickers, maar het beeld is in grote lijnen overal gelijk.

De gangen waarin de meeste congestieproblemen optreden hebben de volgende gemeenschappelijke kenmerken:

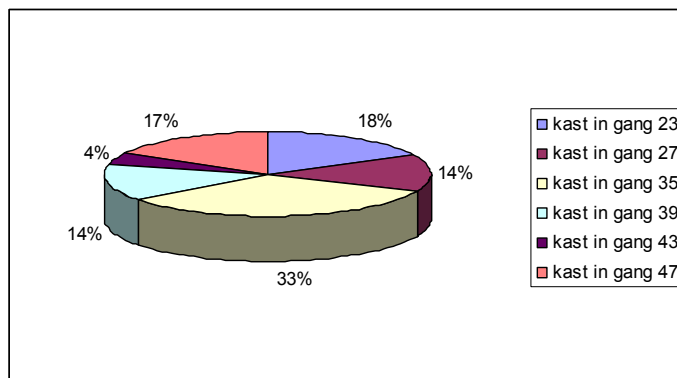
- De gang komt vaak voor in een ophaalopdracht
- De gang kent een hoge omzet
- Het gemiddeld aantal stops is niet hoger dan het gemiddelde over alle gangen
- Het gemiddeld aantal colli per stop is hoog
- Er bevinden zich gemiddeld veel orderpickers in de gang



Figuur 6.13: Kenmerken per gang, 40 orderpickers in circuit

Deze kenmerken hebben uiteraard met elkaar te maken. Geconcludeerd kan worden dat naast het vaak doorlopen van een gang, een hoge omzet en (dus) een hoge bezetting van de gang, de congestie vooral veroorzaakt wordt door lange stops, terwijl het aantal stops weinig invloed heeft. Kennelijk zorgt een beperkt aantal lange stops voor meer hinder dan een groot aantal korte stops. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door het feit dat het bij korte stops niet vaak zal voorkomen dat de hele gang geblokkeerd is, terwijl bij lange stops dit wel het geval zal zijn. In het eerste geval zal inhalen meestal na korte tijd al mogelijk zijn, in het tweede geval zal er langer gewacht moeten worden.

Niet zichtbaar in de grafieken maar wel in de animatie van het model is de invloed van de locatie van de afmeldkassen op het ontstaan van congestie. Duidelijk waarneembaar is dat bij de inzet van veel orderpickers soms grote wachtrijen ontstaan voor de afmeldkast in gang 35. Een drukke afmeldkast draagt dus ook bij aan het ontstaan van congestie. Zeker als er al sprake is van de overige congestiekenmerken. Figuur 6.14 laat de verdeling van de opdrachten over de afmeldkassen zien, waarbij naar voren komt dat 1/3 deel van alle opdrachten in gang 35 wordt afgemeld.



Figuur 6.14: Verdeling afmeldkassen

Gang 29 vereist nog enige speciale aandacht. Deze gang wordt zeer vaak aangedaan en kent een redelijke hoge omzet. Toch kent deze gang geen echte congestieproblemen. De reden hiervoor ligt in het specifieke karakter van de gang. Zoals eerder uitgelegd, bestaat gang 29 in het model uit de werkelijke gangen 29, 31 en 33. Gang 29 is de laatste gang van het roolly-circuit ¹⁹ en beslaat de linkerkant van de eerste helft van de gang. Gang 31 bevindt zich tegenover gang 29 en gang 33 vormt het tweede gedeelte van de gang. Halverwege de gang (tussen gang 31 en 33) bevindt zich een dwarsgang naar gang 35. Alle orderpickers met een roolly-opdracht zullen dus alleen de colli uit de gang 29 pakken en dan doorsteken naar gang 35. Ze zullen dus maar kort in de gang verblijven. Deze roolly-orderpickers maken ongeveer 25% uit van alle orderpickers die zich door deze gang bewegen. Omdat ook de container-ophalers korter in de gang verblijven (want het aantal picklocaties is een kwart minder ten gevolge van de picklocaties voor het roolly-circuit) ligt de gemiddelde verblijftijd erg laag. Er gaan dus wel veel orderpickers doorheen, maar omdat ze maar kort blijven, ligt de gemiddelde bezetting vrij laag en zal de congestie ook beperkt zijn.

Tot slot worden nogmaals de belangrijkste conclusies die naar aanleiding van dit experiment getrokken kunnen worden genoemd. De ontwikkeling van de totale productiviteit bij een toename van het aantal orderpickers voldoet aan de wet van de toe- en afnemende meeropbrengsten. Volgens functie (6.1) neemt de totale productiviteit toe tot de capaciteit, die ongeveer 8100 colli per uur bedraagt, wordt bereikt bij een inzet van 88 orderpickers, waarna de totale productiviteit afneemt. De grafiek voor de individuele productiviteit is gelijk aan die van de totale productiviteit gedeeld door het aantal ingezette orderpickers. De curve van de marginale productiviteit is de afgeleide van de totale productiviteit. Wat betreft de individuele gangen is gebleken dat gang 35 en gang 21 de grootste congestieproblemen veroorzaken. Deze gangen kennen logischerwijs een hoge omzet en een hoge gemiddelde bezetting. Het aantal colli per stop blijkt ook een belangrijke indicator voor congestie te zijn. Kennelijk is minder vaak en lang stoppen meer verstorend dan vaak en kort stoppen. Een drukbezochte afmeldkast en regelmatig voorkomen als begingang in opdrachten leveren ook een substantiële bijdrage aan de congestie. Bij inzet van een groot aantal orderpickers blijkt het aandeel van gang 35 in de totale congestietijd te stijgen. Deze gang is op dit moment de bottleneck.

6.2.2 Veranderen paktijd per collo

Door de variabele "paktijd" te veranderen kan de invloed van deze factor op de capaciteit beter in kaart worden gebracht. Hoewel de paktijd per collo klein is, maakt de totale paktijd van alle colli tezamen een belangrijk onderdeel uit van de totale tijd per opdracht. De verwachting is dan ook dat een verandering van de paktijd met een bepaalde factor een zelfde of zelfs grotere verandering in de doorlooptijd van de opdracht tot gevolg heeft. De meer dan proportionele reactie zou verklaard kunnen worden door de toename van de congestie ten gevolge van het langer bezetten van een stoplocatie door de orderpicker.

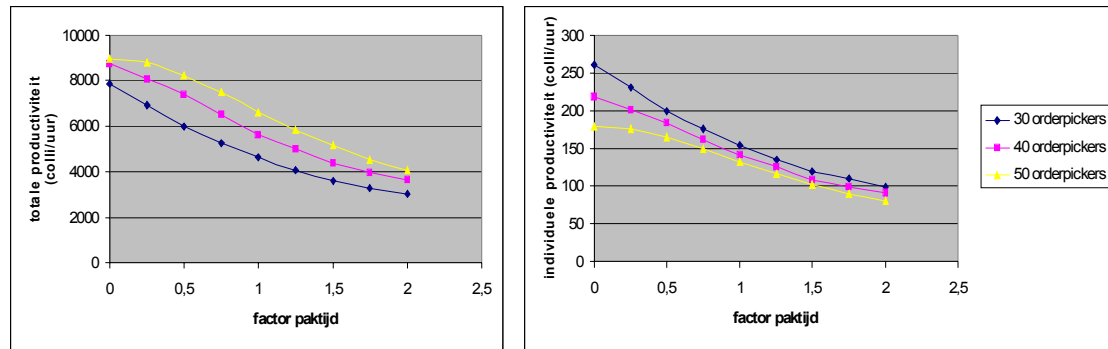
De paktijd wordt in het model voor ieder pick bepaald door middel van een trekking uit een driehoeksverdeling. Voor dit experiment is de uitkomst van deze trekking vermenigvuldigd

¹⁹ Het roolly-circuit wordt ook als krattencircuit aangeduid. Het container-circuit wordt ook dozencircuit genoemd.

met een factor variërend van 0 tot 2. Een factor van 1 levert dus de huidige situatie op, een factor van 2 betekent een verdubbeling van de gemiddelde paktijd.

Resultaten

In figuur 6.15 staan de totale en de individuele productiviteit uitgezet tegen de paktijd factor voor drie verschillende aantallen orderpickers.



Figuur 6.15: Invloed van de paktijd op de totale en de individuele productiviteit

De volgende conclusies kunnen getrokken worden. Ten eerste blijkt dat de paktijd een grote invloed heeft op de productiviteit. De precieze invloed hangt echter af van het aantal orderpickers dat ingezet wordt. Uit de figuur blijkt dat voor 30 orderpickers de productiviteiten bij een toename van de paktijd meer dan evenredig dalen, terwijl dit voor 50 orderpickers minder dan evenredig is. Met andere woorden, bij inzet van minder orderpickers is de productiviteit gevoeliger voor een verandering in de paktijd. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de paktijd bij een klein aantal orderpickers een groter gedeelte van de totale tijd uitmaakt dan bij een groot aantal orderpickers. Voor de congestietijd geldt precies het omgekeerde. (zie figuur 6.9). Daarnaast vertonen de lijnen specifiek gedrag aan de uiteinden. Het verschil tussen de lijnen wordt kleiner naarmate de paktijd groter wordt. Het systeem gaat dan naar een situatie toe, waarin de paktijd zo groot is dat de orderpickers als een soort treintje achter elkaar aanlopen. De productiviteit zal vanaf dat moment (bij grotere aantallen orderpickers) vrijwel onafhankelijk van het aantal orderpickers zijn. Naarmate de paktijd kleiner wordt, wordt het verschil tussen de individuele productiviteiten groter. Immers er kan meer voordeel van een lage paktijd gehaald worden als er minder orderpickers zijn.

Het vergroten en verkleinen van de paktijd per collo levert in grote lijnen de verwachte resultaten op. De mate waarin de productiviteiten reageren op een verandering in de paktijd blijkt echter vooral afhankelijk van het aantal orderpickers en de Ausgangssituatie voor de verandering. De grafieken blijken complexer in elkaar te zitten dan verwacht.

Voor de praktijk zijn grote veranderingen in de paktijd niet te verwachten. Interessant is wat er gebeurt als uitgaande van de huidige situatie (factor paktijd=1) de paktijd met een beperkt percentage verandert. Voor de veranderingen tussen -25% en +25% blijkt de productiviteit zich lineair te gedragen. Het fitten van een trendlijn op dit gedeelte van de grafieken (vergelijkbaar met de bepaalde functies voor het aantal orderpickers) levert de volgende functies voor de individuele productiviteit²⁰:

²⁰ De onafgeronde versies en de betrouwbaarheid van alle functies zijn te vinden in bijlage 6.

$$f_{30}(x) = -81x + 235 \quad (6.4)$$

$$f_{40}(x) = -73x + 215 \quad (6.5)$$

$$f_{50}(x) = -67x + 200 \quad (6.6)$$

Waarbij het subscript het aantal orderpickers aanduidt en x de paktijd factor. De functies voor de totale productiviteit kunnen verkregen worden door deze functies met het aantal orderpickers te vermenigvuldigen. Inderdaad blijkt het effect van een verandering in de paktijd groter naarmate het aantal orderpickers kleiner is. Zo geldt voor 30 orderpickers bij een afname van de paktijd met 10% ($x=0,9$) dat de individuele productiviteit toeneemt met ruim 8 punten. Als bedacht wordt dat een afname van 10% niet veel meer is dan 1 seconde, dan blijkt direct de grote invloed van de paktijd op de productiviteit. De belangrijkste conclusies voor het DC is dat de paktijd veel belangrijker is voor de productiviteit dan over het algemeen wordt gedacht.

6.2.3 Veranderen aantal aanvulbewegingen

Zoals eerder beschreven vinden de aanvulbewegingen (SWAGen en ontvangst rijden) plaats op basis van de werkelijke tijden. Het aantal bewegingen hangt uiteraard samen met de omzet. Bij een hogere omzet zal het aantal aanvulbewegingen groter zijn. Bij dit experiment is het aantal aanvul- en SWAGbewegingen veranderd om te bepalen hoe groot de invloed van deze activiteiten op het orderpickproces nu eigenlijk is.

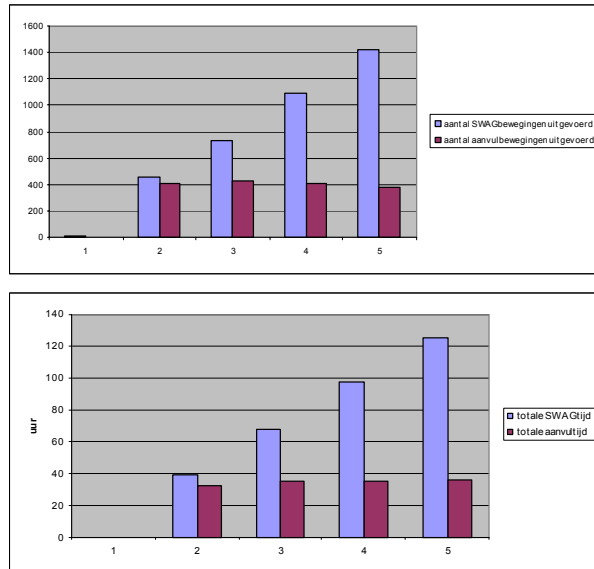
De verwachting is dat de versturende werking van de aanvulbewegingen resulteert in een grotere congestietijd per gang en een lagere productiviteit. Vooral in gangen waar zich veel hardlopers bevinden zal het effect duidelijk waarneembaar zijn. De invloed is waarschijnlijk afhankelijk van het aantal orderpickers. Als er weinig orderpickers in het circuit zijn, zullen de aanvullers nauwelijks voor verstoring zorgen. Naarmate er meer orderpickers bij komen zal de invloed groter worden. Echter, de relatieve versturende werking van de aanvullers zal naarmate het aantal orderpickers toeneemt minder worden, aangezien hun aandeel in het totaal aantal aanwezige voertuigen minder wordt. Met andere woorden, als er al veel congestie is ten gevolge van het grote aantal orderpickvoertuigen, dan zal de extra congestie ten gevolge van de reachtruckers beperkt zijn.

In figuur 6.17 is voor 30, 40 en 50 orderpickers de individuele productiviteit weergegeven bij een toenemend aantal aanvul- en SWAGbewegingen. Omdat er bij deze bewegingen gewerkt wordt met een rooster, kan het aantal bewegingen niet zomaar veranderd worden. Daarom is een aanvulfactor ingevoerd, waarmee de tijden waarop er aangevuld moet worden, zijn vervroegd of verlaat. Op deze manier zijn 5 situaties verkregen, weergegeven met de nummers 1 tot en met 5 in genoemde grafiek.

1. geen aanvul- en SWAG bewegingen
2. starttijd aanvul- en SWAGbewegingen met 50% vervroegd
3. huidige situatie
4. starttijd aanvul- en SWAGbewegingen met 50 % verlaat
5. continu aanvul- en SWAGbewegingen

Gebleken is dat het aantal aanvulbewegingen nauwelijks verhoogd kan worden. In de huidige situatie zijn de aanvullers al bijna continu bezig om de geleverde pallets weg te rijden.

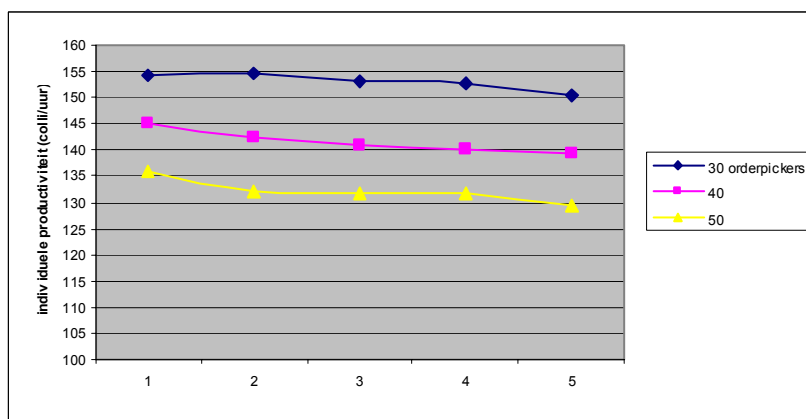
Kennelijk wordt in de werkelijkheid een aantal van de pallets die binnen een orderpickdienst worden ontvangen, pas weggereden als de ordervverzamelaars klaar zijn. Dit zal sowieso het geval moeten zijn als het aantal ontvangsten groot is. De SWAGbewegingen kunnen maximaal ongeveer verdubbeld worden (bij 40 orderpickers). Het maximale aantal SWAG- en aanvuluren is 126 respectievelijk 32. Figuur 6.16 laat de verandering van het aantal uren in de vijf situaties zien.



Figuur 6.16: SWAG- en aanvultijd

Uit de figuur blijkt dat de aanvuller nu al tegen maximale bezetting aan zit, terwijl de SWAGer dit punt bereikt in situatie 5.

Uit onderstaande grafiek blijkt dat de invloed van de aanvul- en SWAGbewegingen vele malen kleiner is dan verwacht en soms zelfs nihil is. Het verschil tussen niet en continu aanvullen is gemiddeld slechts 5 productiviteitspunten.



Figuur 6.17: Invloed van aanvul- en SWAGbewegingen op de individuele productiviteit

Gezien de toename van de doorlooptijden van de SWAG- en aanvulbewegingen bij grotere aantallen orderpickers in figuur 6.7 lijkt het er op dat de reachtruckers meer last hebben van de orderpickers dan andersom. Dit blijkt ook uit het feit dat bij continu aanvullen het aantal SWAGbewegingen bij 30 orderpickers nog ruim verdubbeld kan worden terwijl dit bij 50

orderpickers bij lange na niet meer mogelijk is. De SWAGer doet dan langer over één SWAGbeweging en kan dus minder bewegingen uitvoeren in de gegeven 18 uur.

Een verklaring voor de resultaten kan gevonden worden door meer in detail te kijken naar de getalsmatige verhouding tussen de orderpickers en de aanvullers. Uitgangspunt is de situatie met 40 orderpickers, die per definitie continu bezig zijn. Er zijn altijd negen reachtruckers aanwezig in het model (7 SWAGers en 2 aanvullers). In de situatie dat die ook continu bezig zijn, is de verhouding tussen de reachtruck uren en de orderpickuren 9/40. Om een goed beeld van de invloed van de reachtruckers op de drukte in de gangen te krijgen, moet gekeken worden naar de tijd dat ze stilstaan in de gangen, hier voor het gemak blokkadetijd genoemd. De tijd dat een orderpicker stilstaat in een gang is gelijk aan de verblijftijd in die gang minus de netto rijtijd. Optellen voor alle orderpickers en voor alle gangen levert dan het aantal uren dat er ergens *een* orderpicker stilstaat in *een* gang, de blokkadetijd. Dat is in dit geval 475 uur. Dit betekent dat ongeveer 65% van alle orderpickertijd stilstaand wordt doorgebracht in het pickcircuit en dat er gemiddeld 26 orderpickers in het circuit stilstaan (de rest rijdt naar een volgende picklocatie, bevindt zich in een bocht, in de hoofdverkeersgang of bij het opzetpunt). Voor de reachtruckers geldt een soortgelijke berekening. De tijd dat zij stilstaan in een pickgang is opgebouwd uit de eerder genoemde onderdelen positioneertijd, draaitijd, grijptijd en registratietijd. Vermenigvuldigen met het aantal SWAG- en aanvulbewegingen resulteert in ongeveer 48 uur blokkadetijd in situatie 5. Het aanvullen (=wegrijden van de ontvangsten) maakt hier slechts een klein onderdeel vanuit. Niet alleen zijn er slechts twee aanvullers, maar de blokkadetijd ten gevolge van aanvullen is ook veel lager dan die ten gevolge van het SWAGen. Bij de discussie over het aanvullen in het algemeen, zal de aandacht dan ook vooral gericht moeten worden op de SWAGbewegingen. Vergelijken van de blokkadetijden van de orderpickers en van de reachtruckers leert dat bij continu aanvullen en SWAGen de blokkadetijd ongeveer 10% bedraagt van de blokkadetijd van de orderpickers²¹. Kort door de bocht is overgaan van niet naar continu SWAGen en aanvullen dan te vergelijken met het toevoegen van 4 extra orderpickers. Het overgaan van niet naar continu SWAGen en aanvullen betekent een verlaging van de productiviteit met ongeveer 5 punten (zie figuur 6.17), terwijl de grafiek in figuur 6.3 bij een toename van 40 naar 44 orderpickers een daling van 6 punten laat zien. Hiermee lijkt het bovenstaande een logische verklaring te zijn.

Het is wel zo dat een gedeelte van de blokkadetijd van de SWAGer en de aanvuller blokkade van de gehele gang betreft, waardoor de vergelijking niet helemaal eerlijk is. Aan de ander kant geldt dat de blokkade minder hinderlijk is, omdat de gemiddelde stoptijd voor een aanvul- of SWAGbeweging lager ligt dan voor een stop van een orderpicker. Ook liggen de opeenvolgende bestemmingen vaak verder uit elkaar dan het geval is bij de stops van de orderpicker. Dit leidt ertoe dat langdurig blokkeren van een gang veroorzaakt door een reachtrucker maar weinig voorkomt; het achteropkomende voertuig krijgt al snel de gelegenheid om in te halen. De blokkades veroorzaakt door orderpickers kunnen soms relatief lang zijn; door de grotere stoptijd en –frequentie komt het regelmatig voor dat er wachtrijen ontstaan, waarbij twee orderpickers voor veel vertraging voor het achteropkomende verkeer zorgen.

Tot slot: het moge duidelijk zijn dat de verstorende werking van het SWAGen en aanvullen veel minder groot is dan verwacht. Verdubbeling van het aantal SWAGbewegingen ten

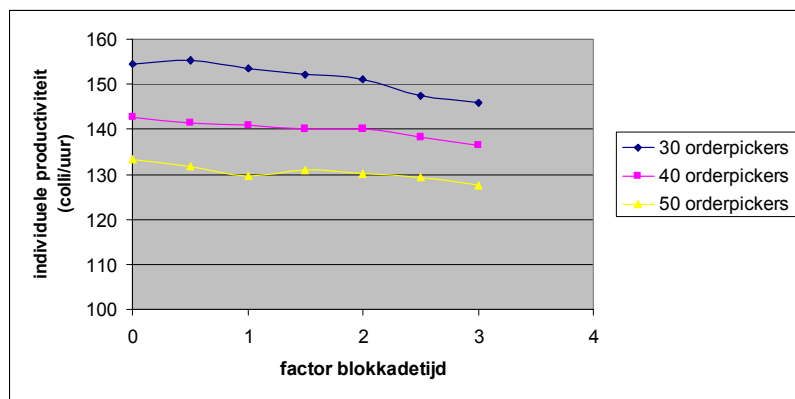
²¹ $(48 \text{ uur} / 475 \text{ uur}) * 100\%$

opzichte van de huidige situatie betekent een vermindering van 2 à 3 productiviteitspunten. Pas bij het vergelijken van de extremen, continu aanvullen en niet aanvullen, kunnen duidelijke verschillen in de productiviteit gevonden worden. Reachtruckers lijken meer last van orderpickers te hebben dan andersom (vooral bij grotere aantallen orderpickers). De doorlooptijd van de aanvul- en SWAGbewegingen neemt fors toe bij de inzet van meer orderpickers. Een verklaring is gevonden door de blokkadetijden per activiteit nauwkeuriger te bekijken en geconstateerd is dat de blokkadetijd van de reachtruckers ten opzichte van de orderpickers beperkt is en bovendien minder verstorend van aard. De oorspronkelijke vrees dat veel producten in kleine locaties slotten veel congestie zal opleveren als gevolg van het grote aantal aanvulbewegingen blijkt ongegrond.

6.2.4 Veranderen aanvultijd pallet

Om te bepalen welke invloed de duur van de blokkade door een SWAGer of aanvuller heeft, is bij dit experiment de tijd die een reachtrucker nodig heeft voor het wegzetten of pakken van een pallet op een zelfde manier als eerder de paktijd per collo veranderd. Het gaat om de tijd dat de reachtrucker een pickgang volledig blokkeert. Opnieuw wordt hier verder over de blokkadetijd gesproken. De verwachting is dat vergroten van de blokkadetijd betekent dat een orderpicker langer zal moeten wachten op een reachtrucker en dat bovendien de kans dat hij moet wachten groter wordt. Dit zal tot een afname van de productiviteit leiden.

In figuur 6.19 staat de individuele productiviteit uitgezet tegen de factor blokkadetijd. Factor 1 geeft de huidige situatie weer, factor 2 een verdubbeling van de blokkadetijd ten opzichte van die situatie.



Figuur 6.19: Invloed van blokkadetijd SWAG- en aanvulbewegingen op de individuele productiviteit

De invloed blijkt opnieuw lager dan gedacht. Een toename van de blokkadetijd met 200% (factor=3) blijkt een afname van de individuele productiviteit op te leveren variërend van 2 tot 8 punten. Ook hier blijkt de invloed het grootst (absoluut en relatief) bij 30 orderpickers. De verklaring voor deze waarden is als volgt. Als de blokkadetijd toeneemt zal de doorlooptijd van de beweging toenemen. Dit betekent dat de reachtrucker achter gaat lopen op z'n schema. Uiteindelijk zal hij daardoor gedurende de dag minder bewegingen uit kunnen voeren dan in de situatie met de normale blokkadetijd. Het aantal bewegingen dat hij wel kan uitvoeren is afhankelijk van de verstoringen die hij onderweg tegenkomt, voornamelijk van het aantal orderpickers. Dus als er weinig orderpickers zijn zal de reachtrucker meer bewegingen uit kunnen voeren en dientengevolge zal de totale tijd dat hij ergens een gang blokkeert groter

zijn, dan als er veel orderpickers zijn. Dit betekent dat het effect van een vergroting van de blokkadetijd groter zal zijn als er weinig orderpickers zijn. De totale tijd dat een reachtrucker zich in het circuit bevindt is weliswaar even groot bij meer orderpickers, maar omdat hij minder bewegingen uitvoert is de totale blokkadetijd minder. Het grootste gedeelte van de tijd zal de reachtrucker bezig zijn om bij de bestemmingslocatie te komen. De versturende werking daarvan is echter gering.

In ieder geval geldt dat de blokkadetijd geen belangrijke rol speelt bij de totstandkoming van de individuele productiviteit. Zelfs als de blokkadetijd wordt gereduceerd tot nul, wat niet realistisch is, dan levert dat slechts een productiviteitstoename van 2 à 4 punten. De oorzaak moet, zoals eerder aangegeven, gezocht worden in het ten opzichte van het aantal stops van de orderpickers relatief kleine aantal stops van de reachtruckers.

6.2.5 Specificeren paktijd

De paktijd per collo wordt in het model bepaald door een constante driehoeksverdeling, ongeacht het type product of het opslagtype. Hiervoor is gekozen omdat alleen gegevens bekend zijn over de gemiddelde paktijd en er geen duidelijk beeld bestaat over de verschillen in paktijd van verschillende producten uit verschillende opslagtypes. Om toch inzicht te krijgen in de invloed van deze factoren op de paktijd zijn de eerder beschreven grafieken uit Esmeijer (1996), waarin de invloed op de paktijd van de grijpdiepte, de grijphoogte en het gewicht is weergegeven, als basis gebruikt om ook in het model dit onderscheid te maken. Afhankelijk van het opslagtype en het gewicht van het te picken artikel wordt de paktijd met een bepaalde factor vermenigvuldigd. In tabel 6.3 staan de gehanteerde waarden voor de grijphoogte en –diepte weergegeven. Deze zijn gebaseerd op figuur 4.4.

Opslagtype	Factor t.g.v. grijphoogte	Factor t.g.v. grijpdiepte
Normaal-locatie	1	1
Kom-locatie	1,12	1
Flowrack	1,15	0,75

Tabel 6.3: Vermenigvuldigingsfactoren t.g.v. grijphoogte en –diepte

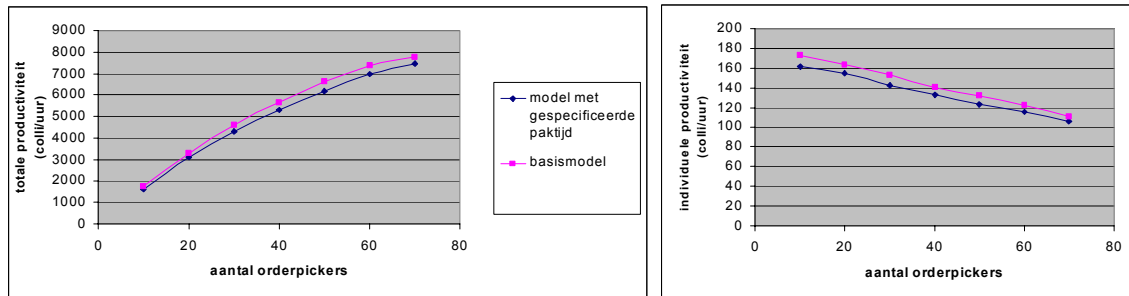
De normaal-locatie is als basis gehanteerd. Voor een kom-locatie geldt dat de kom-onder locatie op een gemiddelde hoogte van ongeveer 45 cm gepickt moet worden. Dit leidt tot extra paktijd ten opzichte van de normaal-locatie. Zo is ook voor een flowrack bepaald, dat de grijpdiepte een positief effect heeft op de paktijd (product staat altijd vooraan), terwijl de grijphoogte ten gevolge van de bovenste en de onderste locaties juist leidt tot een toename van de paktijd. Ten aanzien van het gewicht van een product zijn de factoren uit tabel 6.4 gehanteerd. Deze tabel is gebaseerd op figuur 4.5.

Gewicht (kg)	Factor t.g.v. gewicht
$G \leq 3$	0,9
$3 < G \leq 7$	1
$7 < G \leq 13$	1,5
$13 < G \leq 20$	2
$G > 20$	2,5

Tabel 6.4: Vermenigvuldigingsfactoren t.g.v. gewicht

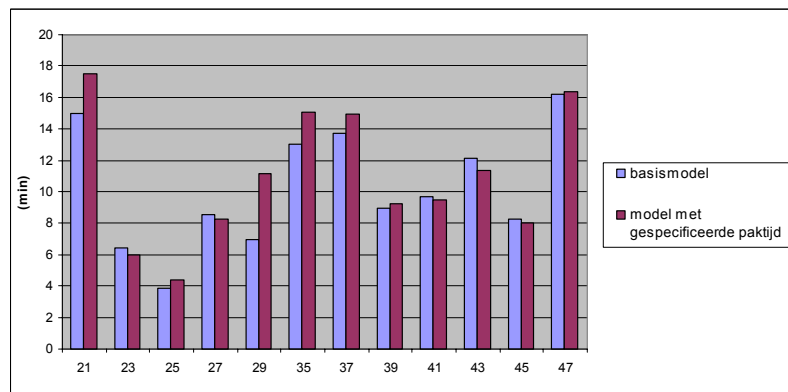
Dit experiment is niet, zoals het basismodel, bedoeld als een weergave van de werkelijkheid. Hier wordt alleen gekeken wat de gevolgen zijn als bovenstaande vermenigvuldigingsfactoren in het model worden ingevoerd. De verwachting is dat duidelijk naar voren komt welke gangen een gemiddeld hogere paktijd hebben.

De resulterende totale en individuele productiviteit staan weergegeven in figuur 6.20.



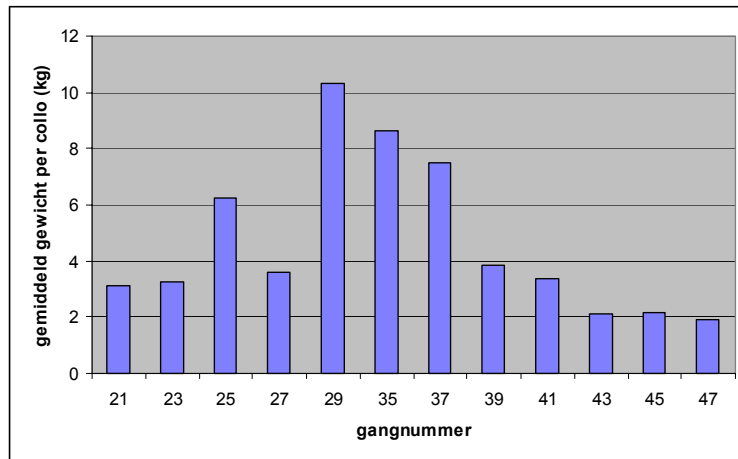
Figuur 6.20: Totale en individuele productiviteit na specificatie paktijd

De beide productiviteiten blijken een stuk lager te liggen. De doorlooptijden van de opdrachten liggen structureel iets hoger. Kennelijk resulteren de vermenigvuldigingsfactoren in een grotere gemiddelde paktijd dan in het basismodel het geval is. Nader onderzoek leert dat vrijwel de gehele verandering toe te wijzen is aan de vermenigvuldigingsfactoren ten gevolge van het gewicht. De lagere paktijd bij flowracks en de hogere paktijd bij komstellingen heffen elkaar dus min of meer op, terwijl de hoeveelheid zware producten niet gecompenseerd wordt door de lichtere.



Figuur 6.21: Verblijftijd per gang vergeleken met het basismodel

In figuur 6.21 staat de verblijftijd per gang van het model met de gespecificeerde paktijd vergeleken met de waarden die gelden in het basismodel. Gang 29 laat de grootste stijging zien. Gang 21, 35 en 37 laten een kleinere toename zien. Hier liggen waarschijnlijk producten met een groot gewicht geslot. Dit blijkt in grote lijn juist te zijn, zoals figuur 6.22 laat zien. Zo kent het begin van het container-circuit dat zich rechts vooraan in gang 29 bevindt een gemiddeld gewicht van ongeveer 18 kilo (kratten melk). Omdat de gemiddelden niet aan de omzet gerelateerd zijn, is het gemiddelde gewicht in gang 21 vrij laag. Er bevindt zich echter een beperkt aantal zware producten met een hoge omzet in deze gangen. Overigens is in deze figuur goed zichtbaar dat er, vooral in het containercircuit, op gewicht geslot wordt.



Figuur 6.22: Gemiddeld gewicht per gang

De oorzaak van de toename van de verblijftijd is in eerste instantie natuurlijk de vergroting van de paktijd. Daarnaast neemt ook de congestietijd echter toe. Procentueel is de toename van de congestietijd zelfs groter. Geconstateerd kan worden dat de congestieproblemen in gang 21 en 35 nog eens versterkt worden door het feit dat daar veel zware producten liggen opgeslagen. Daarnaast blijkt ook de congestie in gang 29 misschien groter dan gedacht. In ieder geval neemt de congestietijd meer dan de helft toe tot 15% van de totale congestietijd bij 40 orderpickers.

Samenvattend kan het volgende gezegd worden. Eerder is gebleken is dat de paktijd 50 tot 70% uitmaakt van de doorlooptijd van een ophaalopdracht (afhankelijk van de congestie). In literatuur is gevonden dat productkenmerken (gewicht, volume, stapelbaarheid) en kenmerken van het opslagtype (grijphoogte, grijpdiepte) veel invloed hebben op de paktijd. Hoe de paktijd is opgebouwd is binnen het DC echter niet bekend. In dit experiment zijn daarom de relaties die Esmeijer (1996) heeft vastgesteld tussen de product- en opslagkenmerken en de paktijd ingevoerd in het model. De resultaten tonen aan dat de invloed van de grijphoogte en grijpdiepte, gegeven de huidige opslagtypen, op de productiviteit nihil is. Echter de individuele bijdrage van de opslagtypen is wel verschillend. Zo is de grijpdiepte van een flowrack in principe altijd nul, terwijl in kom- en normaal-locaties gemiddeld tot halverwege de picklocatie gegrepen moet worden.

Het effect van het invoeren van vermenigvuldigingsfactoren op basis van het gewicht van een product blijkt veel groter te zijn. Dit betreft vooral de gangen 21, 29, 35 en 37, waar de zwaardere producten liggen. Dit zijn de eerste gangen van de beiden circuits en tevens de gangen die al de grootste congestieproblemen kennen (met uitzondering van gang 29).

Dit experiment is slechts een poging om de effecten van het opslagtype en het gewicht op de paktijd te kwantificeren. Zonder metingen blijft dit zeer moeilijk. Daarnaast geldt dat ook de andere productkenmerken, zoals die eerder beschreven zijn in paragraaf 4.6.2, ieder hun eigen invloed hebben. Naast de individuele bijdrage aan de paktijd (bijvoorbeeld uitgedrukt in vermenigvuldigingsfactoren) geldt dat ze ook tezamen invloed uitoefenen op de beslissing die de orderpicker neemt over het aantal colli dat hij in één keer meeneemt. In het model wordt er nu vanuit gegaan dat een orderpicker één keer loopt per halve sectie (in het geval van een flowrack per hele sectie) en dat de paktijd altijd gelijk is aan de paktijd per collo maal het

aantal colli. Gemiddeld is dat juist, maar in werkelijkheid bestaat de mogelijkheid dat de orderpicker meerdere keren moeten lopen tussen BT en locatie of dat hij juist meerdere colli tegelijk kan pakken. Het gaat dan in feite om het bepalen van de α uit de formules van paragraaf 4.4. Daarbij spelen dan factoren als stapelbaarheid en vorm ook nog mee. Het is echter niet mogelijk om deze factoren op te nemen in die formules, aangezien het hier geen kwantificeerbare grootheden betreft.

6.3 Type 2 experimenten

Het tweede type experimenten heeft betrekking op veranderingen op tactisch niveau, die een aanzet kunnen zijn voor toekomstige verbeteringen in de verscentrale. Bij deze experimenten wordt de constructie van het model ingrijpend gewijzigd. In overleg met DCP is gekozen voor een drietal experimenten, te weten het invoeren van een uitgiftestrategie, doorvoeren van een andere slotting en een wijziging van het gebruikte opslagtype in gang 29. De redenen om voor deze drie experimenten te kiezen zijn:

- Het invoeren van een uitgiftestrategie lijkt interessant, omdat daarmee de spreiding van de orderpickers in het circuit vermoedelijk verbeterd kan worden. Dit zou een vergroting van de capaciteit kunnen betekenen.
- Recentelijk is een nieuwe slotting ingevoerd, waarin een aantal adviezen van de projectgroep zijn opgevolgd. De vraag is wat precies de gevolgen zijn voor de productiviteit.
- Op dit moment wordt er nagedacht over het veranderen van de indeling van gang 29. Het model kan inzicht bieden in de gevolgen van deze verandering.

Deze experimenten zijn gekozen, omdat verwacht wordt dat ze het meeste op kunnen leveren, dan wel het meeste inzicht in de totstandkoming van de capaciteit geven. Daarnaast moesten ze uiteraard implementeerbaar zijn in het model. Andere mogelijk interessante experimenten zullen in de aanbevelingen aangedragen worden. Achtereenvolgens komen nu in drie paragrafen de uitgevoerde experimenten aan bod.

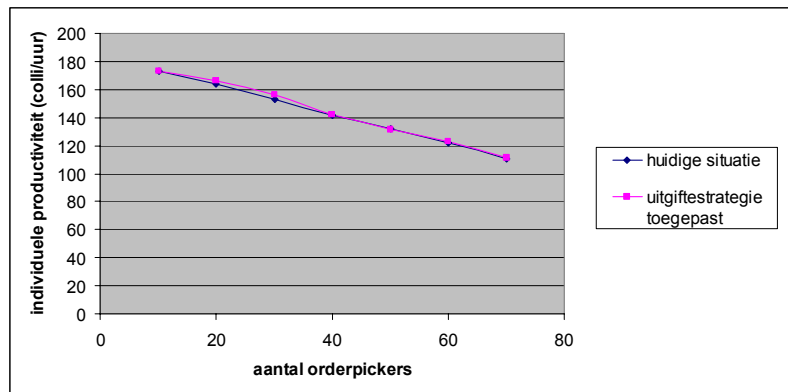
6.3.1 Veranderen uitgiftestrategie

Dit experiment is uitgevoerd om te bepalen of de congestie beperkt kan worden door de ophaalopdrachten in een andere volgorde uit te geven. Daartoe worden de opdrachten in een andere volgorde gelopen dan in werkelijkheid het geval is geweest. Er wordt uitgegaan van prioritering op basis van de drukte in bepaalde gangen: toewijzen van een nieuwe opdracht met een begingang, waar het op dat moment rustig is (spreiding orderpickers van plaats). Dit zal naar verwachting tot een betere spreiding van de orderpickers in het circuit leiden. Vooral de opstoppen aan het begin van "populaire" begingangen zullen waarschijnlijk fors verminderd kunnen worden.

De uitgiftestrategie is op de volgende manier ingevoerd in het model: Uitgangspunt is de oorspronkelijke uitgiftevolgorde. Het model selecteert steeds de eerstvolgende opdracht die nog niet gelopen is. Vervolgens wordt bepaald hoeveel orderpickers zich in de begingang van die opdracht bevinden. Is dit aantal groter dan twee dan wordt de volgende opdracht gezocht, totdat er één gevonden wordt, waar het rustig is in de bijbehorende begingang. Om te voorkomen dat opdrachten te lang blijven liggen, wordt bijgehouden hoe vaak een opdracht al overgeslagen is. Is dit 10 keer dan zal de opdracht bij de volgende aanvraag van een

orderpicker altijd uitgegeven worden, ongeacht de drukte in de begingang. In werkelijkheid zal hiervoor eerder een tijd worden vastgesteld, maar voor de resultaten komt het op hetzelfde neer. De parameters – in dit geval 2 en 10 – kunnen aangepast worden om te bepalen wat het beste werkt bij verschillende aantallen orderpickers en mogelijke andere omstandigheden. Omdat in de huidige situatie eerst de nieuwe opdracht wordt geladen en daarna de FCDO's van de oude opdracht nog weggezet moeten worden, is ook de toekomstige situatie, waarbij er gewerkt wordt met RF scanners²², doorgerekend. De verwachting is dat de uitgiftestrategie dan meer oplevert, omdat de orderpicker zich dan na het laden direct naar de begingang begeeft.

De resultaten blijken niet te voldoen aan de verwachtingen. Er blijken nauwelijks verbeteringen mogelijk te zijn door een uitgiftestrategie in te voeren. Van de verschillende combinaties bleek de oorspronkelijke nog het beste, maar ook in dat geval bleek de maximale productiviteitswinst beperkt tot 3 punten, wat eigenlijk nauwelijks significant is (de halfwaarde bedraagt immers 2). Deze winst is alleen te behalen bij genoemde combinatie, bij een inzet van 30 orderpickers met RF scanning. In alle overige situaties was de productiviteitsverandering minder of zelfs negatief. Figuur 6.23 laat de individuele productiviteit met en zonder uitgiftestrategie zien.

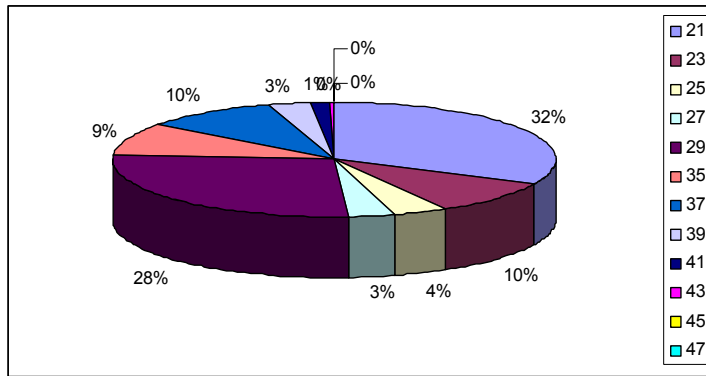


Figuur 6.23: Resultaten uitgiftestrategie

Ook is geprobeerd om de orderpickers te spreiden door van tevoren een volgorde vast te stellen, waarin de begingangen zoveel mogelijk gespreid zijn. Dit leverde eveneens geen noemenswaardige verbeteringen op.

De verklaring hiervoor is eigenlijk een logische: de opdrachtnet is te weinig gevarieerd. Uit figuur 6.24 blijkt dat 65% van de opdrachten begint in gang 21 of gang 29, terwijl nog eens 19 procent in de daaropvolgende gangen 23 en 35 begint, waarbij de orderpicker door de voorafgaande gang heen moet om er te komen. Er is dus simpelweg weinig spreiding mogelijk op basis van de drukte in de begingang. Dit blijkt ook als het aantal keer dat een opdracht mag blijven liggen op oneindig wordt gezet. Dat resulteert er namelijk in dat vrij snel alle opdrachten voor andere gangen dan bovengenoemde op zijn, waarna het de rest van de tijd nog veel drukker is in de populaire gangen (zie voor de precieze resultaten bijlage 5).

²² Radio Frequency, opladen van een opdracht kan dan via RF overal in het pand plaatsvinden. Dit betekent dat de tijd tussen laden en werkelijk gaan lopen bijna nul wordt, terwijl in de huidige situatie eerst de FCDO's van de vorige opdracht nog weggezet worden. Er wordt dan dus directer gereageerd op de congestie. De afname van de laadtijd bij de afmeldkasten is niet meegenomen.



Figuur 6.24: Verdeling ophaalopdrachten per begingang

Dit is gelijk ook mede een verklaring voor de geconstateerd congestie in gang 21. Vrijwel alle orderpickers die een opdracht voor het rollycircuit hebben moeten door die gang heen. Door de eerder genoemde kenmerken van de gang (veel colli per stop, hoge omzet), zal dat tot een grote kans op congestie leiden. Het zijn van een "populaire" begingang is dus een extra kenmerk van een gang, dat bijdraagt aan de congestie. Dit geldt vooral als er direct aan het begin van de begingang hardlopers geplaatst zijn. Er zal dan direct aan het begin congestie ontstaan, waardoor alle achteropkomende orderpickers moeten wachten. Om eerder genoemde redenen, kent gang 29 geen echte congestieproblemen, ondanks dat deze gang frequent begingang van een opdracht is.

Geconcludeerd kan worden dat met de huidige set opdrachten een andere uitgiftestrategie weinig oplevert. De huidige volgorde blijkt de maximaal mogelijke spreiding al bijna te benaderen. Uitgezocht is of de verdeling van de begingangen zoals in figuur 6.24 algemeen geldend is. Dit blijkt in grote mate het geval te zijn. Dit zou pleiten voor een slotting waarbij de populariteit van de begingangen beter is verdeeld. Dat geldt niet alleen voor de begingangen, maar ook voor de omzet. Het zijn voornamelijk de gangen met de hoge omzetten (en dus een hoge pickdichtheid) die congestieproblemen geven. Bijkomend voordeel is dat de congestie in de hoofdverkeersgang, veroorzaakt door wachten voor een begingang beperkt kan worden. Pas als de opdrachteset meer variatie vertoont, zal een uitgiftestrategie op basis van de drukte in de gangen van nut kunnen zijn. De vraag is of het dan nog wel nodig is, want met meer variatie in de opdrachteset zal de spreiding ook altijd beter worden. De slotting is in feite belangrijker dan de uitgiftestrategie. Als de omzet keurig verdeeld is over alle gangen, dan zullen de verstoringen automatisch al kleiner zijn. De uitgiftestrategie kan dan een rol spelen om te zorgen dat de opdrachten zodanig uitgegeven worden dat hier optimaal gebruik van gemaakt wordt.

6.3.2 Andere slotting

Het volgende experiment betreft het implementeren van de nieuwe slotting in het model. Dit is de slotting die werkelijk is doorgevoerd tijdens de remodelling in week 10. De belangrijkste veranderingen zijn:

- De dwarsgang tussen gang 29 en 35 is verwijderd. Daarvoor in de plaats zijn er 8 normaal-locaties en bufferlocaties bijgekomen. Dit was ook de belangrijkste reden om deze verandering door te voeren. Nadeel hiervan is wel dat de orderpickers die uit het rolly ophaalgebied komen en in gang 29 het laatste stukje van hun opdracht nog moeten

doen, nu de gehele gang door moeten om in gang 35 te komen. Het is dus interessant om te bepalen wat de gevolgen van deze verandering zijn voor de prestatie-indicatoren van gang 29 en 35.

- Verder zijn een groot aantal producten in het dozencircuit van plaats veranderd. De basis en ook de belangrijkste reden voor deze veranderingen was de stapelbaarheid. Verplaatsen van producten heeft gevolgen voor de omzet (van gedeelten) van gangen, wat invloed heeft op het ontstaan van congestie. Het grote voordeel van de remodelling voor de orderpicker is dat de volgorde waarin de producten gepickt moeten worden nu beter is afgestemd op de stapelbaarheid. Als het goed is, moet de orderpicker gemakkelijker en sneller de producten op de rolcontainer kunnen stapelen. Daarnaast is bij het slotten van zware producten meer rekening gehouden met de grijphoogte en grijpdiepte.
- Tot slot is de configuratie van een aantal flowracks veranderd, zodat er nu ook producten met een hogere omzet in kunnen. Resultaat is dat de omzet per flowrack is toegenomen.

Voor het model betreft dit in feite het inlezen van een andere opdrachteset, die samengesteld is op basis van de nieuwe slotting. Daarnaast zijn uiteraard de trajecten en de stoplocaties aangepast aan de nieuwe situatie zonder dwarsgang. Als basisdag is vrijdag 19 april genomen. Omzet en aantal opdrachten in de set zijn min of meer gelijk genomen aan de waarden in het basismodel. De bestemmingen van de aanvul- en SWAGbewegingen zijn niet veranderd.

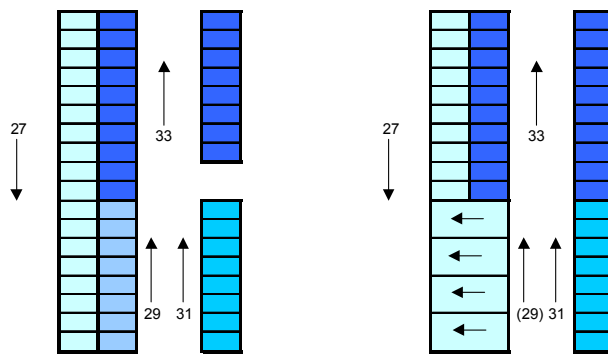
Met dit experiment kan inzicht worden verkregen in de gevolgen van deze veranderingen voor de prestatie-indicatoren. Het beeld is echter niet volledig, omdat sommige veranderingen niet in het model opgenomen kunnen worden. Zo is het effect van stapelbaarheid uiteraard niet uit de resultaten van het model af te lezen, omdat de paktijd (waar de stapeltijd een onderdeel van is) een invoervariabele is. Op basis van de reductie van de paktijd die de nieuwe slotting oplevert²³ kan uit de eerder opgestelde grafiek in figuur 6.15 wel een inschatting van de gevolgen voor de productiviteit gemaakt worden. Wat wel uit het model geleerd kan worden, is wat in het algemeen de gevolgen van de nieuwe slotting zijn. De omzet is op een nieuwe manier verspreid in het circuit en dit beïnvloedt de plaats en de mate waarin congestie optreedt. Het uitspreken van een verwachting is moeilijk, aangezien een aantal van de voordelen – meer picklocaties en een betere stapelbaarheid – niet relevant zijn voor of niet te bepalen zijn met het model.

Naast dit experiment is er ook een vervollexperiment met de nieuwe slotting uitgevoerd. Zoals eerder geconstateerd wordt in de huidige situatie bijna 38% van alle opdrachten voor het krattencircuit (18% van het totaal aantal opdrachten) afgemeld bij de kast in gang 35, omdat de laatste colli van die opdracht in gang 29 liggen. Dit zal met de nieuwe slotting niet anders zijn. In verband hiermee is oorspronkelijk ooit besloten om een dwarsgang aan te brengen tussen gang 29/31 en gang 35, zodat de orderpickers vanuit het rollycircuit sneller bij die afmeldkast konden komen. Deze dwarsgang is nu weer verwijderd. Overigens blijkt uit het model, dat het voordeel van de dwarsgang zeer beperkt is geweest; de resultaten van de nieuwe situatie zijn immers beter of gelijkwaardig aan de huidige situatie, ook wat betreft de gangen rondom de dwarsgang. Dit is niet verwonderlijk, omdat de dwarsgang alleen een

²³ Te bepalen door te meten of door eventueel een schatting te maken.

bijdrage leverde aan het verminderen van de rijtijd in de gangen en die vormt, bleek eerder, maar een klein onderdeel van de totale doorlooptijd van een ophaalopdracht.

Naar aanleiding van het verwijderen van de dwarsgang is wel de discussie rondom de krat-artikelen in gang 29 weer opgelaaid. Een mogelijkheid is om deze gang geheel te voorzien van flowracks. Gang 29 zou dan alleen nog maar bestaan uit de aanvulkanten van deze flowracks. In figuur 6.25 zijn de huidige situatie en de situatie zonder dwarsgang en met flowracks weergegeven.



Figuur 6.25: Huidige situatie gang 29 en nieuwe situatie met flowracks

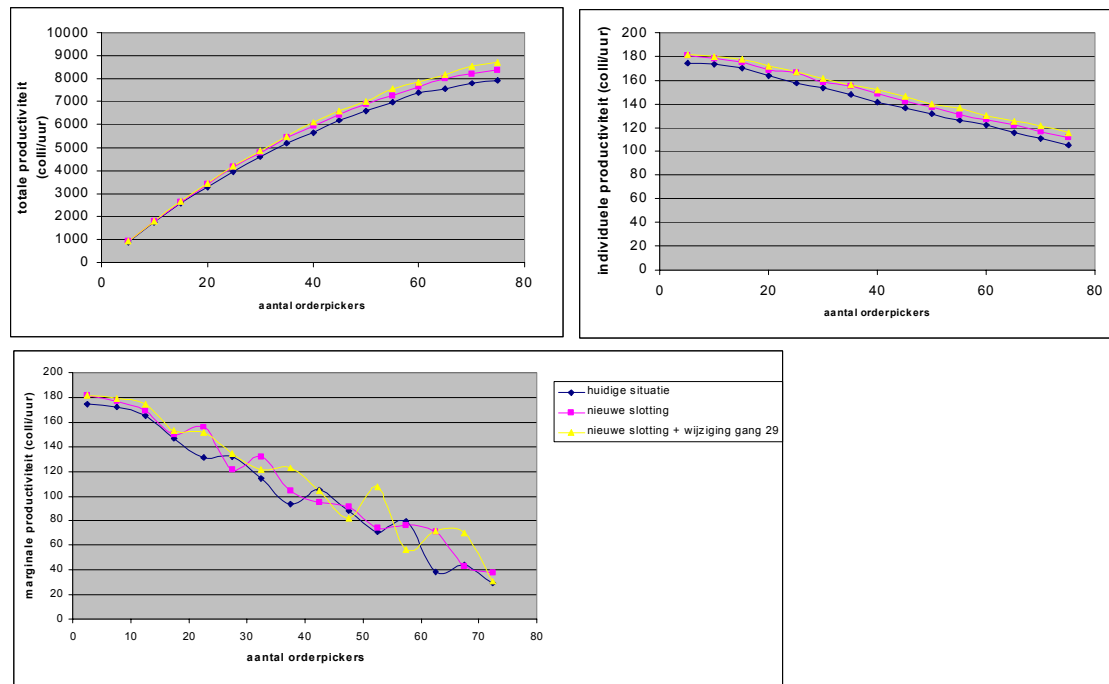
De orderpickers vanuit het krattencircuit kunnen hun opdrachten dan afmelden bij de kast in gang 27 en hoeven niet langer gang 29 en verder in te rijden. De producten uit gang 29 zouden allemaal geslot worden in de flowracks van gang 27. Voordelen van deze veranderingen zouden moeten zijn:

- Geen verstoringen meer in gang 31, 33 en 35 door orderpickers uit het krattencircuit
- Afmeldkast in gang 35 niet meer bezet door orderpickers uit krattencircuit
- Geen extra rijtijden voor de orderpickers uit het krattencircuit in de gangen 29 t/m 35
- Beter benutting van de afmeldkasten (beter gespreid)

Mogelijke nadelen zijn:

- Grote pickdichtheid aan het eind van gang 27
- Veel aanvulbewegingen in gang 29
- Drukke bij afmeldkast in gang 27

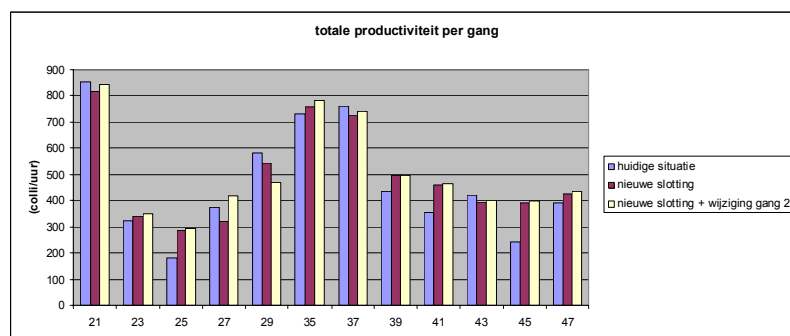
De resultaten voor beide experimenten worden vergeleken met de huidige situatie in figuur 6.26. Voor alle duidelijkheid: de nieuwe slotting is ingevoerd, de nieuwe slotting met wijzing gang 29 is een mogelijke toekomstige verandering. Eerst worden de resultaten voor de nieuwe slotting besproken. Daarna komt het experiment met de wijzing van gang 29 aan bod. Alle diagrammen bevatten de gegevens van de huidige situatie, de situatie ten gevolge van de nieuwe slotting en de situatie met nieuwe slotting en wijziging van gang 29.



Figuur 6.26: Productiviteiten huidige situatie, nieuwe slotting en nieuwe slotting met wijziging gang 29 vergeleken

De nieuwe slotting laat een verbetering van de individuele productiviteit zien variërend van vier tot acht punten. Bij grotere aantallen orderverzamelaars stabiliseert dit op ongeveer 5 punten. Voor deze grafieken zijn vergelijkbare functies op te stellen als voor de huidige situatie.

Uit de cijfers met betrekking tot de totale congestie blijkt dat deze met ongeveer 5% is afgenomen tot 95 uur (bij 40 orderpickers). De productiviteitsverandering is dus rechtstreeks terug te voeren op het verminderen van de congestie. Een verklaring kan gevonden worden door de indicatoren per gang van de huidige en de nieuwe situatie te vergelijken.

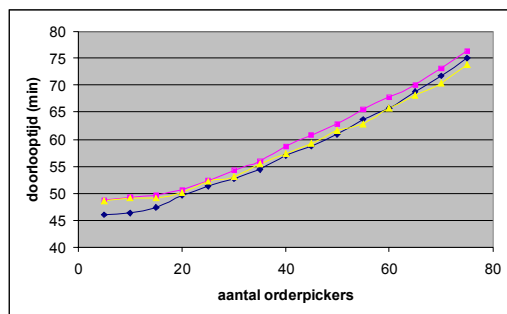


Figuur 6.27: Totale productiviteit per gang in drie situaties, 40 orderpickers

Figuur 6.27 laat de totale productiviteit per gang zien. Dit is in het aantal colli per uur dat daar gepickt wordt bij inzet van in dit geval 40 orderpickers. Een belangrijk verschil met de huidige situatie is dat de omzet in de "lage omzet" gangen is toegenomen. Vooral voor de gangen 39, 41 en 45 in het dozencircuit geldt dit. Deze gangen laten daardoor een toename van de gemiddelde verblijftijd zien (zie figuur 6.29). Die kan verklaard worden door de toegenomen paktijd (er moet immers meer gepickt worden) en de toegenomen congestietijd

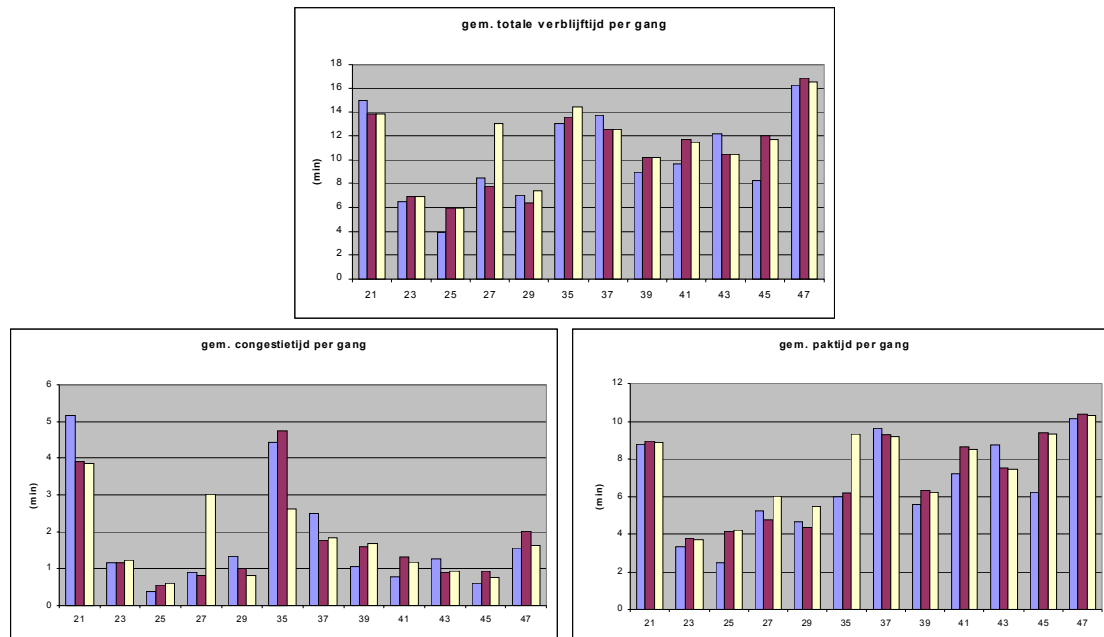
(het wordt drukker in die gangen). Omdat het oorspronkelijk vrij rustige gangen betreft is de toename van de congestietijd beperkt.

Het tweede belangrijke verschil betreft de omzet in de "hoge omzet" gangen. Deze is, hoewel niet opvallend in de grafieken, gedaald. Deze gangen (21, 35 en 37) kennen echter dusdanig grote congestietijden in de huidige situatie, dat deze kleine dalingen in de omzet tot flinke dalingen in de gemiddelde congestietijd leiden. Klaarblijkelijk geldt ook in de gangen dat voor iedere extra eenheid omzet, de prijs in de vorm van congestietijd steeds hoger wordt. Omgekeerd geldt dan ook dat verlaging van de omzet in drukke gangen grotere besparingen op de congestietijd oplevert. Iedere gang kent kennelijk zijn eigen capaciteit, te omschrijven als de maximale productie (colli/tijdseenheid) die in die gang gehaald kan worden. Hierop wordt in paragraaf 6.4 nog dieper ingegaan.



Figuur 6.28 Doorlooptijd per opdracht voor drie situaties

Een derde verschil valt af te lezen uit figuur 6.28: De gemiddelde doorlooptijd van een ophaalopdracht is groter geworden, wat in dit geval duidt op meer colli per opdracht. Dit blijkt ook uit het aantal stops en het aantal colli per stop dat gevonden wordt in de nieuwe situatie. Het aantal stops blijft over het algemeen stabiel, terwijl afhankelijk van de toename of afname van de omzet in de betreffende gang het aantal colli per stop toe- of afneemt. De toename van de omzet wordt dus verkregen door een groter aantal colli per stop. Het blijkt dus wederom dat de stoptijd, oftewel het aantal colli per stop, een belangrijke congestiebepalende factor is. Concluderend geldt voor de nieuwe situatie dat een gedeelte van de omzet uit de drukke gangen is verschoven naar de rustige gangen. Daarmee is het aantal orderpickers in de drukke gangen kleiner en in de rustige gangen iets groter geworden. Per saldo betekent dit een toename van de productiviteit.



Figuur 6.29: Totale verblijftijd per gang en twee onderdelen daarvan: congestietijd en paktijd voor drie situaties

6.3.3 Wijzigen indeling gang 29

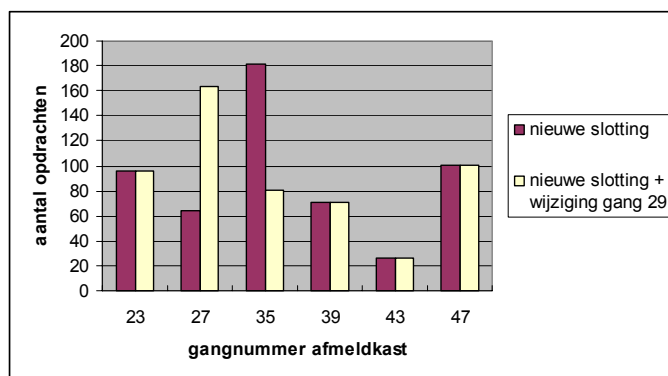
De resultaten van het experiment waarbij de flowracks in gang 29 zijn toegevoegd, zal vergeleken worden met de situatie die geldt bij de nieuwe slotting. De resultaten staan weergegeven met de gele balken en lijnen in voorgaande figuren.

Figuur 6.26 leert dat wijzigen van de indeling van gang 29 op de beschreven manier ongeveer 2 productiviteitspunten winst oplevert. Opvallend is wel dat dit stijgt naarmate het aantal orderpickers toeneemt. Omdat alleen de situatie in de gangen 27, 29 en 35 is veranderd zal verder alleen worden gekeken wat er als gevolg van de wijziging in deze gangen gebeurt.

Allereerst geldt dat gang 29 en 35 minder vaak doorgereden worden; er zullen geen orderpickers met een krat-opdracht meer doorheen rijden. Figuur 6.29 laat zien dat gang 27 logischerwijs een hogere omzet kent, terwijl de omzet in gang 29 is gedaald. De omzet in gang 35 is ook gestegen; het is er rustiger dus er kan sneller gepickt worden en dus meer in een bepaalde tijdsperiode. De gemiddelde doorlooptijd is verlaagd, vooral bij grote aantallen orderpickers. Kennelijk is de mate van congestie bij grote aantallen orderpickers minder groot dan voorheen.

De diagrammen in figuur 6.29 laten verder zien dat de verblijftijd in gang 27 met ongeveer de helft is toegenomen. Ook de verblijftijden in gang 29 en 35 zijn echter groter geworden. Dit kan verklaard worden met behulp van de grafieken van de gemiddelde pak- en congestietijd. De congestietijd neemt in gang 27 ongeveer evenveel toe als de afname in gang 35. De congestie verschuift dus van gang 35 naar 27. Dat de congestietijd ongeveer even groot blijft wijst erop dat het grootste gedeelte van deze congestie te wijten is aan het wachten voor de afmeldkast en dat de extra omzet dus weinig congestie oplevert. De paktijd in gang 27 neemt toe, aangezien de omzet groter is geworden. Echter ook in gang 29 en 35 neemt die tijd toe, want niet logisch lijkt. Maar, het betreft *gemiddelde* tijden. De gemiddelde paktijd zal toenemen omdat het aantal orderpickers dat door de gang komt met ongeveer 31% is gedaald. Bovendien pickten die orderpickers niets in gang 35 en haalden dus het gemiddelde alleen maar naar beneden.

Figuur 6.30 laat de oude en de nieuwe verdeling van de afmeldkasten zien.



Figuur 6.30: Verdeling ophaalopdrachten over de afmeldkasten

Conclusie is dat de capaciteit per saldo iets wordt verhoogd door het feit dat de problemen bij de afmeldkast in de bottleneck gang 35 worden verschoven naar die van gang 27. In de nieuwe situatie leidt het grote aantal ophaalopdrachten dat daar afgemeld zal gaan worden tot een forse toename van de congestie in die gang. In feite verschuift de grote drukte bij de afmeldkast van gang 35 naar gang 27 en wordt die gang daarmee de nieuwe bottleneck. Deze gang was echter rustiger en het aantal oorspronkelijke afmelders was minder, waardoor de nieuwe congestie in deze gang minder is dan de oorspronkelijke congestie in gang 35. De omzet van gang 27 was niet erg hoog en vergroten van de gangomzet door het toevoegen van de omzet van de producten uit gang 29 blijkt mogelijk en zal niet direct tot congestieproblemen leiden. Dit ook, aangezien het gemiddeld aantal stops en gemiddeld aantal colli per stop slechts beperkt stijgen. De verwachte voordelen blijken juist te zijn, maar het effect op de productiviteit is kleiner dan verwacht, omdat de drukte bij de afmeldkast bijna helemaal verschuift naar gang 27, waardoor daar dezelfde problemen ontstaan.

6.4 Deelcapaciteiten

Mede naar aanleiding van de voorgaande experimenten is geconstateerd dat het interessant is om ook de capaciteit op lager niveau te bepalen. In deze paragraaf wordt gekeken wat geleerd kan worden van de capaciteiten van de twee aparte ophaalgebieden en van individuele gangen.

6.4.1 Capaciteit kratten- en dozencircuit²⁴

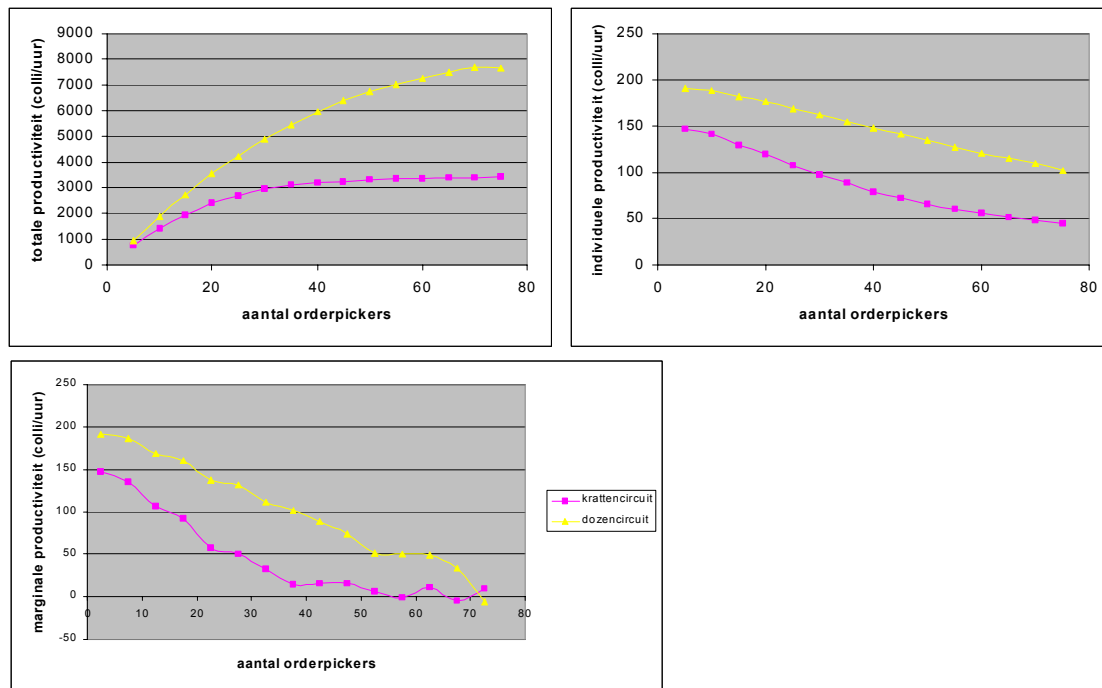
Het uitgangspunt van dit onderzoek had te maken met de vraag vanuit de projectgroep naar de gevolgen voor de capaciteit van een bepaalde slotting. In het voorgaande is van alles hierover gezegd. Idealiter zou de slotting zoals die door de projectgroep is voorgesteld in het model ingevoerd kunnen worden, waarna de gevolgen voor de capaciteit duidelijk zouden zijn. Echter, die slotting is er niet. De uitkomst van de activiteiten van de projectgroep is een hulpmiddel waarmee voor ieder product het optimale opslagtype vastgesteld kan worden. Hoe deze opslagtypes vervolgens in het distributiecentrum neergezet worden is niet bekend. Het maken van een fictieve slotting is op zich nog wel mogelijk, maar het genereren van de daarbij behorende opdrachten is niet haalbaar.

In het voorgaande zijn wel de huidige situatie zoals die gold aan het begin van het onderzoek, de situatie na de remodelling en een mogelijke verbetering ten opzichte van deze situatie

²⁴ Krattencircuit is een andere benaming voor roly-circuit, dozencircuit voor containercircuit. Zie eventueel tabel 5.1.

geanalyseerd. Om toch een situatie na te bootsen waarin de producten kleiner geslot worden is ook de capaciteit van het kratten- en het dooscircuit apart bepaald. Natuurlijk is dit niet helemaal eerlijk, ook omdat ieder circuit toch zijn eigen kenmerken heeft. Het geeft echter wel een interessante indicatie. Ook de extra SWAGbewegingen als gevolg van slotten in kleinere opslagtypes kunnen worden nagebootst, maar zoals eerder vastgesteld is de invloed op het orderpickproces gering en daarom is dat in dit experiment weggelaten.

De volgende resultaten zijn verkregen voor de totale en de individuele productiviteit.



Figuur 6.31: Productiviteitsdiagrammen kratten- en dozencircuit

Het blijkt dat de grafiek van de totale productiviteit voor het dozencircuit ongeveer de grafiek van het gehele circuit volgt. Echter, hij begint steiler en vlakt eerder af. De capaciteit is dan ook lager, ongeveer 7700 colli per uur, en wordt bereikt bij ongeveer 76 orderpickers. Hieruit blijkt dat het mogelijk is om in een circuit dat ongeveer 1/3 maal kleiner is dan het huidige een zelfde totale en individuele productiviteit te realiseren. Echter, bedacht moet worden dat dit alleen mogelijk is, omdat de opdrachten van het containercircuit veel groter zijn dan die van het rollycircuit. De gemiddelde doorlooptijd van een opdracht die gelopen wordt zonder congestie bedraagt al bijna een uur. Dit betekent dat de orderpickers veel meer in het circuit zijn en hun tijd dus effectiever gebruiken. Doordat er meer orderpickers in het circuit zijn (het circuit is al kleiner en nu blijkt dat ze ook een groter gedeelte van de tijd aanwezig zijn) is de congestietijd ook veel groter. Deze is bij 40 orderpickers ruim 45% groter dan in de huidige situatie.

Het krattencircuit kent een geheel andere curve. Dit circuit is kleiner dan het dozencircuit (slechts vier volledige gangen). De doorlooptijd van de opdrachten voor dit ophaalgebied ligt veel lager, zo rond de 35 minuten. Uit de indicatoren per gang blijkt dat de orderpickers al heel snel de capaciteit van gang 21 bereiken. Dit is met afstand de drukste gang en bij inzet van 30 orderpickers zijn er gemiddeld al 10 in deze gang aanwezig. Dit leidt ertoe dat er vanaf 40 orderpickers feitelijk niets anders meer gebeurt dan dat de orderpickers in een rijtje achter elkaar aan rijden in deze gang.

De volgende functies geven de curve van de totale productiviteit weer. De overige functies kunnen identiek aan (6.2) en (6.3) bepaald worden (zie bijlage 6 voor de R^2).

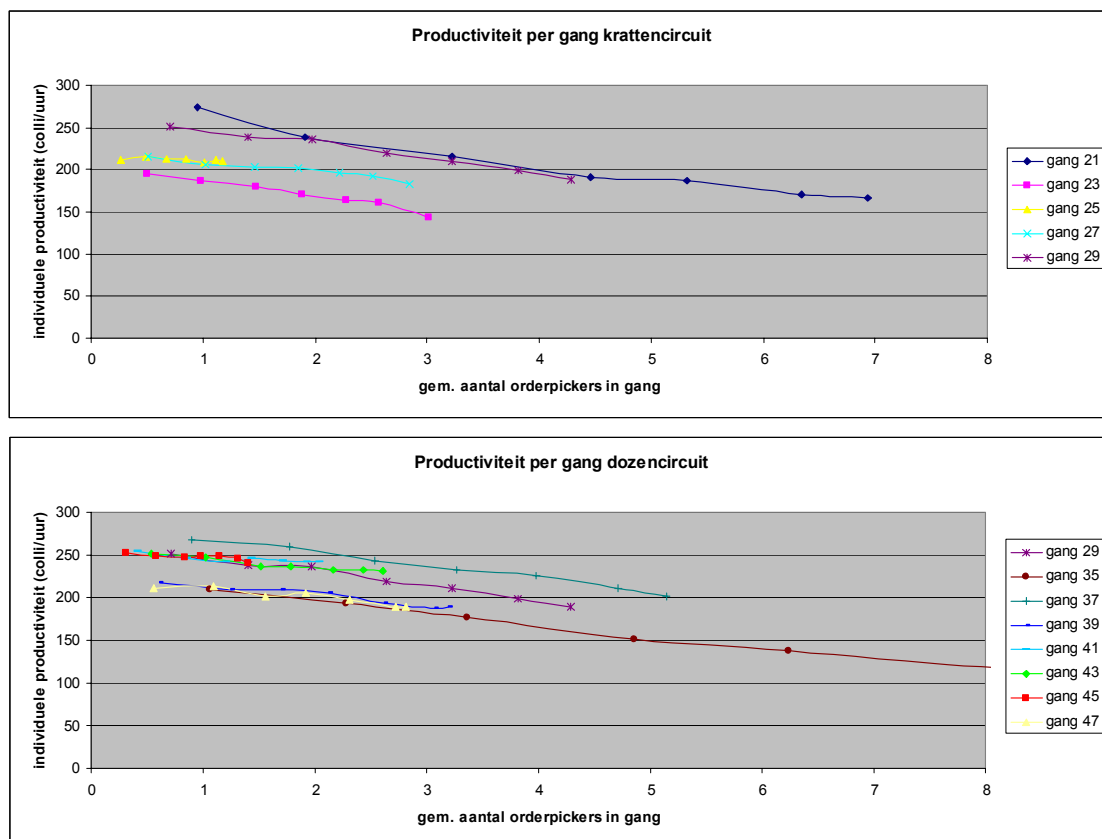
$$\text{Totale productiviteit krattencircuit: } f_k(x) = -1,2x^2 + 130x \quad (6.7)$$

$$\text{Totale productiviteit dozencircuit: } f_d(x) = -1,3x^2 + 201x \quad (6.8)$$

6.4.2 Capaciteit per gang

Deze paragraaf gaat, zoals eerder aangekondigd, dieper in op de productiviteit per gang. Geconstateerd is dat iedere gang ook een eigen capaciteit kent. In feite komt het er op neer dat de productiviteitsgrafieken zoals die in het voorgaande voor het gehele circuit en het kratten- en dozencircuit zijn opgesteld ook voor iedere gang afzonderlijk bepaald kunnen worden. Het is interessant om te weten hoe die grafieken bepaald kunnen worden en hoe daarmee omgegaan kan worden bij het inrichten van een orderpickercircuit.

De totale en individuele productiviteit van een gang is net als de productiviteit van het gehele circuit afhankelijk van het aantal ingezette orderpickers. In dit geval is dat het gemiddeld aantal orderpickers dat zich in de gang bevindt. Hoe meer orderpickers, des te meer hinder ze van elkaar ondervinden, des te lager de individuele productiviteit zal zijn. In onderstaande grafiek is de individuele productiviteit per gang uitgezet tegen het gemiddelde aantal orderpickers dat zich in de gang bevindt om deze productie te realiseren.

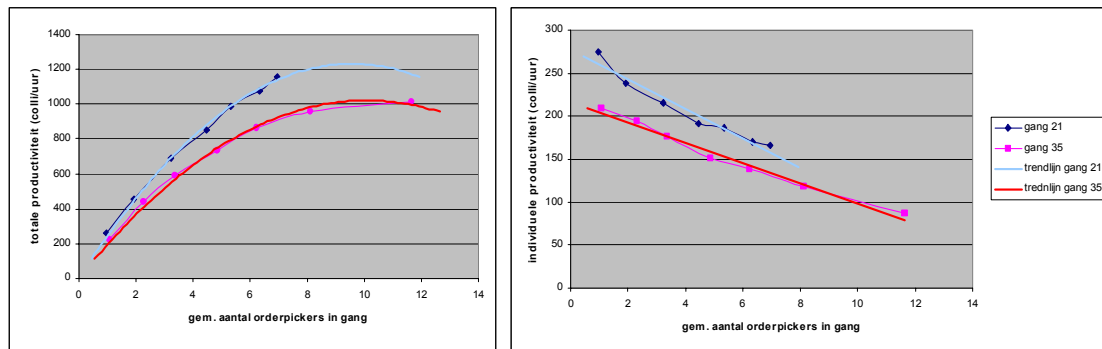


Figuur 6.32: Individuele productiviteit per gang

De gebruikte gegevens zijn afkomstig van het experiment waarbij het aantal orderpickers gevarieerd is. De punten op de x-as, waarvoor een waarde op de y-as bekend is verschillen per gang, aangezien iedere gang een andere omzet heeft en dus een ander gemiddeld aantal

orderpickers heeft bij de inzet van een bepaald aantal orderpickers in het gehele circuit. Ondanks dat de grafieken van veel gangen onvolledig zijn (in verband met de lage omzet van die gangen) kunnen enkele interessante conclusies getrokken worden. De grafieken laten in feite zien welke individuele productiviteit per gang mogelijk is bij een bepaald gemiddeld aantal orderpickers per gang. Op basis van de grafieken kan voor iedere gang een eigen productiviteitsfunctie opgesteld worden, die de waarde van de individuele productiviteit geeft bij een gegeven gemiddeld aantal orderpickers in die gang.

Bij een hogere omzet zullen in werkelijkheid opdrachten geformeerd worden met meer colli per stop, wat de individuele productiviteit ten goede komt. Bovenstaande grafiek is dan ook voor de gangen met een lage omzet niet één op één door te vertalen naar de situatie bij een hoge omzet, omdat dit voordeel niet kan worden meegenomen. Echter, het lijkt erop dat er verschillende groepen gangen zijn te onderscheiden die min of meer met dezelfde functie beschreven kunnen worden. Het is wat gewaagd op basis van de grafieken, maar het lijkt er op dat er twee typen gangen te onderscheiden zijn: de ingaande gangen en de retourgangen. De verschillen tussen deze gangen worden dan met name verklaard door de aanwezigheid van een afmeldkast en de congestie die dat oplevert. De overige verschillen kunnen dan naaste specifieke kenmerken zoals lengte en het type producten, verklaard worden door de structuur van de ophaalopdrachten. Zoals gezegd zal de individuele productiviteit in een gang hoger liggen als daar veel colli tegelijk gepickt moeten worden. Dit betekent dat die productiviteit structureel hoger zal liggen als er sprake is van een "lekkere" gang, waar altijd gemakkelijk en snel veel producten uit gehaald kunnen worden. Om toch functies voor de gangen op te kunnen stellen zullen gang 21 en 35 als representatief voor de ingaande en de uitgaande groep worden uitgewerkt. Deze gangen kennen wel een hoge omzet en dus zijn alle benodigde gegevens beschikbaar. Hieronder staan de productiviteitsgrafieken van de beide gangen.



Figuur 6.33: Productiviteitsgrafieken gang 21 en gang 35

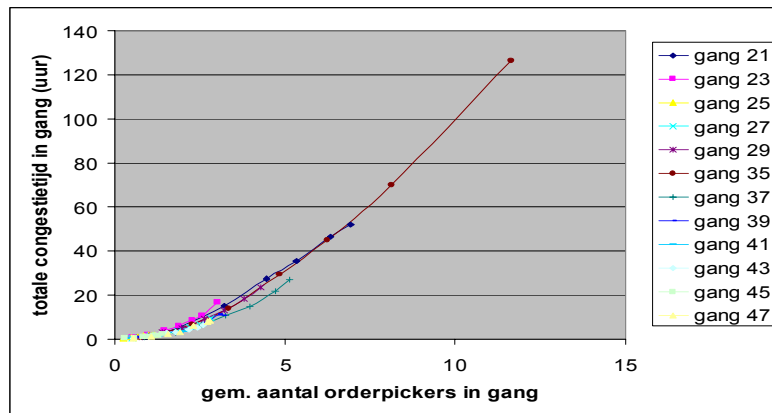
De trendlijn van de totale productiviteit luidt:

$$\text{Totale productiviteit gang 21:} \quad f_{21}(x) = -13,4x^2 + 257x \quad (6.9)$$

$$\text{Totale productiviteit gang 35:} \quad f_{35}(x) = -10,1x^2 + 203x \quad (6.10)$$

Hiermee is tevens aangetoond dat het bepalen van een congestie-indicator op basis van een vaste individuele productiviteit (namelijk de ophaalnorm) in principe onjuist is. Net als bij het bepalen van het aantal benodigde orderpickers, zal eerst de omzet bepaald moeten worden (wenselijk of werkelijk afhankelijk van het doel van de analyse). Daarmee kan dan het aantal orderpickers worden gevonden dat gemiddeld in de gang nodig is om die omzet te picken. Dit

is dan meteen de congestie-indicator. Bij een bepaald aantal orderpickers wordt er immers congestie ervaren. Wanneer dat is kan op basis van ervaring bepaald worden of afgelezen worden uit onderstaande grafiek, waarin voor alle gangen de relatie tussen het aantal orderpickers en de totale congestietijd staat aangegeven.



Figuur 6.34: Relatie congestietijd en aantal orderpickers per gang

Figuur 6.34 toont aan dat er een relatie bestaat tussen het gemiddeld aantal orderpickers in een gang en de congestietijd die ze met elkaar veroorzaken. Het blijkt dat dit voor iedere gang ongeveer gelijk is. Opslagtypen in een bepaalde gang hebben hier eigenlijk weinig invloed op. Simpelweg, omdat het uiteindelijk alleen draait om de omzet, en niet om het feit of dat die omzet nu uit een flowrack of een komstelling komt. Het is alleen zo dat flowracks de *mogelijkheid* bieden om tot een hoge omzet te komen. Is dat het geval, dan zal je op een ander punt in de grafiek zitten, er zullen gemiddeld meer orderpickers lopen, die een groter congestietijd veroorzaken en de individuele productiviteit van die gang daalt. Waar het bij het analyseren van de congestie in een gang dus altijd op neer komt is de omzet die de gang genereert en het aantal orderpickers dat ten gevolge daarvan in die gang zal moeten lopen.

Om dat aantal te bepalen zal rekening gehouden moeten worden met het feit dat de individuele productiviteit van deze orderpickers minder wordt, naarmate er meer van zijn.

Tot slot van deze paragraaf de belangrijkste conclusies: Ook de capaciteit van een gang kan bepaald worden, waarbij dan het gemiddeld aantal orderpickers in de gang bepalend is. Met de bijbehorende grafieken en functies voor de productiviteiten kan bepaald worden hoeveel orderpickers er gemiddeld in een gang zullen zijn bij een gegeven omzet. Dit gemiddelde blijkt een redelijk constante relatie te vertonen met de totale congestietijd in een gang en is daarmee een goede indicator voor de congestie. Het blijkt dat het bij het analyseren van congestie in een gang altijd neerkomt op de omzet die de gang genereert en het aantal orderpickers dat als gevolg daarvan in die gang zal moeten lopen.

In dit hoofdstuk zijn de uitgevoerde experimenten en de resultaten uitgebreid besproken en weergegeven. De productiviteitsgrafieken en de capaciteit van het gehele circuit, van de twee ophaalgebieden en van individuele gangen zijn bepaald. Daarnaast is de invloed van enkele factoren gekwantificeerd en zijn de gevolgen van drie veranderingen op tactisch niveau onderzocht. In het volgende hoofdstuk wordt beschreven worden hoe de hier verkregen resultaten in de praktijk mogelijk nog meer van waarde kunnen zijn.

7. Praktische relevantie van de resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de experimenten uit het vorige hoofdstuk vertaald naar de praktijk. Met andere woorden, per experiment wordt aangegeven welke inzichten het DC kan ontleenen aan de resultaten en hoe hier op de korte en lange termijn voordelen mee behaald kunnen worden. Voor onderbouwing van de hier gepresenteerde getallen wordt verwezen naar hoofdstuk 6 en bijlage 5. In zes achtereenvolgende paragrafen komen de uit de volgende experimenten ontleende inzichten aan bod: variëren aantal orderpickers, veranderen aantal aanvulbewegingen, specificeren paktijd, veranderen uitgiftestrategie, andere slotting en wijziging indeling gang 29. Tenslotte komt in paragraaf 7.7 de praktische relevantie van de productiviteitsfuncties van het kratten- en dozencircuit en van de individuele gangen aan bod.

7.1 Variëren aantal orderpickers

Invoeren flexibele ophaalnorm

Gebleken is dat bij inzetten van 88 orderpickers de capaciteit wordt bereikt. Dit lijkt onmogelijk, maar toch is het zo dat de 88^e orderpicker nog wel toegevoegde waarde heeft, hoewel dit in de huidige situatie waarschijnlijk niet realistisch is. In de praktijk zal steeds een keuze gemaakt moeten worden over het aantal in te zetten orderpickers. Op dit moment vindt het bepalen van het aantal orderpickers ongeveer als volgt plaats:

- bepalen verwachte omzet
- bepalen aantal benodigde orderpickuren door: omzet/ophaalnorm
- bepalen aantal benodigde orderpickers door: orderpickuren/aantal uren per dienst

Daarna volgt een praktische slag naar de precieze indeling in diensten en de gewenste productie per dienst. De ophaalnorm is constant en bedraagt 160 colli. Hoe deze precies tot stand is gekomen is niet meer te achterhalen, maar in principe is het de gemiddelde individuele productiviteit die realistisch wordt geacht voor een orderpicker. Figuur 6.1 toont aan dat het hanteren van een constante waarde voor de individuele productiviteit onjuist is. De individuele productiviteit neemt namelijk af bij een toename van het aantal orderpickers. Het blijkt dat bij inzet van meer dan 22 orderpickers de individuele productiviteit al lager ligt dan 160. De verstoringen die de orderpickers als gevolg van elkaars aanwezigheid ondervinden maken een hogere individuele productiviteit onmogelijk. Bij de planning van het aantal orderpickers is het daarom realistischer om uit te gaan van een flexibele ophaalnorm, afhankelijk van het aantal orderpickers dat tegelijkertijd ingezet wordt. Een werkwijze zoals de volgende doet meer recht aan de werkelijke situatie in het orderpickercircuit:

- bepalen verwachte omzet
- bepalen beschikbare tijdsperiode (aantal klokuren waarin orderpickers ingezet kunnen worden; in het model is dat altijd 18)
- bepalen benodigde totale productie (colli/uur) door: omzet/beschikbare klokuren
- aflezen aantal orderpickers dat nodig is voor een dergelijke totale productie in figuur 6.3
- aflezen bijbehorende ophaalnorm uit dezelfde figuur

Meer analoog aan de huidige situatie kan ook eerst de ophaalnorm bepaald worden door deze, gegeven de omzet, af te lezen uit de rechtergrafiek in figuur 6.5. De functies 6.1 tot en met 6.3 beschrijven de gebruikte figuren wiskundig en kunnen evengoed gebruikt worden. Bedacht moet worden dat het in de figuren om de maximale werkelijke totale (en individuele) productiviteit gaat. Voor planningsdoeleinden moet uitgegaan worden van de werkelijke

totale productiviteit, waarvoor rekening gehouden moet worden met een verlies ten gevolge van breuk en dergelijke (zie eventueel nogmaals figuur 6.6).

Concreet zal het invoeren van een flexibele ophaalnorm leiden tot een betere planning, zodat orderpickers beter in staat zijn om de gewenste dagomzet te halen en afgerekend kunnen worden op een realistische ophaalnorm. Opnemen van functies 6.1 tot en met 6.3 in de op dit moment gehanteerde planningstool biedt hiervoor de mogelijkheid.

Keuze maken voor wenselijke marginale productiviteit

Figuur 6.3 laat ook de toegevoegde waarde van een extra orderpicker zien. Dit roept de vraag op welke toegevoegde waarde nog realistisch is. Met andere woorden, hoeveel colli per uur moet een extra orderpicker opleveren opdat dit voor DCP nog een wenselijk is? Dit is een strategische afweging, die vooral ook financieel van belang is. De laatste extra orderpicker kost immers evenveel als de eerste. Het is sowieso interessant om bij te houden waar "op" de grafiek het productieproces zich over het algemeen bevindt. Is dit erg vaak in het gebied, waar een individuele productiviteit en marginale productiviteit bij horen die eigenlijk (financieel) niet wenselijk worden geacht, dan is dat een signaal om de wensen bij te stellen of om tot aanpassingen in het proces te komen.

Optimaliseren planning

In de praktijk liggen er kansen om de planning vanuit financieel oogpunt te optimaliseren. Met behulp van de gegevens die geregistreerd worden door de afdeling controlling dient bepaald te worden wat iedere orderpicker kost en hoeveel hij oplevert aan productiviteit. Hierbij verdient vooral het onderscheid tussen de dag- en nachtdiensten de aandacht. Op dit moment werken er altijd twee keer zoveel orderpickers in de dag als in de nacht. Dit onderzoek heeft aangetoond dat de individuele productiviteit die gehaald kan worden in de dagdienst dan altijd lager zal liggen dan in de nachtdienst. Orderpickers in de nacht zijn echter duurder dan pickers in de dag. Afhankelijk van de te realiseren omzet (dag- en nachtdienst samen) zal het dan vanwege de hogere individuele productiviteit wellicht financieel aantrekkelijker zijn om het aantal orderpickers in de nachtdienst te vergroten, ondanks het feit dat ze meer kosten.

7.2 Veranderen aantal aanvulbewegingen

Verlagen doorlooptijden reachtruckers door aansturing

De belangrijkste conclusie van het experiment is dat het effect van de reachtruck-activiteiten op de productiviteit veel kleiner is dan verwacht. Veranderen van het aantal SWAG- en aanvulbewegingen of van de aanvultijd blijkt slechts beperkt gevolgen te hebben voor de capaciteit. Het blijkt dat de reachtruckers niet zo zeer zelf tot een grotere congestietijd leiden, als wel dat ze congestie ondervinden ten gevolge van de orderpickers. De doorlooptijd van de aanvul- en SWAGbewegingen neemt fors toe bij de inzet van meer orderpickers. In de praktijk betekent dit dat er gedurende een bepaalde tijdseenheid minder aanvul- en SWAGbewegingen uitgevoerd kunnen worden. Dit betekent dat bij een toename van het aantal orderpickers de kans op het niet aanwezig zijn van een product (een doorhaling) steeds groter wordt. Sloten in kleinere locaties en / of vergroten van de omzet leiden dus niet zozeer tot verlagen van de individuele productiviteit, maar eerder tot een lagere betrouwbaarheid. Op basis van de modelresultaten kunnen suggesties worden gedaan om dit te voorkomen. Doel is

om de afstanden die de reachtruckers af moeten leggen zoveel mogelijk te reduceren. De kans dat de reachtruckers vertraging oplopen door congestie wordt dan immers kleiner en daarmee kan de doorlooptijd worden gereduceerd. Dit kan het beste door de reachtruckers directer aan te sturen door een soort van aanvulopdrachten. Op dit moment heeft de reachtrucker erg veel eigen initiatief en wordt er zelfs niet gewerkt met een echte norm. Direct aansturen via de SWAGterminals biedt de mogelijkheid om de reachtrucker steeds de meest urgente opdracht te laten uitvoeren en de opdrachten zo handig mogelijk te combineren (wat betreft de afstanden). Het uitvoeren van dubbelspelen (combineren van de aanvul- en SWAGbewegingen) is dan ook mogelijk. Gecombineerd met een slotting, die zodanig is ingericht dat alle producten ongeveer even vaak aangevuld moeten worden kan het aantal SWAG- en aanvulbewegingen dat in een bepaalde tijd uitgevoerd kan worden fors vergroot worden. Dat hiervoor eerst het registreren van de aanvulbewegingen ingevoerd moet worden spreekt voor zich.

Beoordelen slotting ook op gevolgen voor de reachtrucker

Los van het wel of niet aansturen van de reachtrucker, dient de congestieproblematiek met betrekking tot de reachtruckers anders benaderd te worden. Bij het beoordelen van een nieuwe slotting moet ook bepaald worden wat de gevolgen zijn voor de *reachtrucker*. Van belang is hoeveel SWAG- en aanvulbewegingen (gedurende de orderpicktijd) deze slotting op een dag genereert. Nadat vervolgens bepaald is wat de te verwachten doorlooptijd is van een SWAG-danwel aanvulbeweging bij inzet van verschillende aantallen orderpickers, kan uitgerekend worden of het gewenste aantal bewegingen mogelijk is met het huidige aantal reachtrucks in de gegeven tijd. Daarnaast kan zo bepaald worden wat de individuele productiviteit van een reachtrucker dan zou moeten zijn. Ter illustratie: uit figuur 6.16 kan afgelezen worden dat er bij inzet van 40 orderpickers en beschikbaarheid van 2 aanvul-reachtrucks en 7 SWAGreachtrucks gedurende 18 uur maximaal 1400 SWAGbewegingen en 400 aanvulbewegingen kunnen worden uitgevoerd. Slottingen waarbij meer bewegingen nodig zijn, zijn in principe niet mogelijk.

7.3 Specificeren paktijd

Aandacht richten op reduceren paktijd

De paktijd is een zeer belangrijk onderdeel van de orderpickcyclus. Het maakt afhankelijk van de inzet van het aantal orderpickers 50 tot 70% van de totale orderpicktijd uit. Een kleine verandering in de paktijd heeft dan ook grote gevolgen voor de productiviteit. De wijze waarop deze tijdscomponent beïnvloed wordt door de factoren is tegelijkertijd één van de onduidelijkste. Invoeren van de relaties, die Esmeijer (1996) heeft vastgesteld tussen de product- en opslagkenmerken en de paktijd, in het model, heeft aangetoond dat deze kenmerken grote gevolgen kunnen hebben voor de paktijd in bepaalde gedeeltes van het circuit. Deze constatering leidt tot de conclusie dat het wenselijk is om de paktijd verder uiteen te rafelen en te bepalen wat de bijdrage van de verschillende onderdelen aan de paktijd is. Daarbij kan gedacht worden aan het maken van video-opnames, aangezien de procestijden zo klein zijn dat dit bijna niet meer real-time te klokken is. Analyseren van deze beelden zal de invloeden van bijvoorbeeld stapelbaarheid en volume, waar helemaal weinig over bekend is, duidelijker kunnen maken, terwijl voor de grijphoogte en –diepte en het gewicht kan worden vastgesteld of de grafieken van Esmeijer (1996) ook kloppen voor DCP. Sowieso

dient men zich bij veranderingen in het circuit te realiseren dat de paktijd één van de belangrijkste capaciteitsbepalende factoren is en dat daarmee waarschijnlijk nog een hoop winst behaald kan worden. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de rijtijd, die niet alleen nauwelijks te reduceren is, maar bovendien slechts een klein gedeelte van de totale doorlooptijd uitmaakt. Bij het maken van een slotting zal dus meer rekening gehouden moeten worden met het reduceren van de onderdelen van de paktijd (zie voor de beïnvloedingsfactoren het overzicht in paragraaf 4.10).

7.4 Veranderen uitgiftestrategie

Uitgiftestrategie alleen lonend bij variatie in begingangen

De belangrijkste reden dat een uitgiftestrategie op basis van de drukte in de begingang niet of nauwelijks werkt, is de beperkte variatie in de begingangen. Zoals eerder opgemerkt is een uitgiftestrategie wellicht helemaal niet meer nodig als die variatie er wel is.

Rekening houden met structuur ophaalopdrachten bij remodelling

DCP kan hier in ieder geval het inzicht aan ontleen dat het samenstellen van meer gevarieerde opdrachten de spreiding van de orderpickers in het circuit zal verbeteren. Of dit mogelijk is, is voor een groot gedeelte afhankelijk van de slotting. Idealiter is die zodanig ingericht dat alle gangen ongeveer even vaak begingang zijn. Een betere afstemming tussen de slotting en de opdrachtsamenstelling is hiervoor noodzakelijk. Op dit moment wordt bij een remodelling (waarvan een nieuwe slotting deel uitmaakt) weinig rekening gehouden met de gevolgen die dit heeft voor de structuur van de ophaalopdrachten, die gegeven die nieuwe indeling, samengesteld zullen gaan worden. Bepalen wat de structuur van de ophaalopdrachten zal zijn (begingang, eindgang, aantal colli, aantal stops) na een remodelling zou een belangrijk criterium voor het beoordelen van een remodelling moeten zijn. Dit is alleen mogelijk als de huidige structuur van de ophaalopdrachten bekend en gedocumenteerd is. Een aanbeveling is dan ook om de kenmerken van de ophaalopdrachten in kaart te brengen en te bepalen welke verschillende typen opdrachten er zijn.

7.5 Andere slotting

Spreiden omzet in circuit

Het feit dat het verschuiven van omzet van drukke gangen naar rustige gangen per saldo een verbetering oplevert, omdat de congestie meer dan evenredig toeneemt met het aantal orderpickers is interessant bij het realiseren van een nieuwe slotting. Het betekent immers dat spreiden van omzet in het algemeen te prefereren is boven bijvoorbeeld slotten volgens de ABC methode. Dit geldt eigenlijk vooral omdat in DCP bijna alle producten hardlopen en bovendien blijkt de rijtijd, het belangrijkste onderdeel van de orderpickercyclus dat negatief beïnvloed wordt door spreiding van de omzet, slechts een klein onderdeel van deze cyclus uit te maken. Weliswaar geldt dat extra rijden leidt tot een langere aanwezigheid in het circuit en dus het bijdragen aan en ondervinden van congestie, maar zoals eerder is gebleken bij de reachtruckers en ook geldt voor de orderpickers, is de bijdrage van het rijden in het circuit aan de congestie zeer beperkt. DCP doet er dus het beste aan om de omzet in het circuit zoveel mogelijk te spreiden. Dit sluit ook aan bij het eerdere advies om meer variatie aan te brengen in de begin- en eindgangen van de ophaalopdrachten. In de praktijk betekent dit dat de omzet

een belangrijker criterium moet worden bij het slotten van producten. Meer specifiek gaat het om de omzet per gangmeter die zoveel mogelijk gelijk moet zijn (want dan wordt ook het formaat van de picklocatie meegenomen). De toewijzing van opslagtypes aan producten, zoals voorgesteld door de projectgroep (op basis van omzet en productkarakteristieken) is al een belangrijke stap op weg. Producten met een hoge omzet worden immers aan grote picklocaties toegewezen, producten met een lage omzet aan kleine picklocaties.

7.6 Wijzigen indeling gang 29

Doorvoeren wijziging met extra maatregelen

De wijziging levert een beperkte productiviteitswinst op. Belangrijkste reden hiervoor is dat de drukte wordt verschoven van gang 35 naar de rustige gang 27. De toename van de congestie in deze laatste gang is daardoor minder dan de afname in gang 35, wat per saldo dus een winst oplevert.

Het is sowieso gunstig om de stroom orderpickers met een opdracht uit het krattencircuit uit het dozencircuit te halen. Daarmee wordt de tweede en laatste afmeldkast van het krattencircuit echter wel zwaar belast. Het verdient dan ook de aanbeveling om te onderzoeken of het mogelijk is om deze afmeldkast wat te ontlasten. Gedacht kan worden aan een extra afmeldkast. Ook is het misschien mogelijk om een gedeelte van de hardlopers uit gang 25 of 27 te verplaatsen naar gang 23, zodat er meer opdrachten bij de afmeldkast in gang 23 afgemeld kunnen worden. Gezien de lage omzet van gang 23 moet dit tot de mogelijkheden behoren. Bijkomend voordeel is dat de verhoogde omzet in gang 27 (ten gevolge van het toevoegen van de omzet uit gang 29) dan voor een gedeelte weer weggehaald wordt. Verder lijkt het niet handig om de producten uit gang 29 in de flowracks te stoppen, daarvoor is hun omzet waarschijnlijk te hoog. Beter kunnen echte langzaamlopers in de nieuwe flowracks worden geplaatst en kan elders plaats worden vrijgemaakt voor de producten uit gang 29.

Het is in het algemeen verstandig om bij het slotten ook te kijken naar de verwachte posities in het circuit waar de opdrachten afgerond worden. Op die manier kan het doorrijden van twee gangen voor een paar extra producten voorkomen worden en kan ook een betere spreiding en benutting van de begingangen en afmeldkasten bewerkstelligd worden. Hierover is in de vorige twee paragrafen al meer opgemerkt.

7.7 Productiviteitsfuncties per ophaalgebied en per gang

Bepalen optimum oppervlakte, aantal orderpickers en congestie

De capaciteit van het dozencircuit blijkt ongeveer gelijk te zijn aan die van het totale circuit. Hieruit blijkt dat het mogelijk is om in een circuit dat ongeveer 1/3 keer kleiner is dan het huidige een zelfde totale en individuele productiviteit te realiseren. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de opdrachten voor het dozencircuit meer colli bevatten dan die voor het krattencircuit. Hieruit kan geleerd worden dat grote opdrachten met veel colli ervoor zorgen dat de orderpickers langer in het circuit zijn en hun tijd effectiever besteden. Echter, omdat het gemiddeld aantal orderpickers in het circuit hoger ligt, neemt de hinder die ze van elkaar ondervinden toe. Er is dus sprake van een trade-off tussen het percentage orderpickers in het circuit en de congestie. Eigenlijk is dit zelfs een trade-off tussen oppervlakte, aantal orderpickers en congestie. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van de

productiviteitsgrafieken van het totale circuit en het dozencircuit. Deze snijden elkaar bij 61 orderpickers. Bij kleinere aantallen levert het dozencircuit een grotere productiviteit, omdat het voordeel van effectiever benutten van de orderpickers groter is dan het nadeel van de toegenomen congestie (die veroorzaakt wordt door zowel de kleinere oppervlakte als de effectievere benutting). Bij grotere aantallen is het precies andersom. Dan geldt dat het gehele circuit het beter doet, omdat het nadeel van de minder effectieve benutting wordt gecompenseerd door het voordeel van de beperkte congestie (ten gevolge van de grotere oppervlakte en de mindere effectieve benutting).

Kleiner slotten (gegeven het aantal orderpickers en gegeven het aantal colli per opdracht) kan dus wel, maar het levert meer congestie op. Meer colli per opdracht (gegeven de slotting en het aantal orderpickers) kan ook, maar ook dat levert meer congestie op. Meer orderpickers (gegeven de slotting en het aantal colli per stop) kan tenslotte ook, maar levert ook meer congestie op. Voor alledrie de relaties is de vraag wanneer de congestie zo groot wordt, dat de productiviteit afneemt. De lezer zal opgemerkt hebben dat de laatste relatie bepaald is in dit onderzoek. De eerste twee zijn onderkend door de resultaten van het experiment met het dozencircuit te vergelijken met die van het gehele circuit. Het lijkt logisch dat een onderzoek naar de effecten van een kleinere oppervlakte hetzelfde zal opleveren als dit onderzoek. Immers meer orderpickers in dezelfde ruimte zal dezelfde gevolgen hebben als evenveel orderpickers in een kleinere ruimte. Een onderzoek naar de precieze structuur van de opdrachten en hoe dit de doorlooptijd beïnvloedt lijkt wel nuttig. Dit sluit aan bij de eerdere opmerkingen ten aanzien van de opdrachtenstructuur. Het uiteindelijke doel is om het optimum te vinden. Daarmee zijn we in feite weer terug bij de keuze voor de wenselijke marginale productiviteit in paragraaf 7.1

Beoordelen congestie per gang

Het feit dat iedere gang zijn eigen productiviteitsfunctie heeft, betekent dat per gang bepaald kan worden of er gegeven een bepaald omzet in die gang congestie zal ontstaan. Door het gemiddeld aantal orderpicker te bepalen, dat nodig is om de gewenste omzet van een gang bij een bepaalde slotting te halen, kan een indruk worden verkregen van de te verwachten congestie. De grafieken en functies (zie figuur 6.33 en 6.34) bieden hiervoor, analoog aan de productiviteitsgrafieken van het gehele circuit, de mogelijkheid. Grote voordeel van het op deze manier bepalen van de congestie is dat niet meer gewerkt wordt met een vaste ophaalnorm; per gang kan afhankelijk van het aantal orderpickers de individuele productiviteit bepaald worden. In de praktijk betekent dit dat vooral bij grotere omzetten per gang het aantal benodigde orderpickers veel groter zal zijn, dan verwacht wordt op basis van werken met een vaste ophaalnorm. De toegevoegde waarde van een extra orderpicker wordt in dit geval immers ook steeds kleiner.

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit hoofdstuk 6 vertaald naar voor de praktijk relevante inzichten. Hiermee is het kwantitatieve gedeelte van het onderzoek afgerond. Het volgende en laatste hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen van het gehele onderzoek.

8. Conclusies & Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van het onderzoek weergegeven en worden aanbevelingen gedaan ten aanzien van de implementatie van de aangedragen adviezen en ten aanzien van mogelijk vervolgonderzoek.

De vraagstelling van het onderzoek luidde:

“Wat zijn de factoren en hun relaties die de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum bepalen, hoe kan op basis daarvan een hulpmiddel ontwikkeld worden en wat is deze capaciteit in verschillende uitgangssituaties?”

In het vervolg van dit hoofdstuk zal deze vraagstelling beantwoord worden.

8.1 Conclusies

Het onderzoek is analoog aan de doel- en vraagstelling opgedeeld in een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte. In het kwalitatieve gedeelte (hoofdstuk 4) is onderzocht welke factoren de productiviteit beïnvloeden. In het kwantitatieve gedeelte (hoofdstuk 5 tot en met 7) is onderzocht wat de capaciteit in verschillende uitgangssituaties is. Na enkele algemene conclusies volgen de conclusies van beide gedeelten van het onderzoek.

Conclusies t.a.v. afbakening en relevante processen

- De afbakening van het te onderzoeken systeem bevat het orderpicken, het aanvullen van bufferlocaties, het aanvullen van picklocaties en de fysieke omgeving waarbinnen deze drie activiteiten worden uitgevoerd. Onder orderpicken wordt het proces verstaan waarbij goederen worden verzameld uit het magazijn om aan een specifieke klantorder te voldoen. De productiviteit is de output van het orderpickproces. Naast dit proces zijn de twee aanvulprocessen onderkend als belangrijk voor de productiviteit. Deze processen worden namelijk eveneens in het orderpickcircuit uitgevoerd en leveren daardoor verstoringen op voor de orderpickers. Bovendien zijn deze processen voorwaardenscheppend voor het orderpickproces (ze zorgen ervoor dat de producten voorradig zijn). De factoren die deze drie processen beïnvloeden zijn dus de factoren die de productiviteit, en daarmee de capaciteit beïnvloeden.
- De capaciteit van de verscentrale van het distributiecentrum is opgevat als het maximale aantal colli dat per tijdseenheid geproduceerd kan worden. Dit is de zogenaamde volumecapaciteit, die, in tegenstelling tot de oppervlaktecapaciteit, rekening houdt met de gevolgen van de inrichting van het circuit en de gevolgen van de interactie tussen de processen.
- Analyse van de drie hoofdactiviteiten heeft geleerd dat ze bestaan uit verschillende deelactiviteiten. Daaraan kunnen verschillende procestijden gekoppeld worden. Op theoretisch niveau is voor alledrie de processen bepaald uit welke tijdscomponenten ze bestaan. Bij de twee aanvulprocessen zijn dat de horizontale tijd, de verticale tijd, de handling-tijd en de administratietijd. Het orderpicken kan worden verdeeld in administratietijd, grijptijd (bestaande uit looptijd, stapeltijd, paktijd en informatietijd) en rijtijd.

Conclusies t.a.v capaciteitsbepalende factoren

Om de factoren die de productiviteit beïnvloeden te identificeren en te structureren is gebruik gemaakt van een raamwerk, waarin vijf deelsystemen op drie niveaus beschouwd zijn. De vijf deelsystemen zijn:

- lay-out
- opslagsysteem
- orderverzamelsysteem
- medewerkers
- hulpmiddelen

De drie niveaus zijn het operationele, het tactische en het strategische. Het aanvullen en het orderpicken zijn opgevat als het operationele niveau van het opslagsysteem respectievelijk het orderverzamelsysteem. Vervolgens zijn per relevant blok binnen dit raamwerk de factoren bepaald die het aanvul- en het orderpickproces, en daarmee de productiviteit, beïnvloeden. De belangrijkste factoren en hun invloed op de capaciteit zijn:

- De lay-out omvat factoren op strategische niveau: de typologie van het DC, de daarbinnen gekozen indeling van het DC, de binnen die indeling gekozen opzet van ophaalgebieden en vervolgens de indeling van die ophaalgebieden tot op gangniveau. Dit systeem vormt als het ware de omgeving waarbinnen de operationele processen zich afspelen. Het zijn keuzes die voor de bouw van het DC gemaakt zijn en die nu dienen als randvoorwaarden voor de processen. De lay-out heeft vooral invloed op de fysieke inrichting van het DC en legt de afstanden tussen de inrichtingselementen en binnen het orderpickcircuit vast. De diverse rijtijden worden dus voor een groot gedeelte al door de lay-out op strategisch niveau bepaald.
- Het opslagsysteem op tactische niveau bepaalt hoe de producten worden opgeslagen. Dit bestaat uit vier onderdelen: de opslagtypes, de producten, de slottingsmethode en de aanvulmethode. Binnen het DC worden verschillende opslagtypes gehanteerd, onder andere normaal-locaties, kom-locaties en flowracks. Zij hebben allen verschillende kenmerken (breedte, diepte, hoogte, aantal picklocaties per sectie, capaciteit enz.). De producten beïnvloeden de productiviteit op twee manieren: door de fysieke kenmerken (gewicht, volume, stapelbaarheid, primaire ladingdrager, enz.) en door de omzet. Met behulp van de slottingsmethode worden de producten aan een opslagtype en uiteindelijk aan een picklocatie gekoppeld, waardoor er een volgorde van opslagtypen en producten ontstaat in het circuit, wat uiteindelijk bepaalt hoe de orderpicker de producten gepresenteerd krijgt. Daarbij gaat het vooral om factoren als grijphoogte, grijpdiepte, gewicht, volume, stapelbaarheid en omzet. De grijphoogte en de grijpdiepte bepalen de bewegingen die de orderpicker moet maken om het product te pakken. Daarbij betekenen zowel hoog, laag als diep pakken een toename van de paktijd. Het gewicht en het volume hebben ook invloed op de paktijd. Vooral omdat de orderpicker bij lichte, kleine producten meer producten tegelijk mee kan nemen, terwijl hij bij zware producten vaker zal moeten lopen als er meer colli uit dezelfde picklocatie gepickt moeten worden. Voor de reachtrucker zijn wat betreft het opslagtype vooral de capaciteit en de aanvulkenmerken van belang. Wat betreft het product geldt dit voor de omzet. De

capaciteit en de omzet bepalen de aanvulfrequentie, de aanvulkenmerken bepalen hoe de aanvulactiviteit er uit zal zien.

- Het orderverzamelsysteem op tactisch niveau is bepalend voor de manier waarop het orderpicken plaatsvindt. Het bevat de orderverzamelmethode, de manier waarop de ophaalopdrachten worden samengesteld en uitgegeven, en de routeringsmethode, de route die de orderpickers volgen tijdens het lopen van een opdracht. Tezamen resulteren deze methoden in de kenmerken van de ophaalopdrachten, zoals het aantal gangen, de opeenvolging van die gangen, de picklocaties die aangedaan moeten worden, het aantal colli dat per picklocatie gepakt moet worden en de afstand tussen de picklocaties.
- De kenmerken van de medewerkers zijn belangrijke factoren op operationeel niveau. Deze bepalen uiteindelijk hoe de medewerkers de werkzaamheden uitvoeren. Naast algemene kenmerken als opleiding, motivatie en ervaring spelen de bereidheid om iets extra's te doen om de werkzaamheden voor een collega gemakkelijker te maken en de opgelegde taaktijden een belangrijke rol. Specifiek voor de orderpickwerkzaamheden gelden de keuzes betreffende wanneer en waar stoppen, aantal locaties per stop en aantal keer lopen per picklocatie als belangrijke productiviteitsbepalende factoren.
- Het material handling systeem bevindt zich ook op het strategische niveau en beschrijft de kenmerken van de hulpmiddelen die de orderpicker en de reachtrucker tot hun beschikking hebben. Snelheid, manoeuvreerbaarheid en afmetingen zijn de belangrijkste factoren. In combinatie met de lay-out worden zo de inhaal mogelijkheden en de potentiële verstoringen bepaald. Voor de orderpicker is daarnaast nog de afleghoogte van het orderpickvoertuig van belang.

Tezamen bepalen deze factoren hoe de processen op operationeel niveau uiteindelijk uitgevoerd zullen en kunnen worden. De uitvoering van en de interactie tussen de processen resulteert voor het orderpickproces in een bepaald aantal colli per stop, een bepaalde stoptijd, bepaalde stoplocaties en de spreiding van de orderpickers in het circuit. Voor de reachtruckers volgen heirit blokkeertijden op bepaalde plaatsen in het circuit en ook een bepaalde spreiding van de reachtruckers in het circuit. Tezamen resulteert dat weer in inhaal mogelijkheden, blokkeringen in gangen, de mate van bereikbaarheid van pick- en bufferlocaties en de kans op congestie.

Uiteindelijk kan zo in een schematisch overzicht worden aangegeven hoe de individuele productiviteit, de totale productiviteit en de capaciteit van de verscentrale van een distributiecentrum worden beïnvloed door bovenstaande factoren.

Conclusies t.a.v. capaciteit vers 3 afdeling DCP

Tijdens het kwantitatieve gedeelte van het onderzoek is een simulatiemodel ontwikkeld dat als hulpmiddel dient om het inzicht in de factoren die de capaciteit bepalen te vergroten. Dit model is gedraaid voor verschillende (hypothetische) situaties. De belangrijkste conclusies die ten aanzien van de volumecapaciteit van de verscentrale van het distributiecentrum getrokken zijn, luiden:

- Om een goed beeld te krijgen van de productiviteit, zijn drie verschillende productiviteiten van belang: de totale productiviteit, de individuele productiviteit en de marginale productiviteit. De maximale totale productiviteit geeft de capaciteit aan.
- Om inzicht te verkrijgen in de situatie in de verschillende gangen bij een bepaalde productiviteit zijn de volgende prestatie-indicatoren per gang interessant: gemiddelde

verblijftijd, gemiddeld aantal orderpickers, de omzet, gemiddeld aantal stops en gemiddeld aantal colli per stop. De verblijftijd wordt onderverdeeld in rijtijd, looptijd, paktijd, afmeldtijd en congestietijd. Met deze laatste indicator kan een goed beeld van de congestie die ontstaat in een bepaalde gang worden verkregen.

- De ontwikkeling van de totale productiviteit bij een toename van het aantal orderpickers voldoet aan de wet van het toe- en afnemend grensproduct. Volgens functie (6.1) neemt de totale productiviteit toe tot de capaciteit, die ongeveer 8100 colli per uur bedraagt, wordt bereikt bij een inzet van 88 orderpickers, waarna de totale productiviteit afneemt. De grafiek voor de individuele productiviteit is gelijk aan die van de totale productiviteit gedeeld door het aantal ingezette orderpickers. De curve van de marginale productiviteit is de afgeleide van de totale productiviteit.
- Gang 35 en gang 21 blijken de grootste congestieproblemen te veroorzaken. Deze gangen kennen logischerwijs een hoge omzet en een hoge gemiddelde bezetting. Het aantal colli per stop blijkt ook een belangrijke indicator voor congestie te zijn. Kennelijk is minder vaak en lang stoppen meer verstorend dan vaak en kort stoppen. Een drukbezochte afmeldkast en regelmatig voorkomen als begingang in opdrachten leveren ook een substantiële bijdrage aan de congestie. Bij inzet van een groot aantal orderpickers blijkt het aandeel van gang 35 in de totale congestietijd te stijgen. Deze gang is op dit moment de bottleneck.
- De capaciteit van het dozencircuit blijkt ongeveer gelijk te zijn aan die van het totale circuit. Hieruit blijkt dat het mogelijk is om in een circuit dat ongeveer 1/3 keer kleiner is dan het huidige een zelfde totale en individuele productiviteit te realiseren. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de opdrachten in het dozencircuit veel groter zijn dan die van het krattencircuit. Orderpickers zijn hierdoor langer in het circuit en besteden hun tijd effectiever. De totale congestietijd in het dozencircuit ligt echter wel ongeveer de helft hoger dan die in het gehele circuit.
- De capaciteit van het krattencircuit ligt meer dan de helft lager dan die in het gehele circuit. Belangrijkste redenen zijn kleine opdrachten en een hele hoge omzet in gang 21, terwijl het in de rest van de gangen veel rustiger is.
- Ook de capaciteit van een gang kan bepaald worden, waarbij dan het gemiddeld aantal orderpickers in de gang bepalend is. Met de bijbehorende grafieken en functies voor de productiviteiten kan bepaald worden hoeveel orderpickers er gemiddeld in een gang zullen zijn bij een gegeven omzet. Op grond hiervan kan dan de haalbare individuele productiviteit bepaald worden. Het gemiddeld aantal orderpickers in een gang blijkt een redelijk constante relatie te vertonen met de totale congestietijd in een gang en is daarmee een goede indicator voor de congestie. Het blijkt dat het bij het analyseren van congestie in een gang altijd neerkomt op de omzet die de gang genereert en het aantal orderpickers dat als gevolg daarvan in die gang zal moeten lopen.
- De invloed van het aanvullen en het SWAGen op de productiviteit blijkt zeer beperkt te zijn. Verdubbeling van het aantal SWAGbewegingen ten opzichte van de huidige situatie betekent slechts een vermindering van 2 à 3 productiviteitspunten. Het blijkt dat de reachtruckers niet zo zeer zelf tot een grotere congestietijd leiden, als wel dat ze congestie ondervinden ten gevolge van de orderpickers. Voor de praktijk betekent dit dat het maximale aantal mogelijke uit te voeren SWAG- en aanvulbewegingen steeds kleiner wordt bij een toename van het aantal orderpickers. Dit geldt ook als de blokkadetijd

vergroot wordt. In feite blijkt dat ook de individuele productiviteit van een reachtrucker afneemt met het aantal orderpickers.

- De paktijd is een zeer belangrijk onderdeel van de orderpickcyclus. Het maakt afhankelijk van de inzet van het aantal orderpickers zo'n 50 tot 70% van de totale orderpicktijd uit. Een kleine verandering in de paktijd heeft dan ook grote gevolgen voor de productiviteit. De wijze waarop deze tijdscomponent beïnvloed wordt door de factoren is tegelijkertijd één van de onduidelijkste. Het bestaat uit veel handelingen zoals draaien, bukken, strekken, grijpen en tillen. Iedere handeling wordt op een bepaalde manier beïnvloed door de factoren. Hoe ieder van deze factoren nu uiteindelijk de paktijd beïnvloedt is nauwelijks te meten. In de literatuur zijn beïnvloedingsdiagrammen voor de grijphoogte, de grijpdiepte en het gewicht gevonden. Het is echter moeilijk vast te stellen in hoeverre die van toepassing zijn bij Albert Heijn. Vertalen van de diagrammen naar de situatie in DCP leert dat vooral de grijptijd grote invloed heeft op de productiviteit. Dit is bovendien vooral in de gangen die zonder meenemen van deze factor al een grote congestietijd kennen.

Conclusies t.a.v. gevolgen voor de capaciteit van mogelijke veranderingen in DCP

- Het toepassen van een uitgiftestrategie blijkt weinig op te leveren. De belangrijkste reden hiervoor is de geringe variatie in de ophaalopdrachten. Zowel de begingang, als de eindgang, als de samenstelling van de opdrachten kennen weinig variatie.
- Spreiden van de omzet vanuit het oogpunt van de congestieproblematiek is altijd te prefereren boven het maken van een slotting waarbij de hardlopers worden geclusterd. Belangrijkste reden hiervoor is dat de producten in het DC allemaal hardlopen en bovendien blijkt de rijtijd, het belangrijkste onderdeel van de orderpickcyclus dat negatief beïnvloed wordt door spreiding van de omzet, slechts een klein onderdeel van deze cyclus te zijn. Onderzoeken naar mogelijkheden om de rijtijd te reduceren (door het hanteren van andere routeringsmethoden) lijken dan ook weinig op te kunnen leveren.
- Het aanbrengen van flowracks in gang 29, waardoor orderpickers met een opdracht voor het krattencircuit voortaan in gang 27 afmelden, levert slechts een beperkte productiviteitswinst op. Wel wordt op deze manier voorkomen dat de orderpickers met een krat-opdracht nog langer door het dozencircuit moeten om af te melden in gang 35. De afname van congestie die dat oplevert in gang 35 wordt echter bijna geheel toegevoegd aan de congestie in gang 27. Deze gang kende echter een lagere omzet, waardoor het uiteindelijk effect op de congestie toch positief is.

8.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen t.a.v. verder gebruik onderzoeksresultaten

- De ophaalnorm zoals die nu gehanteerd wordt, doet geen recht aan de werkelijke situatie waarin de individuele productiviteit lager wordt als er meer orderpickers ingezet worden. Met andere woorden, als er meer orderpickers in het circuit ingezet worden, dan moet rekening gehouden worden met het feit dat de norm die ze nog kunnen halen steeds lager wordt. Het verdient dan ook de aanbeveling om voortaan te verken met een flexibele ophaalnorm. Daarbij kunnen de opgestelde grafieken en functies als basis dienen. Gegeven een gewenste totale productie, kan bepaald worden hoeveel orderpickers ingezet

moeten worden en welke individuele productiviteit zij kunnen halen. In ieder geval verdient het de aanbeveling om zich bij het inzetten van meer orderpickers te realiseren dat de mogelijke ophaalnorm daardoor lager komt te liggen, en dat iedere extra orderpicker die ingezet wordt minder toegevoegde waarde heeft.

- Een strategische afweging ten aanzien van de wenselijke positie "op" de productiviteitscurven dient gemaakt te worden. Nu bekend is wat de capaciteit is en hoe de totale, individuele en marginale productiviteit veranderen bij inzet van meer of minder orderpickers dient bepaald te worden in welke situatie het DC zich nu over het algemeen bevindt en welke situatie wenselijk wordt geacht. Het gaat daarbij om de afweging tussen de kosten van een extra orderpicker en de toegevoegde waarde van die orderpicker. Welke marginale productiviteit is nog wenselijk?
- Probeer de planning in financieel opzicht te optimaliseren door te bepalen of het wellicht interessant is om meer te gaan produceren in de nacht. De orderpickers zijn dan duurder, maar omdat er minder orderpickers tegelijk bezig zijn, zal de productiviteit hoger liggen. Zeker op de langere termijn kan hiermee de capaciteit vergroot worden.
- Om de hinder die de reachtruckers ondervinden van de orderpickers te beperken, dient de afstand die zij afleggen zoveel mogelijk gereduceerd te worden. Dit is mogelijk door de SWAG- en aanvulactiviteiten te combineren (dubbelspelen) en slimmer elkaar op te laten volgen. Hiervoor is aansturing van de reachtruckers in de vorm van aanvulopdrachten noodzakelijk.
- Bij het beoordelen van een slotting zal ook de haalbaarheid voor de reachtruckers beoordeeld moeten worden. Ook de aanvul- en SWAGactiviteiten kennen een maximale productiviteit, die afneemt naarmate het aantal orderpickers groter wordt.
- Richt de aandacht bij het zoeken naar mogelijke verbeteringen in de slotting en de opdrachtsamenstelling op de paktijd (in plaats van de rijtijd). Door de paktijd met een klein percentage te reduceren kan al veel winst behaald worden.
- Focus bij mogelijke verbeteringen in de combinatie van ophaalopdrachten en slotting op variatie in de begin- en eindgangen, zodat de orderpickers op verschillende punten het circuit ingaan en verspreid over verschillende afmeldkasten hun opdracht afmelden. Houd bij het maken van een nieuwe slotting vooraf al rekening met de gevolgen die dit heeft voor de structuur van de ophaalopdrachten.
- Probeer bij het maken van een slotting de hardlopers zoveel mogelijk te spreiden en kijk in hoeverre het mogelijk is om de "hoge omzet" gangen verderop in de ophaalopdracht te plaatsen. Vermijd hardlopers aan het begin van begingangen en rondom afmeldkasten. Uiteindelijk is de omzet één van de belangrijkste capaciteitsbepalende factoren.
- Probeer de stroom orderpickers met krattenopdrachten uit het dozencircuit te krijgen. Het vervangen van gang 29 door flowracks biedt hiervoor een goede mogelijkheid. Hoewel het productiviteitsvoordeel beperkt is zal dit met eventueel een extra afmeldkast en een slimme slotting van de nieuwe producten (bijvoorbeeld naar gang 23) leiden tot een logischer circuit met een beter spreiding.

Aanbevelingen t.a.v. vervolgonderzoek

- De geformuleerde relaties kunnen nog verbeterd worden door verder onderzoek te doen naar de productiviteit op verschillende dagen bij verschillende aantallen van orderpickers. De formules kunnen dan getoetst worden en eventueel aangepast. Het registreren van de

productiviteit dient dan wel zorgvuldiger plaats te vinden dan in de huidige situatie, waar de koppeling van geklokte uren aan taken erg onbetrouwbaar is.

- Aanbevolen wordt om de paktijd nader te onderzoeken en zo te bepalen uit welke tijdscomponenten deze tijd bestaat en wat de waarden van deze componenten zijn bij verschillende opslagtypen en producten. Ook kan dan nauwkeuriger vastgesteld worden hoe vaak een orderpicker heen en weer moet lopen om een bepaald aantal producten te pakken. Het observeren van de medewerkers kan waardevolle inzichten opleveren aangaande hoe nu daadwerkelijk omgegaan wordt met de verschillende opslagtypes en producten. Het maken van video-opnames kan hierbij een hulpmiddel zijn. Het op deze manier beter in kaart brengen van de factor "mens" kan een goede aanvulling zijn op dit onderzoek, dat toch vooral theoretisch van aard is en de mens heeft "gevangen" in aannames en gemiddelden.
- Het verdient de aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de structuur van de ophaalopdrachten en te bepalen in hoeverre het mogelijk is om de samenstelling zodanig aan te passen dat er meer verschillende opdrachten komen, vooral wat betreft de begin- en eindgangen. Het testen van een op alternatieve wijze samengestelde set ophaalopdrachten is een interessant vervolgonderzoek om met het simulatiemodel uit te voeren.
- Dit onderzoek is uitgevoerd vanuit het oogpunt van distributiecentrum Pijnacker, waarbij vooral aandacht is besteed aan de productiviteit van het orderpickproces. Een interessant vervolgonderzoek is wat de betekenis hiervan voor de hele AH keten is. Voor Albert Heijn als geheel zijn indicatoren als service-level en tijdigheid ook van groot belang. Als DCP een zeer goede productiviteit kent, maar dit gaat samen met veel doorhalingen (laag service-level) en een slechte tijdigheid van de leveringen dan zal dit voor de hele keten erg nadelig zijn. In dit rapport is enkele malen opgemerkt dat soms een mindere productiviteit moet worden geaccepteerd om het service-level te verbeteren. Het zou interessant zijn om deze trade-off nader te onderzoeken en te bepalen wat voor Albert Heijn als geheel nu eigenlijk het beste is.

Literatuur

- Albert Heijn Public Relations (1998), *Infobulletin Distributiecentrum Pijnacker*.
- AutoSimulations, Inc. (1999), *AutoMod User's Manual, Volume 1 & 2*, Bountiful, Utah.
- Banks, J. (2000), *Getting started with AutoMod*, AutoSimulations, Inc., Bountiful, Utah.
- Baptist, P.F. (1996), *Synergie door inschakeling gemeenschappelijk distributiecentrum*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds.), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 1.9.
- Botter, C.H. (1993), *Productiemanagement*, Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer.
- Caron, F., G.Marchet and A.Perego (1998), *Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems*, in: *International Journal of Production Research* 36(3), 713-732.
- Cooper, J. (1994), *Logistics and Distribution Planning, Strategies for Management*, Kogan Page, London.
- Council of Logistics Management (1992), *What's It All About*, Oak Brook, IL.
- Coyle, J.J., E.J.Bardi en C.J.Langley Jr. (1996), *The Management of Business Logistics*, West Publishing Company, Minneapolis / St. Paul.
- Dietz, F.J., W.J.M.Heijman en E.P.Kroese (1996), *Micro-economie*, Educatieve Partners, Houten.
- Duin, J.H.R.van, J.C.van Ham en R.E.C.M.van der Heijden (1998), *Introductie logistiek en vervoer*, Subfaculteit Technische Bestuurskunde, Delft.
- Esmeijer, G.W. (1996), *Toegepaste interne logistiek*, Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer.
- Fluit, P.van der, en R.Wijnen (1997), *Simulatie voor het oplossen van ontwerpproblemen*, in: *Logistieke knelpunten in het Nederlandse bedrijfsleven*, Koster, M.B.M. de, H.B.Roos en M.J.M. de Vaan, (eds.), Kluwer Bedrijfsinformatie, Deventer, blz. 121-133.
- Gelders, L. en L.Pintelon (1996), *Organisatie van het logistieke en magazijnproces*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds.), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, blz. 3.5A 01-16.
- Goetschalckx, M. en H.D.Ratliff (1998 I), *An efficient algorithm to cluster order picking items in a wide aisle*, in: *Engineering Costs and Production Economics*, 13 (1988) 263-271
- Goetschalckx, M. en H.D.Ratliff (1988 II), *Order Picking In An Aisle*, in: *IIE Transactions*, Vol. 20, nr. 1, blz. 53-62.
- Goor, A.R., A.H.L.M.Kruijtzer en G.W.Esmeijer (1993), *Goederenstroombesturing, voorraadbeheer en materials handling*, Stenfert Kroese, Leiden.
- Goor, A.R. van, M.J.Ploos van Amstel en W.Ploos van Amstel (1996), *Fysieke distributie, Denken in toegevoegde waarde*, Stenfert Kroese, Leiden.
- Gronau, P. (1990), *Met het oog op de toekomst*, in: *Transport & Opslag*, nr. 11, blz. 62-65.
- Hall, R.W. (1993), *Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse*, in: *IIE Transactions* 25(4), 76-87
- Hansen, I.A. e.a. (1998), *College CTvk3040, Verkeer, Deel B: Ontwerp van wegen en spoorwegen*, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Delft.

- Hereijgers, E. (1999), *Opslagsystemen*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.6.
- Heskett, J.L. and R.D.Shapiro (1985), *Logistics Strategy*, West Publishing, St Paul MN.
- Horn, S. en P.Brubaker (2001), *WMS Simulation*, in: *Brooks Automation '01*.
- Jacobs, F.H.W.M., H.E.van Dort en M.B.M.de Koster (1998), *Informatiesystemen binnen magazijnen*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.11A
- Koninklijk Ahold N.V. (2002), *Ahold Jaarverslag 2001*, Zaandam.
- Koster, M.B.M.de en K.J. Roodbergen (1999), *Een magazijn ontwerpen op internet*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.3F.
- Koster, M.B.M. de (1998), *Lay-out ontwerp*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.3B
- Koster, M.B.M. de (1997), *Ontwerp van een eenvoudig magazijn*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.10A.
- Koster, M.B.M. de (2000), *Reader Opslagmethoden en material-handling systemen in magazijnen*, Faculteit Bedrijfskunde, Rotterdam.
- Koster, M.B.M., de (1996), *Rijgend intern transportmaterieel*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.7A.
- Koster, R. de, E. van der Poort en K.J.Roodbergen (1998), *When to apply optimal or heuristic routing of orderpickers*, in: *Advances in Distribution Logistics* B. Fleischmann et al. eds., (Lecture notes in economics and mathematical systems 460), Springer Verlag, Berlin, 375-401.
- Laan, J.W.van der (1999), *Dynamiek in de distributie van levensmiddelen*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 1.8B.
- Lans, R.J.van der, en J.F.de Ruiter (1998), *Efficient Consumer Response*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, blz. 1.8 01-19.
- Leerintveld, P.A.L (1997), *Optimalisatie orderpickproces leidt tot kortere doorlooptijd in magazijn*, in: *Logistieke knelpunten in het Nederlandse bedrijfsleven*, Koster, M.B.M. de, H.B.Roos en M.J.M. de Vaan, (eds.), Kluwer Bedrijfsinformatie, Deventer, blz. 65-77.
- Magee, J.F., W.C.Copacino en D.B.Rosenfield (1985), *Modern Logistics Management*, Wiley, New York.
- May, A.D. (1990), *Traffic flow fundamentals*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Moerkerken, M.D.D. (2000), *Beslissingsondersteunend systeem voor de logistieke inrichting van magazijnen en distributiecentra*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 3.3E.
- Mulcahy, D.E. (1994), *Warehouse distribution and operations handbook*, McGraw-Hill, New York.

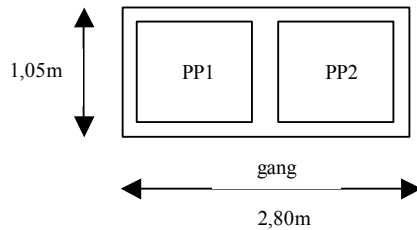
- Ploos van Amstel, M.J. (1995), *De relatie tussen produktkarakteristieken en de inrichting van het magazijn/DC*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 2.1.
- Ploos van Amstel, M.J. en T.M. Verduijn (1994), *De gevolgen van logistieke ondernemerskeuzen voor de functie, inrichting en besturing van distributiecentra*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, par. 1.3.
- Ratliff, H.D. en A.S.Rosenthal (1983), *Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem*, in: *Operations Research*, Vol. 31, No. 3, blz. 507-521.
- Rohrer, M. (1999), *AutoMod Product Suite Tutorial*, in: *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, Farrington, P.A., e.a. (eds), (1999).
- Roodbergen, K.J. (2001), *Layout and Routing Methods for Warehouses*, Erasmus Research Institute of Management, Rotterdam.
- Roodbergen, K.J. (2001), *Sneller orders verzamelen*, in: *Inkoop & Logistiek*, Nr. 9-01, blz. 51-52.
- Schuurman, B.H.J. en P.Warffemius (1996), *Logistiek besturingsconcepten, een inventarisatie*, Eburon, Delft.
- Shannon, R.E. (1975) *Systems Simulation: the art and science*, Prentice Hall.
- Sol, H.G., K.P.van Til en A.Verbraeck (1999), *Discrete Modellen, deel 2*, Subfaculteit Technische Bestuurskunde, Delft.
- Starink, P.W.M. (2000), *DC's mensgericht ontwerpen*, in: *Praktijkboek Magazijnen / Distributiecentra*, J.P.Duijker e.a. (eds), (1994-2002), Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, blz. 3.3C 11-12.
- Tompkins, J.A. en J.D.Smith (1988), *The warehouse management handbook*, McGraw-Hill, New York.
- Tompkins, J.A., e.a. (1996), *Facilities Planning*, Wiley, New York.

Bijlage 1: Plattegrond Vers 3

Bijlage 2: Opslagtypen

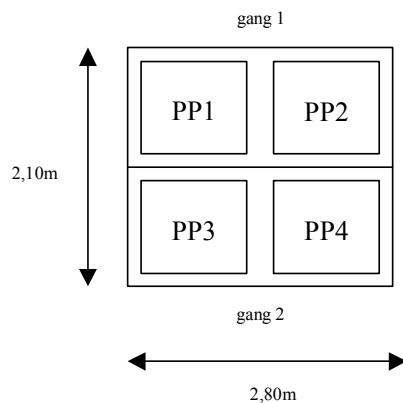
In deze bijlage komen de diverse opslagtypen die gebruikt worden in de distributiecentra van Albert Heijn aan de orde. Per opslagtype wordt een omschrijving gegeven en tevens aangeduid waar het (eventueel) gebruikt kan worden. Eerst worden de stellinglocaties besproken, vervolgens de overige opslagtypen.

Bij de indeling van het DC wordt uitgegaan van secties van 2,80 m breed en 1,05 m diep. Dit is inclusief de benodigde ruimte voor de stellingen. In een sectie passen precies twee pallets naast elkaar. Figuur 1 geeft een bovenaanzicht van een sectie met twee palletplaatsen.



Figuur 1: Bovenaanzicht sectie met twee palletplaatsen

Bovenstaande situatie geldt in het geval van een enkele gang. Als er een dubbele gang is, liggen er twee van dergelijke secties achter elkaar. Dit is weergegeven in figuur 2.



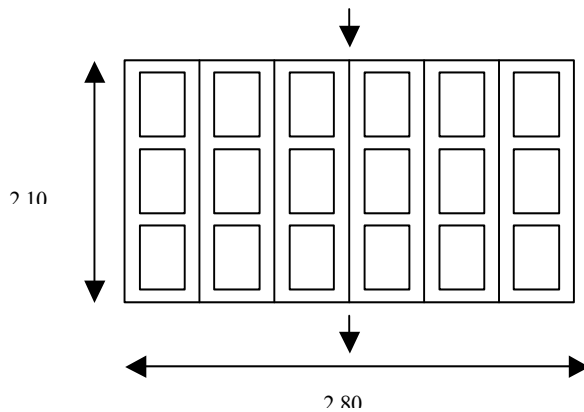
Figuur 2: Bovenaanzicht twee secties met vier palletplaatsen

Flowrack

Een flowrack of doorrolstelling is een systeem waarbij fusten vanaf de achterkant van de stelling op een rollerbaan worden gezet. Via deze, onder een bepaalde hellingshoek geplaatste rollerbaan rollen de fusten naar de voorkant van de stelling waar ze gepickt kunnen worden. Typisch voor dit systeem is dat aanvullen aan de achterkant en picken aan de voorkant plaatsvindt. Aan beide kanten is daarvoor een gangbreedte van 1,80m vereist. Een flowrack vereist altijd twee achter elkaar gelegen secties. De afmetingen van één flowrack zijn dus 2,80x2,10m. Door de fusten in de lengte of in de breedte te plaatsen en het aantal lagen te variëren kunnen picklocaties met verschillende afmetingen worden verkregen. Als de fusten in de lengte geplaatst worden passen er 6 naast elkaar.²⁵ In de diepte passen in dat geval 3 fusten.²⁶ Zie figuur 3 voor een bovenaanzicht. De ingaande pijl geeft de aanvulkant aan, de uitgaande de pick-kant.

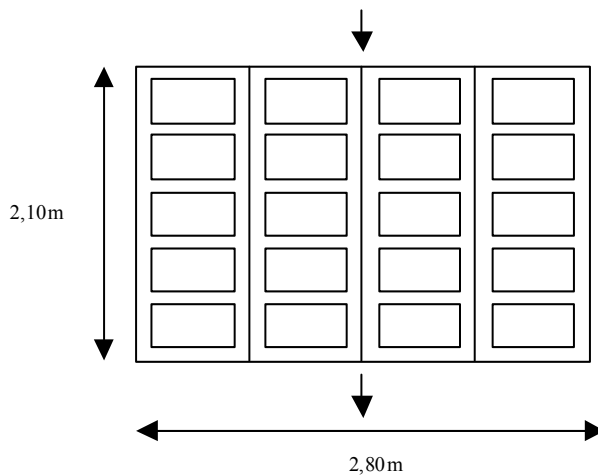
²⁵ $2,80 / 0,40 = 7,0$; maar omdat er ook ruimte nodig is voor de rollerbanden en de staanders passen er slechts 6 fusten in de breedte.

²⁶ $2,10 / 0,60 = 3,5$



Figuur 3: Bovenaanzicht flowrack 6 smal

In de breedte plaatsen van de fusten levert 4 locaties van 5 fusten diep op.²⁷ ²⁸ Figuur 4 geeft een bovenaanzicht.



Figuur 4: Bovenaanzicht flowrack 4 breed

Er worden flowracks met 1,2 of 3 lagen gebruikt. Bij het bepalen van de vulhoogte per laag moet zoveel mogelijk rekening worden gehouden met de ARBO wens om niet hoger te picken dan 1,75m. Het flowrack zelf vereist ook de nodige ruimte, de eerste laag ligt minimaal 12cm boven de grond.²⁹ Per laag is er dan ook nog ongeveer 7 cm nodig voor de dwarsbalk. Dit leidt ertoe dat voor een drielaags flowrack de beschikbare vulhoogte ongeveer 150cm is. Die kan in principe willekeurig verdeeld worden, maar gebruikelijk is om drie lagen van 50 cm te maken. Voor een tweelaags flowrack geldt dat de onderste laag meestal iets meer dan 100cm en de bovenste ongeveer 50 cm hoog is. De balk ligt dan namelijk op dezelfde hoogte als bij de drielaags flowracks en bij komstellingen. Een éénlaags flowrack heeft een vulhoogte van 160cm vergelijkbaar met een palletlocatie. Genoemde vulhoogtes hebben betrekking op de pickkant van het flowrack. In verband met de hellingshoek van zo'n 6% moet de aanvuller aan de achterkant dan bijna 13 cm hoger aanvullen. De volgende configuraties worden gebruikt:

²⁷ $2,80 / 0,60 = 4,67$; dus 4 fusten in de breedte.

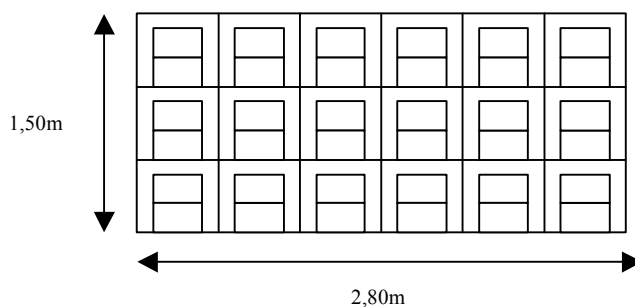
²⁸ $2,10 / 0,40 = 5,25$

²⁹ Dit is de minimale maat die o.a. in Pijnacker wordt gehanteerd. Het flowrack staat dan direct op de grond. In andere DC's wordt gewerkt met 25 cm. Dan is er ruimte onder het flowrack wat schoonmaken vergemakkelijkt.

Configuratie	Aantal picklocaties
3 x 6	18
2 x 6	12
3 x 4	12
2 x 4	8
1 x 6	6
1 x 4	4

Tabel 1: Flowracks configuraties

3 x 6 moet gelezen worden als 3 lagen van 6 fusten. Zie ter illustratie figuur 5, waarin een schematisch vooraanzicht van een flowrack 3x6 met fusten van 23 cm hoog en een vulhoogte van 50 cm voor iedere laag gegeven wordt. Er zijn dan 18 picklocaties, waarin 2 fusten 3 diep gestapeld kunnen worden. De opslaghoeveelheid per picklocatie is dan 6 fusten.



Figuur 5: Vooraanzicht flowrack 3 lagen, 6 smal

Eventueel kunnen flowracks ook met facings worden toegepast. Dit betekent dat een product in twee flowrack-locaties naast elkaar gepickt kan worden. Dit is bij Vers echter niet wenselijk in verband met de houdbaarheidsdatum van de producten. Flowracks zijn vooral handig als er beperkte ruimte beschikbaar is. Het is ook mogelijk om ze te gebruiken voor dozen, hoewel met name bij Vers dit nog onduidelijk is in verband met de vochtigheid.

Kom / Com

In het geval van een Combinatie-stelling (Kom of Com) wordt een palletlocatie verdeeld in twee locaties, een bovengedeelte aangeduid met de letter K, en het gedeelte op de grond aangeduid met de letter G. Beiden hebben theoretisch een vulhoogte van 75 cm.³⁰ In de praktijk is de verdeling onder/boven vaak 100/50 cm. In een komstelling staan pallets. De locaties zijn 1,40m breed en 1,05m diep. Op een pallet kunnen vijf fusten per laag worden geplaatst. Aanvullen en picken vinden aan dezelfde kant plaats, waarvoor de benodigde gangbreedte ook 1,80 m is. Omdat aan de andere kant van de stelling een zelfde komstelling kan worden gemaakt, is een komstelling qua oppervlakte en opslaghoeveelheid precies gelijk aan een flowrack 2x4. Overigens is het gebruik van komstellingen problematisch wat betreft de arbeidsomstandigheden. Het is namelijk niet wenselijk om geneste colli in een komstelling te picken. Genest betekent dat het gaat om fusten, dozen die op elkaar "geplakt" zijn of dozen die in verband gestapeld zijn. Daarnaast moet er ook rekening worden gehouden met lawinegevaar bij kleine verpakkingen.

³⁰ $((\text{Hoogte stelling } 1,80\text{m.}) - (2 \times 0,15\text{m pallethoogte}))/2$

Pallet-locatie of Normaal-locatie

Gebruiken van een pallet in een stelling levert de grootste picklocatie op. De locatiebreedte en -diepte zijn opnieuw 1,40m respectievelijk 1,05m. De vulhoogte is daarentegen 1,65m.³¹ In figuur 1 werden de twee palletplaatsen in een sectie al eerder aangegeven. Ook pallets met facings zijn mogelijk. Dit gebeurt vooral bij producten met een hoge omzet. Dit moet dan duidelijk aangegeven worden en vereist discipline van de aanvuller. (Deze moet het product met de vroegste THT-code op de eerste picklocatie plaatsen.)

Blokstapel

Een blokstapel is in feite weinig anders dan het op de grond neerzetten van de pallets op de picklocatie. Er zijn dus geen stellingen en de buffer bevindt zich op de picklocatie. Een duidelijk onderscheid tussen buffer- en picklocatie is dan ook niet te maken. Zodra de voorste pallet leeg is wordt de volgende een plekje naar voren geschoven. Dit opslagtype wordt vooral gebruikt bij groente en heel snel lopende houdbaar artikelen (bijvoorbeeld bier). Bij Vlees (vers 1) is er een vergelijkbaar systeem met fusten op roly's. Facings kunnen hierbij ook toegepast worden (ook bij de roly's), maar vooral met vlees moet er dan voor gezorgd worden dat de eerste THT ook als eerste wordt gepickt. Dit kan door middel van het bevestigen van bordjes aan de eerste colli met een nieuwe THT in beide rijen. De regel is dan dat er pas van de nieuwe rij mag worden gepakt als in beide rijen het bordje met de nieuwe THT vooraan staat. (Dit wordt toegepast in het LVC.)

Rolly-locatie

Rolly's worden gebruikt voor het orderpicken in een krattencircuit. Men spreekt van een roly-locatie als de fusten in de picklocatie ook op roly's zijn gestapeld. Binnen vooral vers 1 staan de fusten in de picklocatie en in de buffer (voor zover dat onderscheid gemaakt kan worden) op roly's. Er is variatie mogelijk in de diepte (het aantal roly's dat in de rij wordt gezet). Eigenlijk is er dan sprake van een soort "rijdende blokstapel". Aanvullen gebeurt van achteren, picken van voren.

Vakkast

Dit opslagtype wordt voornamelijk uit ruimtegebruik toegepast. Het betreft kasten met verschillende picklocaties in vakken. Er is variatie mogelijk in het aantal vakken. Aanvullen en picken vinden aan dezelfde kant plaats. Er is dus een goede aanvuldiscipline vereist om de oudere producten na vullen vooraan te plaatsen. Een ander nadeel van de vakkast is de problematische hygiëne.

Tot slot enige opmerkingen over de bufferlocaties in vers 3. Deze bevinden zich altijd boven picklocaties in een stelling. Het gaat altijd om pallets die echter wel half hoog kunnen zijn (voor komlocaties). Er bevinden zich twee lagen bufferlocaties boven de picklocaties (het A en het C niveau). Eventueel kan één van de twee niveaus in tweeën worden gedeeld, wat twee buffers voor een komlocatie oplevert.

³¹ (Hoogte stelling 1,80m) – (0,15m pallethoogte)

Bijlage 3: Objectmodel

Objecttype ophaalgebied

[attributen:

Nummer

Primaire ladingdrager

Dummy ja/nee

Buffers ja/nee

]

Objecttype (ont)laadstation

[attributen:

Locatie

Werkingsgebied (stroom, ophaalgebied)

Capaciteit

]

Objecttype opzetspunt

[attributen:

Locatie

Werkingsgebied (stroom, ophaalgebied)

Capaciteit

]

Objecttype strek

[attributen

Nummer

Locatie

]

Objecttype gang

[attributen:

Nummer

Lengte

Breedte

Eenrichtingsverkeer ja/nee

Richting

Ophaalgebied

]

Objecttype bocht

[attributen:

Begingang

Eindgang

Lengte

]

Objecttype sectie

[attributen:

Nummer (sectiecode)

Locatie

Aantal picklocaties

Breedte

Diepte

]

Objecttype picklocatie

[attributen:

Nummer (locatiecode)

Locatie

Product

Voorgaande picklocatie

Volgende picklocatie

Opslagtype

]

Objecttype opslagtype

[attributen:

Naam

Afmetingen

Capaciteit

Aantal picklocaties per sectie

]

Objecttype product

[attributen:

Bestelvariant

Assortimentsgroep

Afmetingen

Vorm

Gewicht

Primaire ladingdrager

Secundaire ladingdrager (productdrager)

Verpakkingseenheid (# CE per collo)

Breekbaarheid

Conditioneringseisen

Stapelbaarheid

Genest ja/nee

Omzet

Picklocatie

Leverancier

Aanvulfrequentie

]

Objecttype methode opdrachtsamenstelling

[attributen:

Breakgewicht

Breakvolume

Output sequence

LTS venster

Algoritme

]

Objecttype opdracht

[attributen:

Opdrachtnummer

Ophaalgebied

Laadstation

FCDO's

Begingang

Eindgang

Uiterste uitgiftetijd

Beschikbare tijd

]

Objecttype FCDO

[attributen:

Nummer

Producten

Locaties

Aantal colli

LTS-tijd

Bestemmingsstrek

]

Objecttype bestelling

[attributen:

Nummer

Filiaal

Orderregels

colli per orderregel

]

Objecttype pickmethode

[attributen:

Type

Sequentieel of parallel

Per order of per verzamelorder

Batchgewijs ja/nee

Zonepicking ja/nee

Scannend ja /nee

BT ja /nee

Looprichting

Eén of tweezijdig

Inhalen ja/nee

Aantal orderpickers

]

Objecttype orderpicker

[attributen:

Opleiding/training

Ervaring

Verantwoordelijkheid

Accuraatheid

Motivatie

Stopstrategie

Inzet over de dag

Specialisatie

Werkwijze

acties:

orderpicken met behulp van een bepaalde werkwijze

hinderen andere orderpickers

]

Objecttype BT

[attributen:

Snelheid recht

Snelheid bocht

Optrekweg

Remweg

Afmetingen

Capaciteit

]

Objecttype scanner

[attributen:

Tijd per scan

]

Objecttype aanvulmethode

[attributen:

Type

Aanvulfrequentie

Tijdstip (tijdens orderpicken ja/nee)

Aantal aanvullers

Primaire ladingdrager

Secundaire ladingdrager

Aanvulgangen ja/nee

Toewijzing bufferlocatie

]

Objecttype aanvuller

[attributen:

werkwijze

acties:

aanvullen

hinderen orderpickers

]

Objecttype reach-truck

[attributen:

Snelheid recht

Snelheid bocht

Optrekweg

Remweg

Breedte

Capaciteit

]

Objecttype bufferlocatie

[attributen:

Nummer

Locatie

Afmetingen

Capaciteit

]

Objecttype wijze van aanleveren

[attributen:

Leverancier

Product

Aanleverfrequentie

Primaire ladingdrager

Secundaire ladingdrager

Opbouw ladingdrager (palletpatroon)

Omvang ladingdrager (# stuks per ladingdrager)

Accuraatheid (% te laat of onjuist)

]

Bijlage 4: Bepalen aantal replicaties

Voor het bepalen van het aantal replicatie is gebruik gemaakt van de volgende formules (zie Sol e.a., 1999). Om de gewenste betrouwbaarheid te bepalen is gekeken naar het aantal colli per uur per orderpicker, de individuele productiviteit (x).

Het betrouwbaarheidsinterval μ rond de gemiddelde uitkomst: $\mu = [\bar{x} - h, \bar{x} + h]$

De schatting voor de verwachting: $\bar{x} = \sum_j \frac{x_j}{n}$

De variantie van het gemiddelde: $s^2(\bar{x}) = \sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$

De halfwaarde h : $h = t_{n-1, 1-\alpha/2} s(\bar{x})$

De variantie van de schatting: $s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{n}$

De waarde $t_{n-1, 1-\alpha/2}$ is verkregen uit de Student-t verdeling met $n-1$ vrijheidsgraden.

Invullen van bovenstaande formules voor drie replicaties met 40 orderpickers levert:

$$\bar{x} = 142$$

$$s^2(x) = 1$$

$$n = 3$$

$$s^2(\bar{x}) = 0,33$$

$$t_{2,975} = 4,30$$

$$h = 2,48$$

Met drie replicaties ligt de individuele productiviteit dus met 95% betrouwbaarheid binnen de gegeven waarde plus of min 2,48. Het aantal benodigde replicaties (n') om betrouwbaarheid $h'=2$ te kunnen halen kan vastgesteld worden met:

$$n' = \left\lceil n \left(\frac{h}{h'} \right)^2 \right\rceil$$

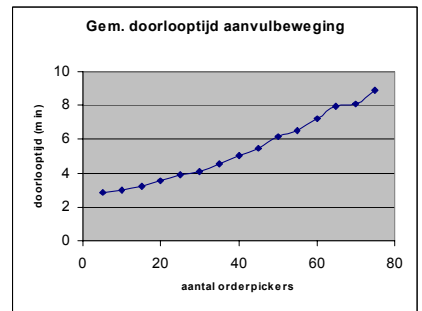
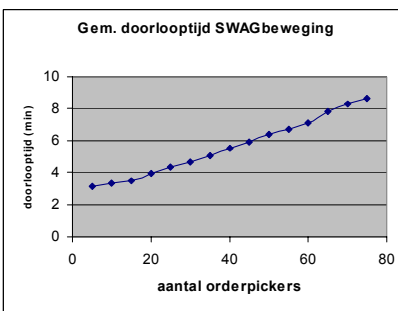
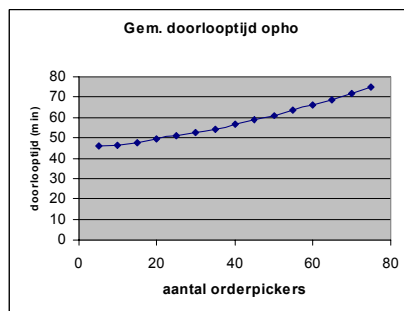
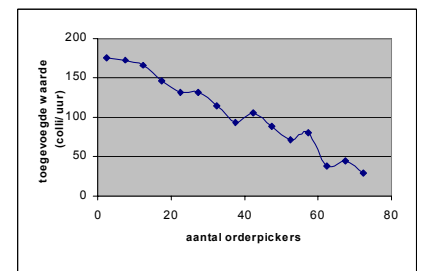
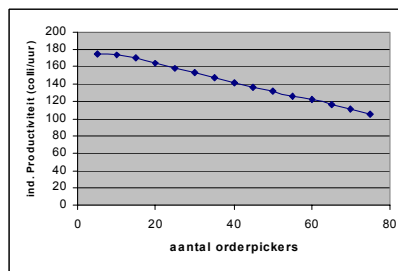
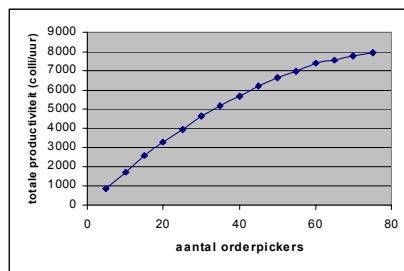
Invullen levert een waarde van 4,61 en dus 5 replicaties (naar boven afronden).

Bijlage 5: Modelresultaten

Experiment 1: Variëren aantal orderpickers

Gehele circuit:

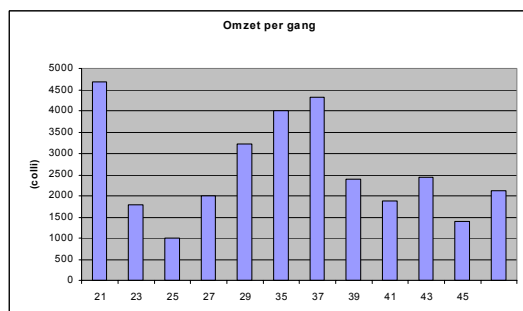
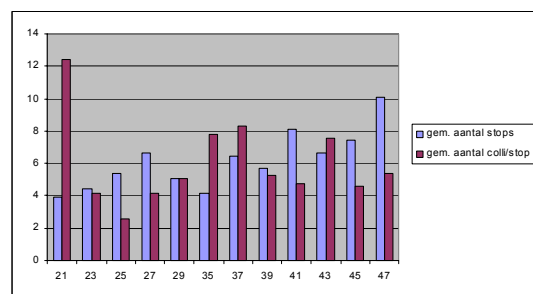
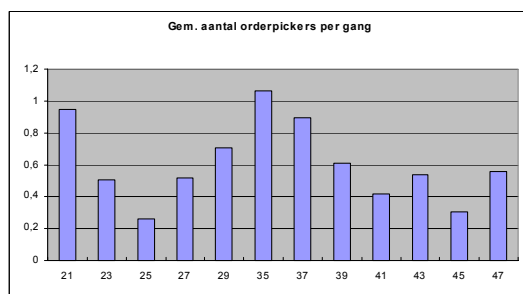
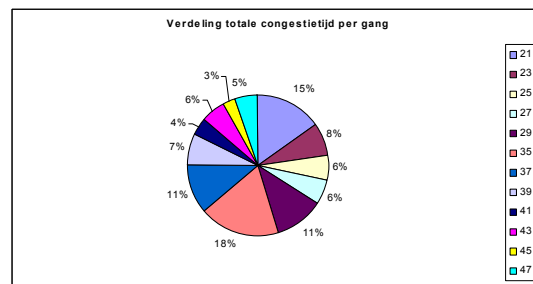
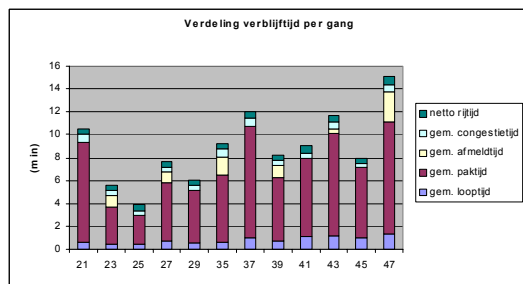
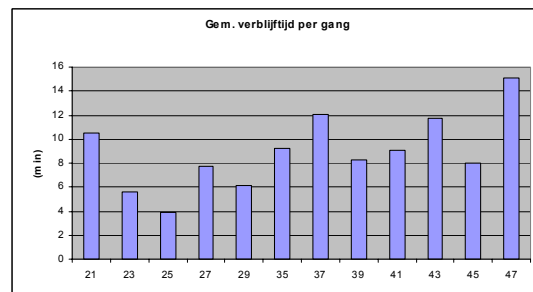
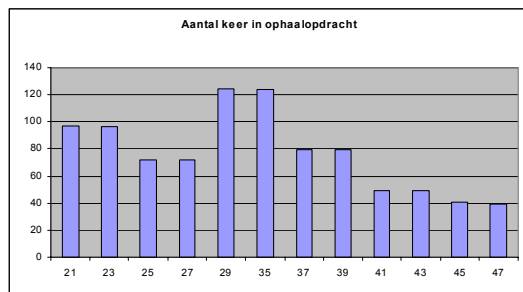
aantal orderpickers	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
omzet (colli)	15672	31226	46104	59285	71094	82994	93300	101673	111150	119081	125418	132639	136091	140070	142719
totale productiviteit (colli/uur)	874	1735	2563	3295	3951	4611	5184	5651	6177	6616	6972	7371	7564	7784	7931
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	174	173	170	164	158	153	148	141	137	132	126	122	116	111	105
aantal opdrachten gelopen	115	226	330	427	512	597	673	737	804	859	899	953	984	1007	1026
gem. doorlooptijd opdracht(min)	46,0	46,4	47,4	49,5	51,3	52,7	54,4	57,0	58,6	60,9	63,7	65,8	68,9	71,8	75,0
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	742	737	742	738	731	713	695	677	651	600	566	553
totale SWAGtijd(uur)	39,4	41,4	43,3	48,4	53,6	57,8	62,1	67,3	70,0	73,5	75,4	76,8	78,1	78,5	79,6
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,2	3,4	3,5	3,9	4,4	4,7	5,1	5,5	5,9	6,4	6,7	7,1	7,8	8,3	8,6
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	662	656	624	589	538	519	468	422	391	343	327	294	267	259	236
totale aanvultijd(uur)	31,7	32,4	33,4	34,7	35,3	35,4	35,2	35,4	35,2	35,4	35,2	35,1	35,3	35,0	34,6
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	2,9	3,0	3,2	3,5	3,9	4,1	4,5	5,1	5,4	6,2	6,5	7,2	8,0	8,1	8,9



Per gang, 10 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	97,4	10,5	0,6	8,7	0,0	0,8
23	96,6	5,6	0,4	3,3	1,0	0,4
25	72,2	3,9	0,5	2,5	0,0	0,4
27	72,0	7,7	0,8	5,0	1,0	0,4
29	124,4	6,1	0,5	4,7	0,0	0,5
35	123,8	9,2	0,7	5,8	1,6	0,7
37	79,8	12,0	1,0	9,7	0,0	0,7
39	79,6	8,3	0,8	5,4	1,1	0,5
41	49,2	9,0	1,1	6,9	0,0	0,4
43	49,0	11,7	1,1	9,0	0,4	0,6
45	40,8	8,0	1,0	6,2	0,0	0,4
47	39,0	15,1	1,3	9,8	2,6	0,7

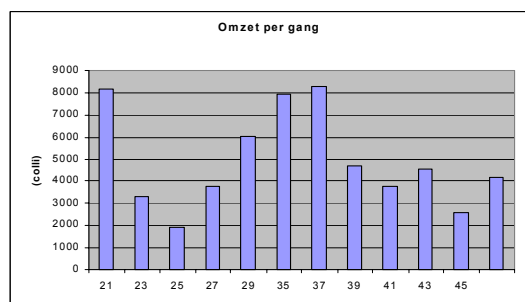
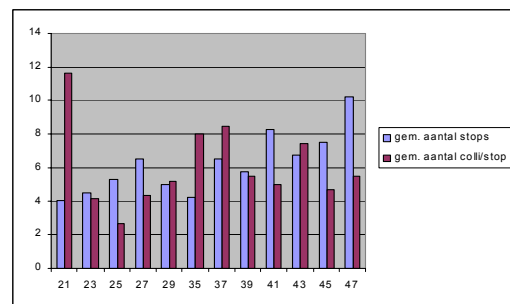
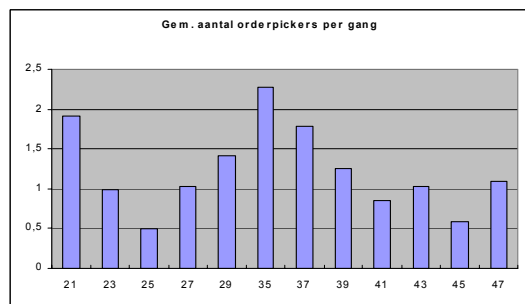
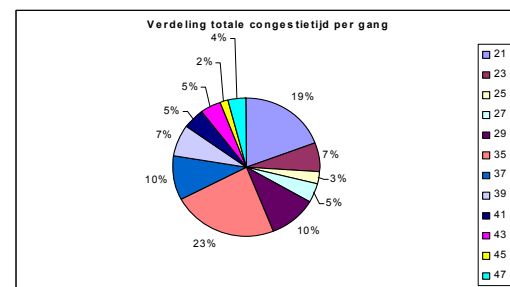
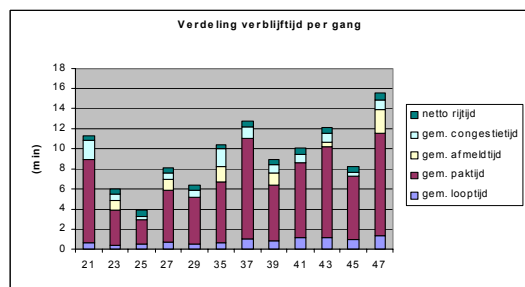
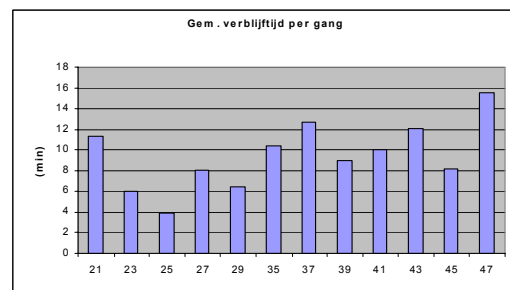
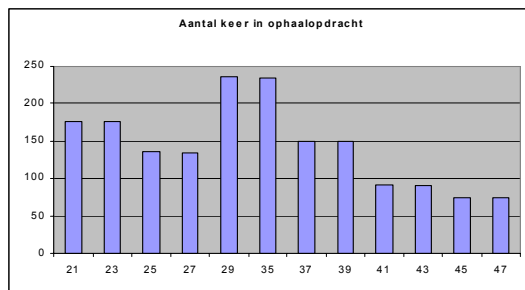
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	1,3	1,0	3,9	4690	12,4
23	0,5	0,6	0,5	4,4	1772	4,2
25	0,5	0,5	0,3	5,3	996	2,6
27	0,6	0,5	0,5	6,6	2003	4,2
29	0,5	0,9	0,7	5,1	3208	5,1
35	0,5	1,5	1,1	4,2	4011	7,8
37	0,5	1,0	0,9	6,5	4306	8,3
39	0,5	0,6	0,6	5,7	2401	5,3
41	0,6	0,3	0,4	8,1	1889	4,7
43	0,6	0,5	0,5	6,6	2443	7,5
45	0,5	0,2	0,3	7,4	1390	4,6
47	0,7	0,4	0,6	10,1	2118	5,4



20 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	176,6	11,3	0,6	8,4	0,0	1,9
23	176,0	6,0	0,5	3,4	1,0	0,7
25	136,2	3,8	0,5	2,5	0,0	0,3
27	134,8	8,1	0,8	5,1	1,1	0,6
29	235,2	6,4	0,5	4,6	0,0	0,8
35	234,0	10,5	0,7	6,1	1,5	1,7
37	150,4	12,7	1,0	10,0	0,0	1,2
39	149,6	9,0	0,8	5,7	1,1	0,9
41	91,2	10,1	1,1	7,5	0,0	0,9
43	90,6	12,1	1,2	9,0	0,4	0,9
45	74,6	8,2	1,0	6,3	0,0	0,4
47	74,2	15,6	1,4	10,2	2,4	0,9

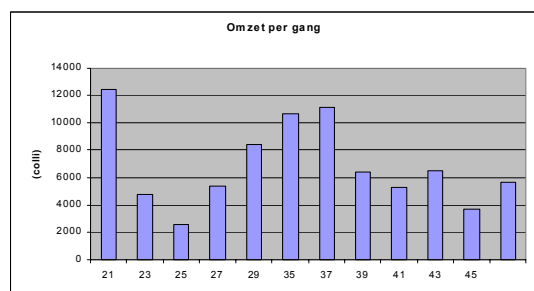
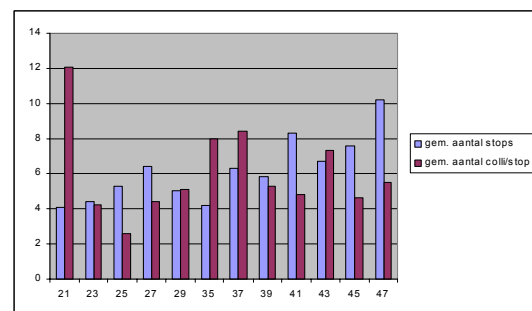
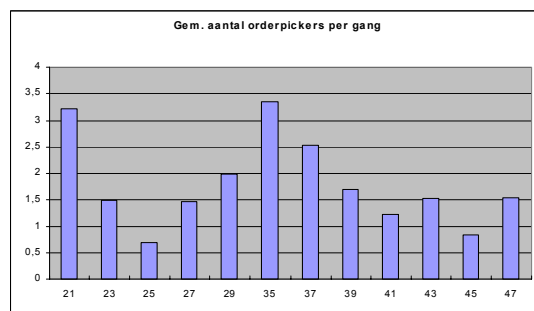
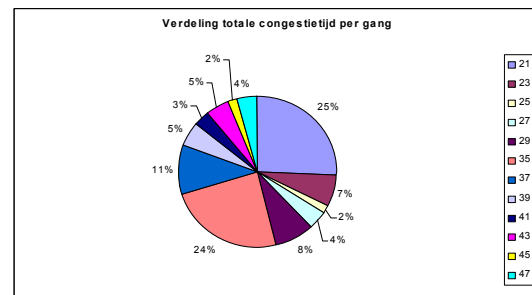
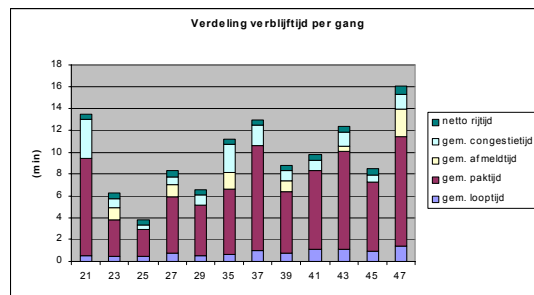
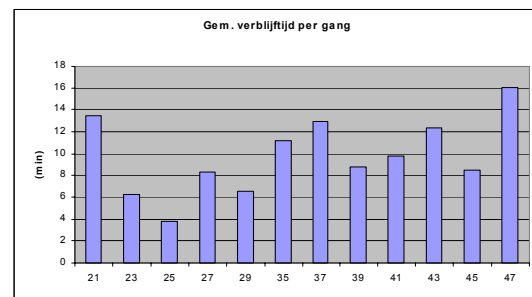
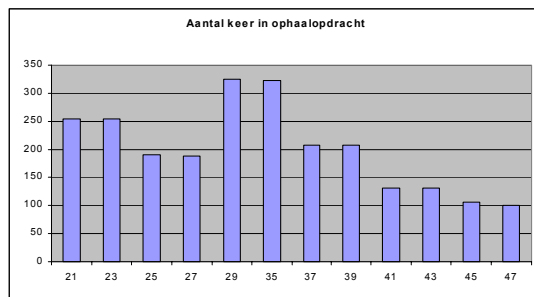
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	5,7	1,9	4,0	8199	11,6
23	0,5	2,0	1,0	4,5	3315	4,2
25	0,5	0,7	0,5	5,3	1895	2,6
27	0,6	1,4	1,0	6,5	3804	4,3
29	0,5	3,0	1,4	5,0	6032	5,2
35	0,5	6,8	2,3	4,2	7947	8,0
37	0,5	3,0	1,8	6,5	8303	8,5
39	0,5	2,2	1,2	5,7	4699	5,5
41	0,6	1,4	0,9	8,3	3772	5,0
43	0,6	1,3	1,0	6,7	4542	7,4
45	0,5	0,5	0,6	7,5	2605	4,7
47	0,7	1,2	1,1	10,2	4174	5,5



30 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	255,2	13,4	0,6	8,8	0,0	3,6
23	254,6	6,2	0,5	3,4	1,0	0,9
25	190,8	3,8	0,5	2,5	0,0	0,3
27	189,0	8,3	0,8	5,1	1,1	0,7
29	325,4	6,5	0,5	4,7	0,0	0,9
35	322,6	11,2	0,7	6,0	1,5	2,6
37	208,8	13,0	1,0	9,6	0,0	1,8
39	208,6	8,8	0,8	5,6	1,0	0,9
41	131,4	9,8	1,1	7,2	0,0	0,9
43	131,0	12,4	1,2	8,9	0,5	1,3
45	105,4	8,5	1,0	6,4	0,0	0,6
47	100,6	16,0	1,4	10,1	2,4	1,5

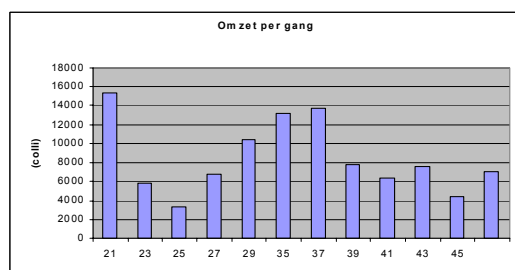
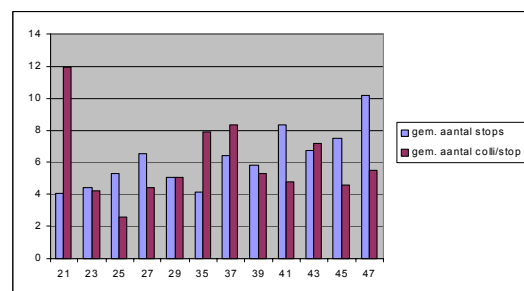
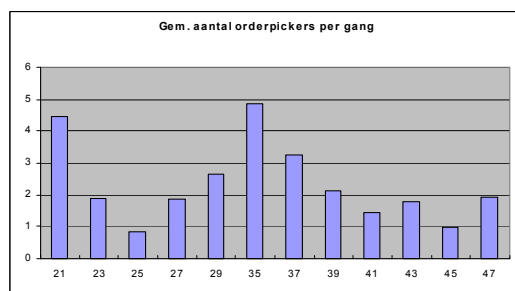
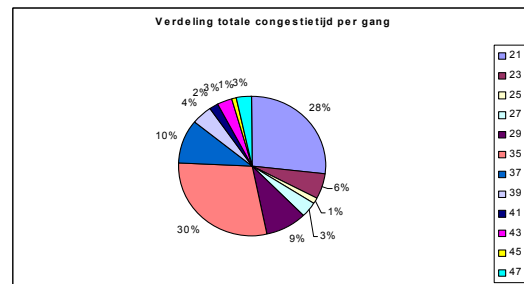
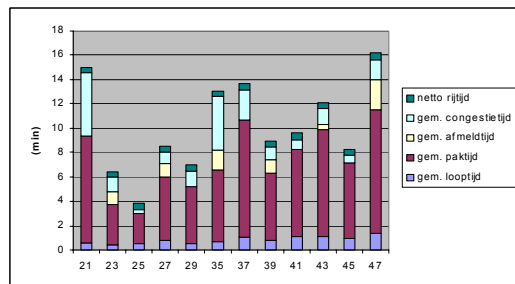
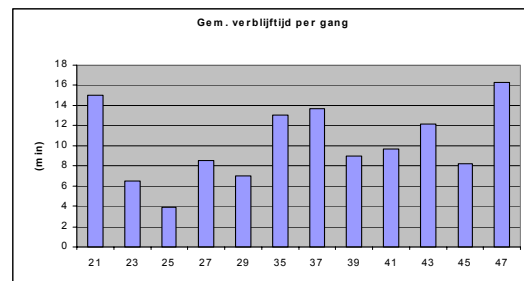
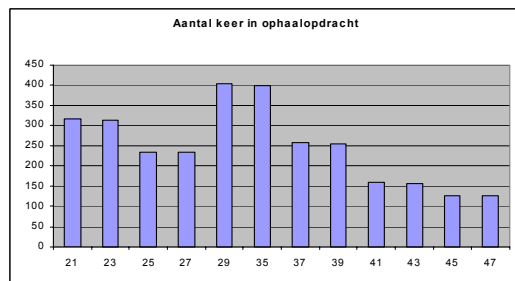
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	15,3	3,2	4,1	12483	12,0
23	0,5	3,9	1,5	4,4	4778	4,2
25	0,5	1,1	0,7	5,3	2598	2,6
27	0,6	2,3	1,5	6,4	5383	4,4
29	0,5	4,8	2,0	5,1	8387	5,1
35	0,5	14,0	3,4	4,2	10692	8,0
37	0,5	6,3	2,5	6,3	11150	8,4
39	0,5	3,2	1,7	5,8	6430	5,3
41	0,6	2,0	1,2	8,3	5275	4,8
43	0,6	2,8	1,5	6,7	6464	7,3
45	0,5	1,1	0,8	7,6	3717	4,7
47	0,7	2,4	1,6	10,2	5637	5,5



40 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	316,4	15,0	0,6	8,8	0,0	5,2
23	314,0	6,4	0,5	3,3	1,0	1,2
25	234,8	3,9	0,5	2,5	0,0	0,4
27	233,2	8,5	0,8	5,2	1,1	0,9
29	404,0	7,0	0,5	4,7	0,0	1,3
35	399,0	13,0	0,7	6,0	1,6	4,4
37	256,0	13,7	1,0	9,7	0,0	2,5
39	254,0	9,0	0,8	5,6	1,0	1,1
41	159,4	9,7	1,1	7,2	0,0	0,8
43	156,6	12,1	1,1	8,7	0,5	1,3
45	126,8	8,3	1,0	6,2	0,0	0,6
47	125,6	16,3	1,4	10,1	2,5	1,6

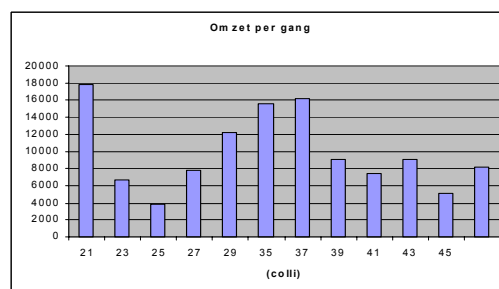
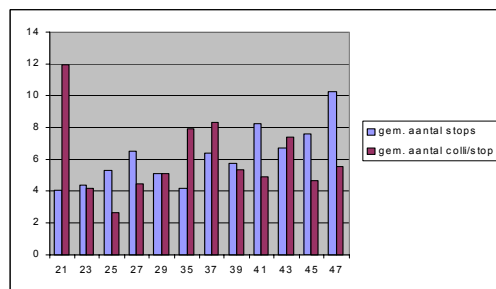
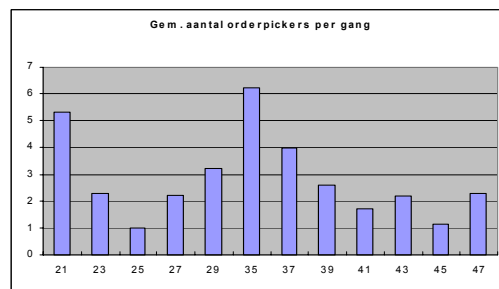
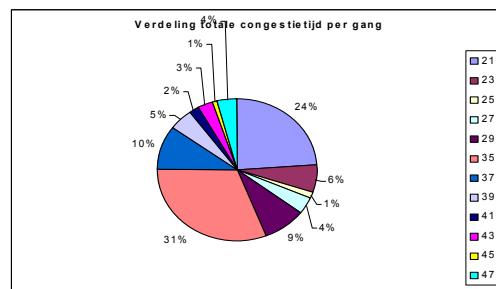
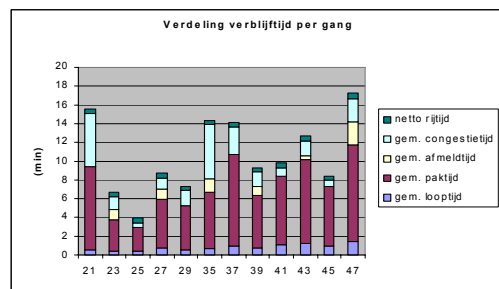
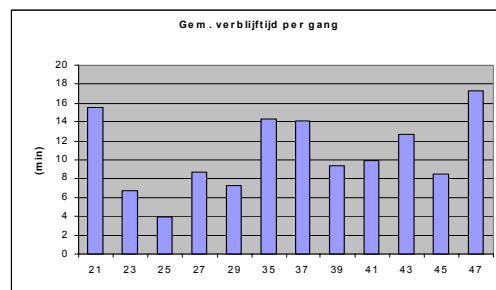
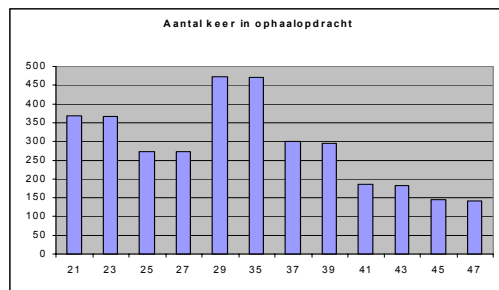
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	27,3	4,5	4,1	15369	11,9
23	0,5	6,1	1,9	4,4	5800	4,2
25	0,5	1,5	0,8	5,3	3240	2,6
27	0,6	3,6	1,9	6,6	6755	4,4
29	0,5	9,0	2,6	5,1	10429	5,1
35	0,5	29,5	4,9	4,2	13165	7,9
37	0,5	10,7	3,3	6,4	13697	8,3
39	0,5	4,4	2,1	5,8	7843	5,3
41	0,6	2,1	1,4	8,3	6360	4,8
43	0,6	3,3	1,8	6,7	7591	7,2
45	0,5	1,3	1,0	7,5	4366	4,6
47	0,7	3,3	1,9	10,2	7056	5,5



50 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	367,8	15,6	0,6	8,7	0,0	5,8
23	366,0	6,7	0,5	3,3	1,0	1,5
25	274,4	4,0	0,5	2,5	0,0	0,5
27	273,4	8,7	0,8	5,2	1,1	1,2
29	472,8	7,3	0,5	4,7	0,0	1,7
35	468,6	14,3	0,7	6,0	1,5	5,7
37	301,8	14,1	1,0	9,6	0,0	3,0
39	296,0	9,3	0,8	5,6	1,0	1,4
41	185,8	9,9	1,1	7,3	0,0	0,9
43	181,8	12,7	1,2	9,0	0,5	1,5
45	145,4	8,5	1,0	6,4	0,0	0,6
47	143,0	17,3	1,4	10,3	2,5	2,5

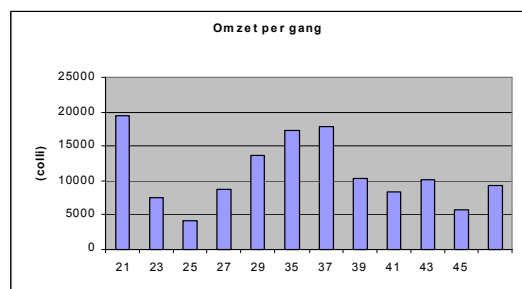
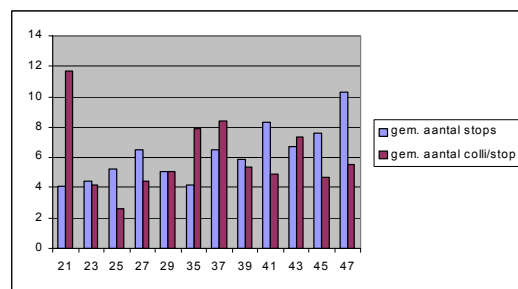
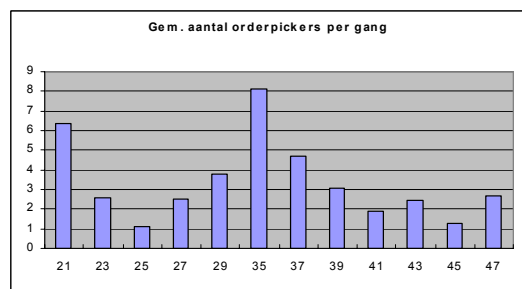
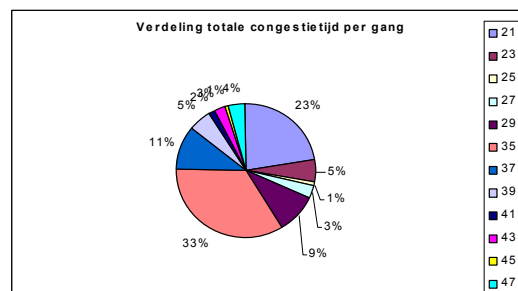
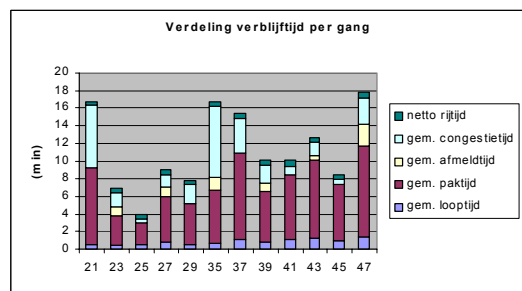
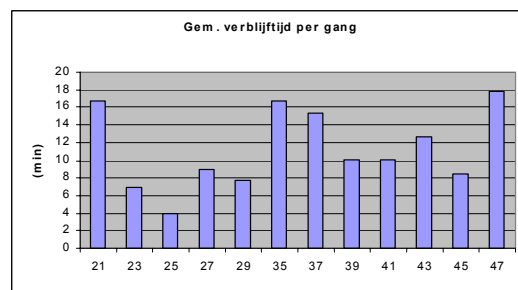
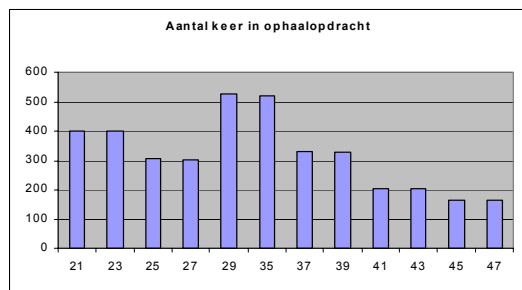
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	35,4	5,3	4,1	17843	11,9
23	0,5	8,8	2,3	4,4	6715	4,2
25	0,5	2,1	1,0	5,3	3809	2,6
27	0,6	5,4	2,2	6,5	7841	4,4
29	0,5	13,0	3,2	5,1	12229	5,1
35	0,5	44,8	6,2	4,2	15516	7,9
37	0,5	14,9	4,0	6,4	16137	8,4
39	0,5	7,1	2,6	5,8	9129	5,4
41	0,6	2,9	1,7	8,2	7478	4,9
43	0,6	4,5	2,2	6,7	9084	7,4
45	0,5	1,5	1,1	7,6	5125	4,6
47	0,7	5,9	2,3	10,3	8175	5,6



60 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	401,4	16,7	0,6	8,7	0,0	7,0
23	399,4	6,9	0,5	3,4	1,0	1,6
25	304,2	3,9	0,5	2,5	0,0	0,4
27	301,4	8,9	0,8	5,2	1,1	1,3
29	526,8	7,8	0,5	4,7	0,0	2,1
35	518,2	16,7	0,7	6,0	1,5	8,1
37	329,6	15,4	1,0	9,8	0,0	4,0
39	328,2	10,1	0,8	5,7	1,1	2,0
41	205,2	10,0	1,1	7,4	0,0	1,0
43	204,6	12,7	1,2	9,0	0,5	1,5
45	165,2	8,5	1,0	6,3	0,0	0,6
47	163,4	17,8	1,4	10,3	2,5	3,0

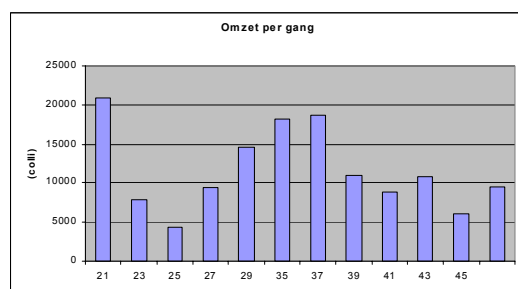
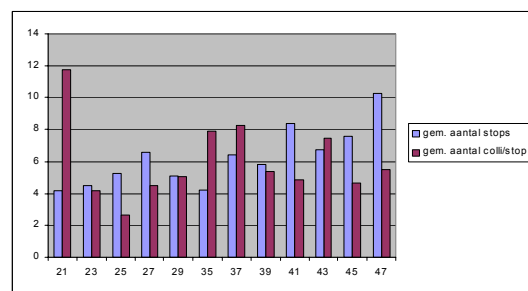
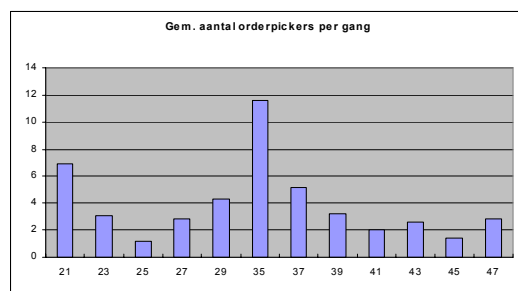
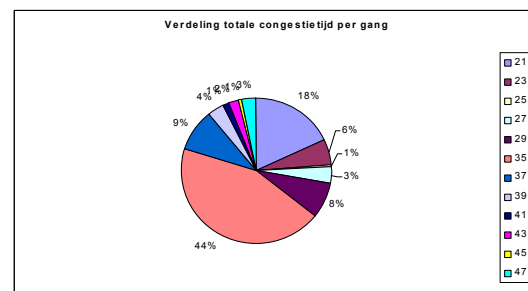
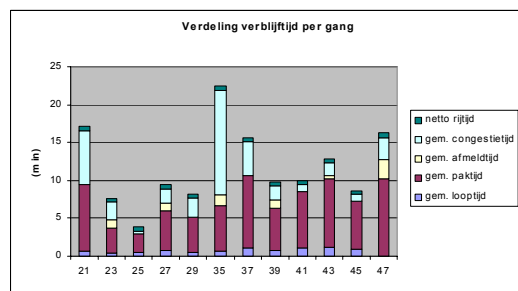
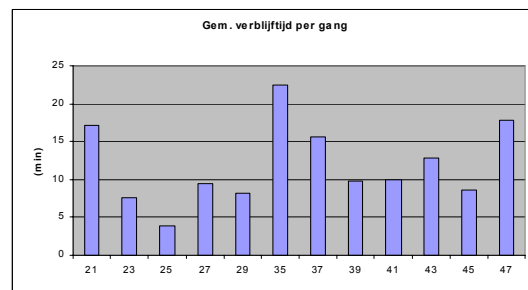
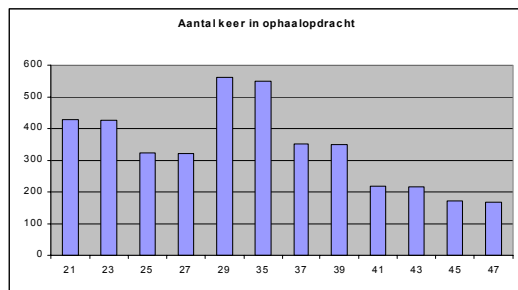
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	46,6	6,3	4,1	19383	11,7
23	0,5	10,6	2,6	4,5	7443	4,2
25	0,5	2,0	1,1	5,3	4215	2,6
27	0,6	6,6	2,5	6,5	8738	4,4
29	0,5	18,4	3,8	5,1	13629	5,1
35	0,5	69,8	8,1	4,2	17288	7,9
37	0,5	22,0	4,7	6,5	17909	8,4
39	0,5	11,0	3,1	5,9	10384	5,4
41	0,6	3,3	1,9	8,3	8384	4,9
43	0,6	5,1	2,4	6,8	10166	7,4
45	0,5	1,8	1,3	7,6	5811	4,6
47	0,7	8,0	2,7	10,3	9287	5,5



70 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	427,6	17,1	0,6	8,8	0,0	7,3
23	424,4	7,6	0,5	3,3	1,0	2,3
25	324,0	3,9	0,5	2,5	0,0	0,4
27	321,4	9,4	0,8	5,2	1,1	1,8
29	561,8	8,2	0,5	4,7	0,0	2,5
35	548,4	22,4	0,6	6,0	1,5	13,8
37	351,2	15,7	1,0	9,6	0,0	4,6
39	346,8	9,8	0,8	5,6	1,0	1,9
41	218,4	10,0	1,1	7,4	0,0	1,0
43	215,6	12,9	1,2	9,0	0,5	1,7
45	171,4	8,7	1,0	6,4	0,0	0,8
47	168,4	17,8	1,4	10,2	2,5	3,0

gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	52,0	6,9	4,2	20835	11,7
23	0,5	16,6	3,0	4,4	7809	4,1
25	0,5	2,1	1,2	5,2	4434	2,6
27	0,6	9,5	2,8	6,5	9356	4,5
29	0,5	23,4	4,3	5,1	14555	5,1
35	0,5	126,3	11,6	4,2	18212	7,9
37	0,5	27,0	5,1	6,4	18648	8,3
39	0,5	10,8	3,2	5,8	10893	5,4
41	0,6	3,6	2,0	8,4	8899	4,9
43	0,6	6,2	2,6	6,7	10807	7,4
45	0,5	2,4	1,4	7,6	6073	4,7
47	0,7	8,5	2,8	10,3	9549	5,5



Experiment 2: Veranderen paktijd per collo

Gehele circuit:

30 orderpickers:

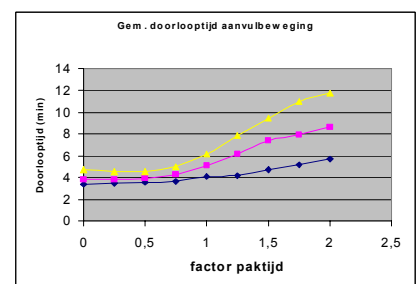
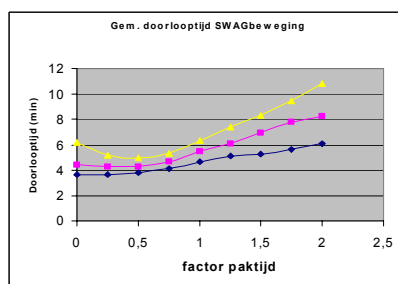
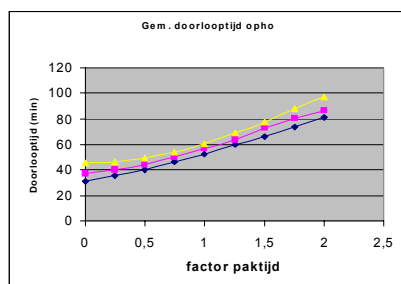
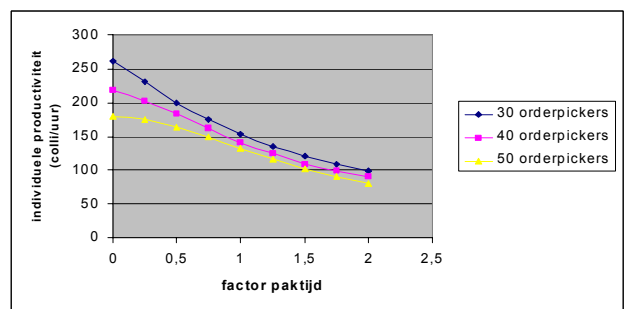
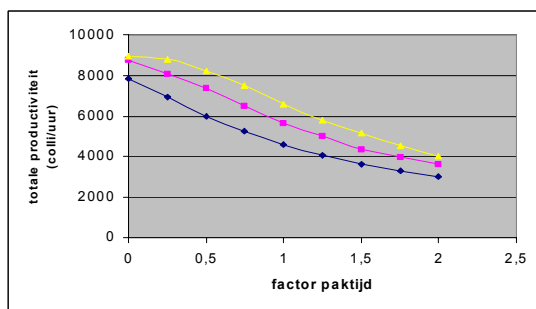
factor paktijd	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
omzet (colli)	141089	124870	107903	94765	82994	72962	65122	59509	53921
totale productiviteit (colli/uur)	7839	6939	5996	5267	4611	4055	3620	3307	2999
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	261	231	199	175	153	135	120	110	99
aantal opdrachten gelopen	1017	899	783	686	597	526	468	426	380
gem. doorlooptijd opdracht(min)	31,4	35,5	40,5	46,1	52,7	59,7	65,8	73,4	81,1
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	742	742	731	721	708	698
totale SWAGtijd(uur)	45,7	45,8	46,9	50,7	57,8	62,1	63,2	66,9	71,2
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,7	3,7	3,8	4,1	4,7	5,1	5,3	5,7	6,1
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	599	590	584	568	519	505	447	410	376
totale aanvultijd(uur)	34,0	34,0	34,4	34,8	35,4	35,4	35,1	35,4	35,3
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,4	3,5	3,5	3,7	4,1	4,2	4,7	5,2	5,7

40 orderpickers:

factor paktijd	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
omzet (colli)	157515	145623	133010	116768	101673	90378	78786	71364	65456
totale productiviteit (colli/uur)	8752	8091	7391	6488	5651	5022	4378	3966	3638
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	218	202	184	162	141	125	109	99	90
aantal opdrachten gelopen	1137	1050	961	844	737	651	571	513	470
gem. doorlooptijd opdracht(min)	37,4	40,3	44,1	49,8	57,0	63,9	72,8	80,3	86,4
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	741	742	742	741	731	696	652	599	592
totale SWAGtijd(uur)	54,7	52,5	53,0	57,8	67,3	70,9	75,1	78,0	81,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	4,4	4,2	4,3	4,7	5,5	6,1	6,9	7,8	8,3
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	547	555	544	497	422	345	286	263	243
totale aanvultijd(uur)	35,4	35,3	35,4	35,3	35,4	35,4	35,1	34,6	35,1
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,9	3,8	3,9	4,3	5,1	6,2	7,4	7,9	8,7

50 orderpickers:

factor paktijd	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
omzet (colli)	161351	158475	148206	135037	119081	104547	92572	81452	72740
totale productiviteit (colli/uur)	8966	8805	8236	7504	6616	5809	5145	4525	4042
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	179	175	164	149	132	116	102	90	80
aantal opdrachten gelopen	1162	1142	1071	976	859	756	664	583	521
gem. doorlooptijd opdracht(min)	45,5	46,3	49,1	53,9	60,9	68,8	77,7	87,9	97,4
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	641	713	726	727	695	634	586	541	504
totale SWAGtijd(uur)	66,2	62,1	60,4	65,3	73,5	78,3	81,6	85,6	90,8
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	6,2	5,2	5,0	5,4	6,4	7,4	8,4	9,5	10,8
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	444	470	472	423	343	267	224	192	180
totale aanvultijd(uur)	35,2	35,4	35,4	35,4	35,2	34,9	35,1	34,9	34,9
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	4,8	4,5	4,5	5,0	6,2	7,8	9,5	10,9	11,8

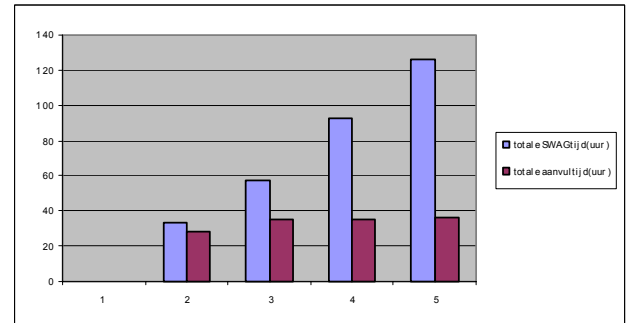
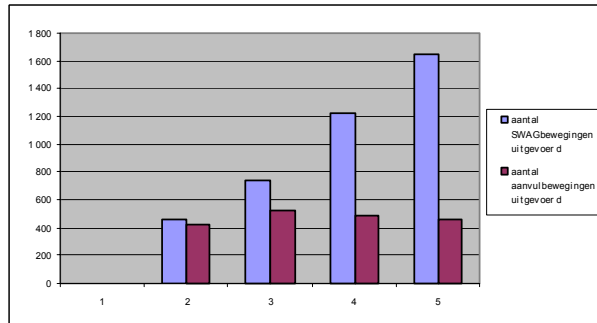
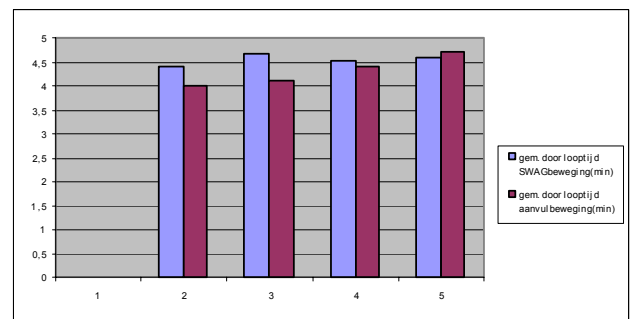
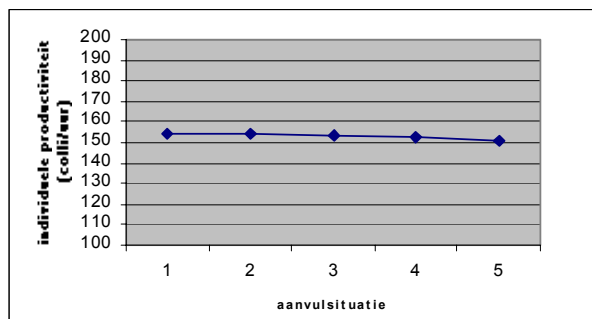


Experiment 3: Veranderen aantal aanvulbewegingen

Gehele circuit:

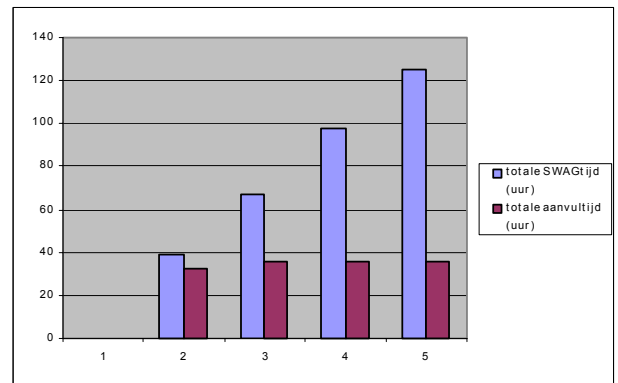
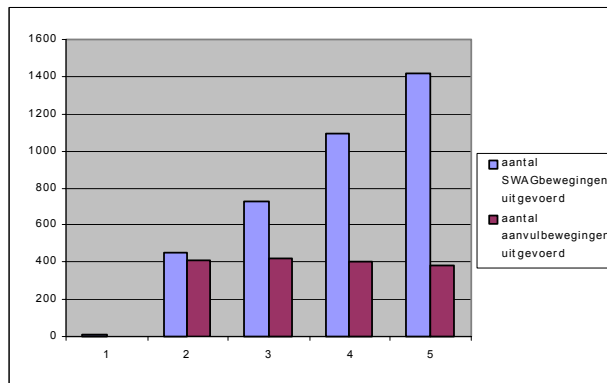
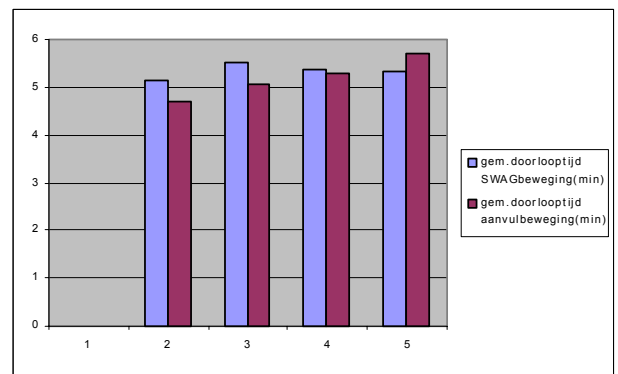
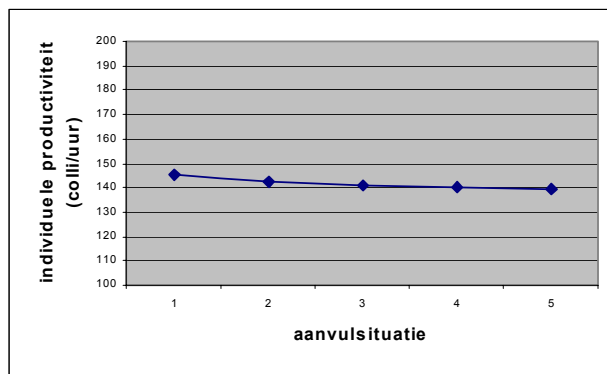
30 orderpickers:

aanvulsituatie	1	2	3	4	5
omzet (colli)	83604	83864	82994	82617	81639
totale productiviteit (colli/uur)	4646	4660	4611	4592	4537
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	154	155	153	153	151
aantal opdrachten gelopen	602	604	597	593	585
gem. doorlooptijd opdracht(min)	52,3	52,1	52,7	52,9	53,5
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	5	459	742	1228	1642
totale SWAGtijd(uur)	0,3	33,6	57,8	92,5	125,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	0,0	4,4	4,7	4,5	4,6
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	0	423	519	485	458
totale aanvuittijd(uur)	0,0	28,1	35,4	35,7	35,9
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	0,0	4,0	4,1	4,4	4,7



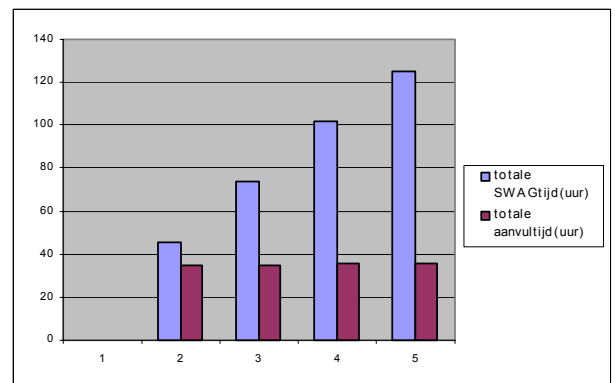
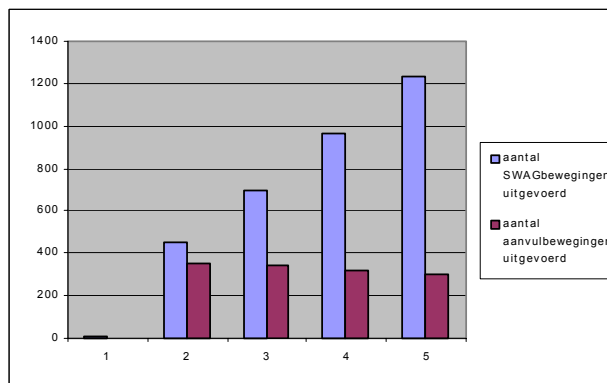
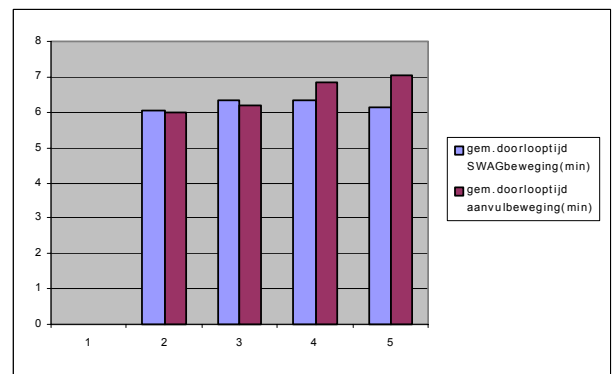
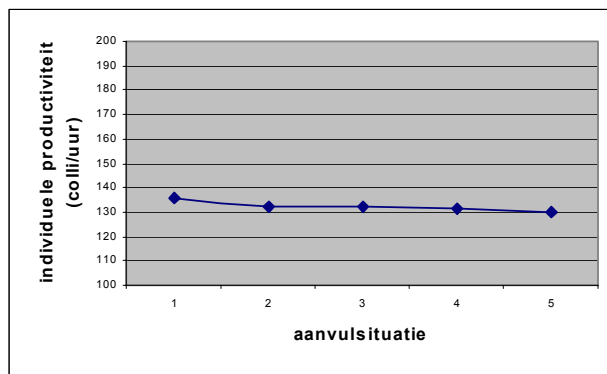
40 orderpickers:

aanvulsituatie	1	2	3	4	5
omzet (colli)	104841	103014	101673	101265	100669
totale productiviteit (colli/uur)	5826	5724	5651	5628	5593
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	145	143	141	140	139
aantal opdrachten gelopen	759	745	737	735	729
gem. doorlooptijd opdracht(min)	55,3	56,1	57,0	57,2	57,7
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	5	455	731	1093	1416
totale SWAGtijd(uur)	0,3	39,1	67,3	97,6	125,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	0,0	5,2	5,5	5,4	5,3
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	0	411	422	405	379
totale aanvultijd(uur)	0,0	32,3	35,4	35,6	35,9
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	0,0	4,7	5,1	5,3	5,7



50 orderpickers:

aanvulsituatie	1	2	3	4	5
omzet (colli)	122737	119210	119081	118722	117002
totale productiviteit (colli/uur)	6820	6624	6616	6596	6502
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	136	132	132	132	130
aantal opdrachten gelopen	881	862	859	858	847
gem. doorlooptijd opdracht(min)	59,1	60,6	60,9	61,0	61,8
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	5	454	695	965	1231
totale SWAGtijd(uur)	0,3	45,7	73,5	101,6	125,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	0,0	6,0	6,4	6,3	6,1
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	0	353	343	315	306
totale aanvultijd(uur)	0,0	35,0	35,2	35,6	35,8
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	0,0	6,0	6,2	6,8	7,1



Experiment 4: Veranderen aanvultijd pallet*Gehele circuit:**30 orderpickers:*

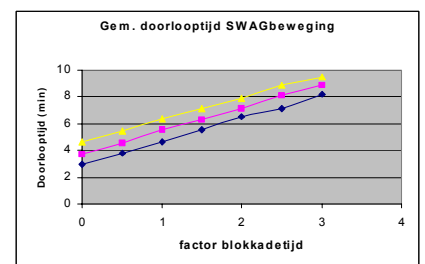
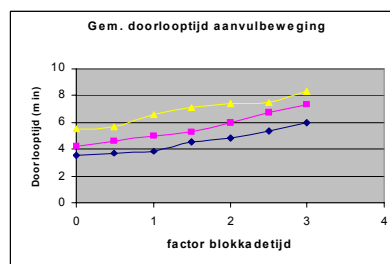
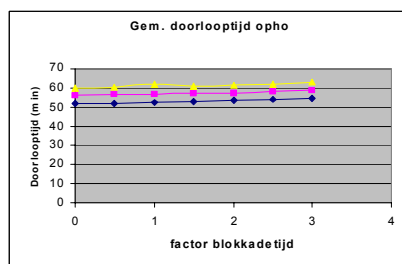
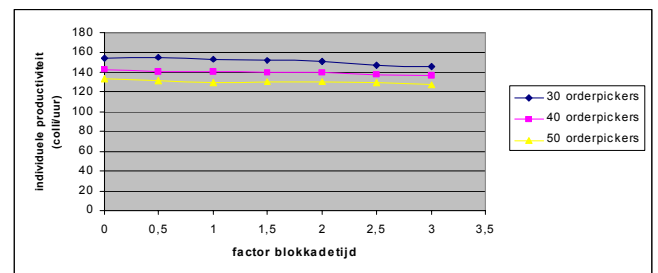
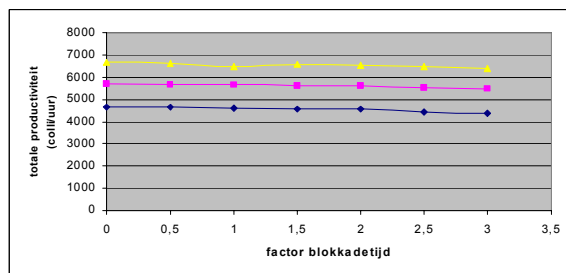
blokkadefactor	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
omzet (colli)	83784	83998	82996	82491	81851	79827	79001
totale productiviteit (colli/uur)	4656	4667	4613	4583	4549	4436	4390
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	155	155	153	152	151	147	146
aantal opdrachten gelopen	605	605	596	592	585	576	570
gem. doorlooptijd opdracht(min)	52,2	52,2	52,7	52,9	53,3	54,3	54,9
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	741	736	706	675	622
totale SWAGtijd(uur)	36,6	46,5	57,0	67,5	76,9	80,5	84,6
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,0	3,8	4,6	5,5	6,5	7,2	8,2
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	588	574	550	466	438	393	356
totale aanvultijd(uur)	34,9	35,2	35,4	35,4	35,3	35,3	35,4
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,6	3,7	3,9	4,6	4,8	5,4	6,0

40 orderpickers:

blokkadefactor	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
omzet (colli)	103171	102018	101860	101394	101023	99920	98581
totale productiviteit (colli/uur)	5733	5670	5661	5636	5615	5553	5478
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	143	141	141	140	140	138	136
aantal opdrachten gelopen	748	742	739	735	730	720	709
gem. doorlooptijd opdracht(min)	56,0	56,7	56,8	57,1	57,5	58,2	59,1
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	739	733	703	669	612	586
totale SWAGtijd(uur)	46,0	56,4	67,6	73,8	79,1	82,8	86,6
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,7	4,6	5,5	6,3	7,1	8,1	8,9
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	499	459	428	402	356	317	288
totale aanvultijd(uur)	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	4,3	4,6	5,0	5,3	6,0	6,7	7,4

50 orderpickers:

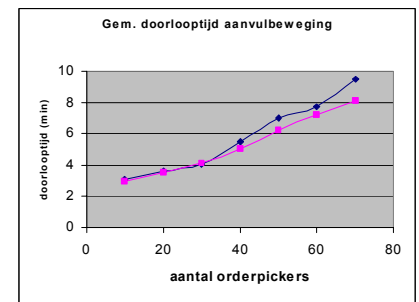
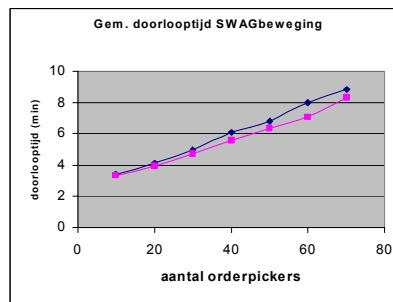
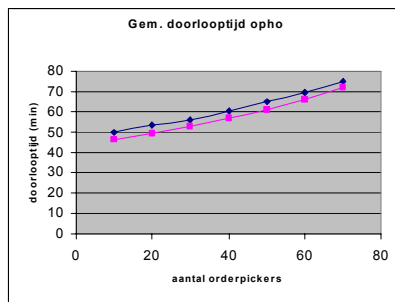
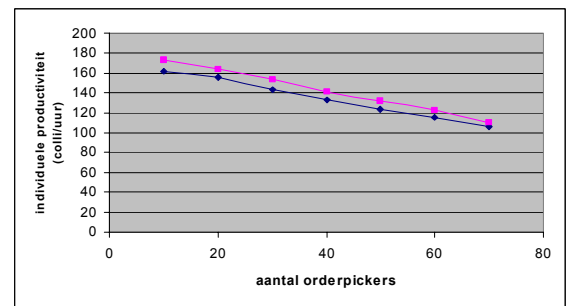
blokkadefactor	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
omzet (colli)	120370	119167	117193	118373	117541	116971	114943
totale productiviteit (colli/uur)	6689	6621	6513	6576	6531	6500	6387
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	133	132	130	131	130	129	127
aantal opdrachten gelopen	869	862	848	855	848	844	829
gem. doorlooptijd opdracht(min)	60,1	60,7	61,8	61,2	61,6	61,9	63,0
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	729	718	701	665	625	579	557
totale SWAGtijd(uur)	55,9	65,3	74,2	79,1	82,3	85,5	88,1
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	4,6	5,5	6,4	7,1	7,9	8,9	9,5
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	387	374	324	297	285	281	254
totale aanvultijd(uur)	35,4	35,3	35,5	35,3	35,3	35,3	35,2
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	5,5	5,7	6,6	7,1	7,4	7,5	8,3



Experiment 5: Specificeren paktijd

Gehele circuit:

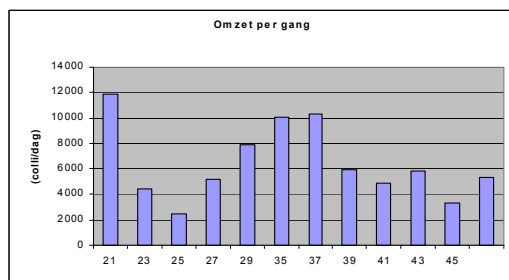
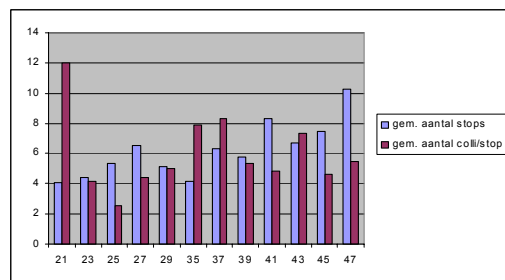
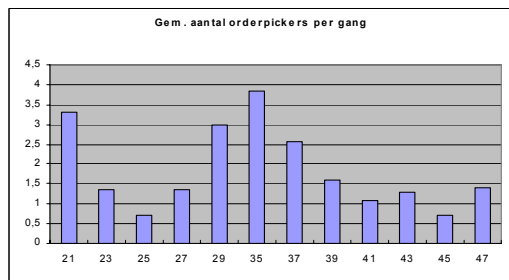
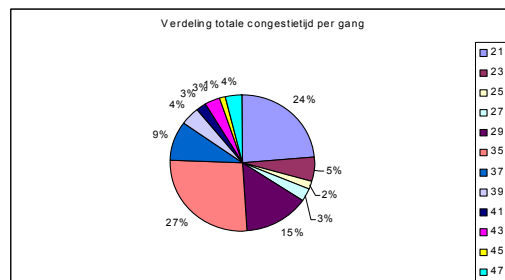
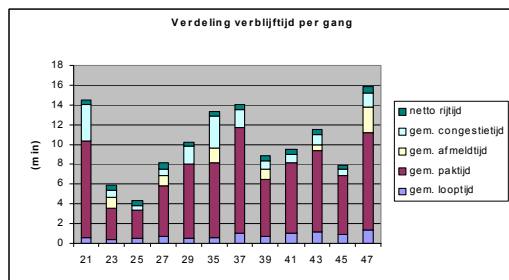
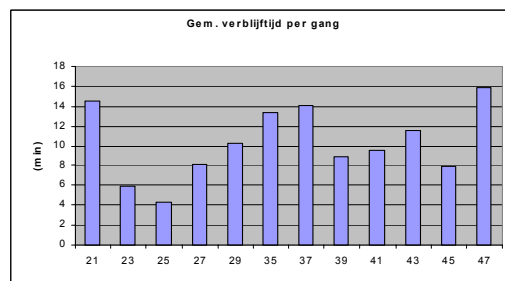
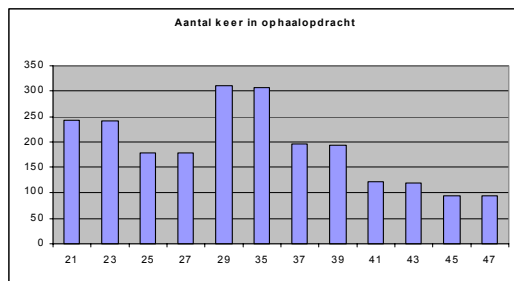
aantal orderpickers	10	20	30	40	50	60	70
omzet (colli)	29266	56030	77545	95727	111614	125249	134465
totale productiviteit (colli/uur)	1627	3115	4309	5320	6203	6960	7471
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	162	155	143	133	124	116	106
aantal opdrachten gelopen	211	397	565	689	806	897	967
gem. doorlooptijd opdracht(min)	49,8	53,2	55,9	60,6	64,7	69,5	75,1
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	738	695	658	582	544
totale SWAGtijd(uur)	41,9	50,7	61,1	70,3	74,6	77,0	79,9
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,4	4,1	5,0	6,1	6,8	7,9	8,8
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	645	582	523	390	304	273	222
totale aanvultijd(uur)	32,8	34,6	35,4	35,3	35,3	35,2	35,0
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,1	3,6	4,1	5,5	7,0	7,7	9,5



Per gang, 30 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	242,8	14,5	0,6	9,8	0,0	3,7
23	241,6	5,9	0,5	3,1	1,0	0,8
25	180,0	4,3	0,5	2,9	0,0	0,4
27	179,0	8,1	0,8	5,1	1,1	0,6
29	310,0	10,3	0,5	7,5	0,0	1,8
35	307,2	13,4	0,6	7,5	1,5	3,3
37	195,0	14,1	1,0	10,8	0,0	1,8
39	193,0	8,8	0,8	5,7	1,1	0,8
41	120,8	9,6	1,1	7,1	0,0	0,8
43	119,2	11,5	1,2	8,3	0,5	1,0
45	95,6	8,0	1,0	6,0	0,0	0,6
47	94,4	15,9	1,4	9,8	2,5	1,5

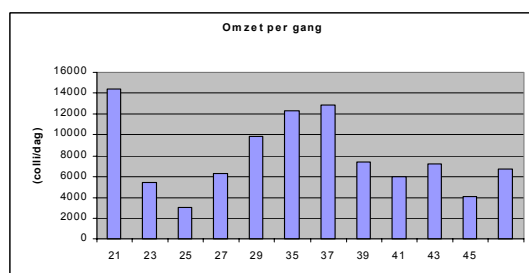
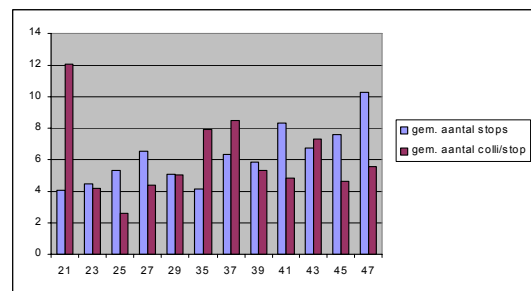
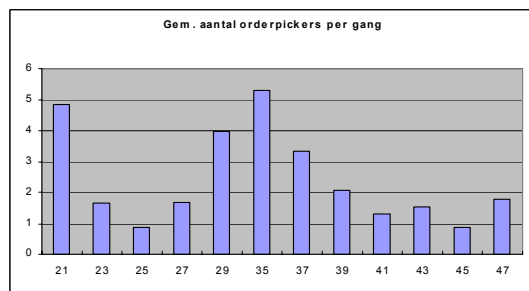
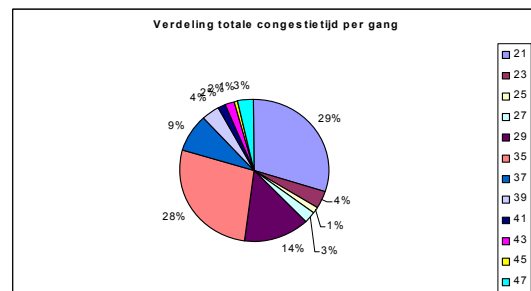
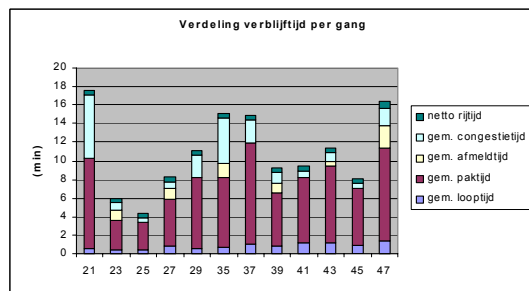
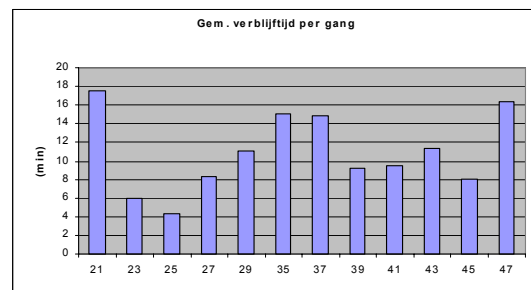
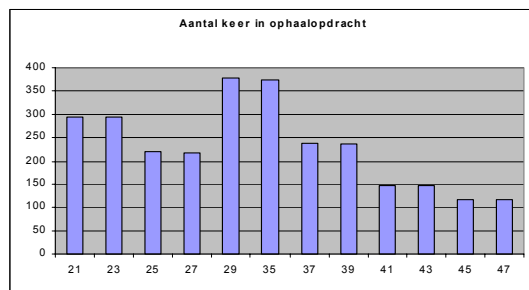
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	15,1	3,3	4,1	11861	12,0
23	0,5	3,4	1,3	4,4	4445	4,2
25	0,5	1,2	0,7	5,3	2471	2,6
27	0,6	1,9	1,4	6,5	5189	4,4
29	0,5	9,1	3,0	5,1	7925	5,0
35	0,5	16,9	3,8	4,1	10032	7,9
37	0,5	5,9	2,6	6,3	10298	8,3
39	0,5	2,6	1,6	5,8	5896	5,3
41	0,6	1,6	1,1	8,3	4894	4,9
43	0,6	2,0	1,3	6,7	5883	7,3
45	0,5	0,9	0,7	7,5	3318	4,6
47	0,7	2,3	1,4	10,3	5333	5,5



40 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	295,8	17,5	0,6	9,7	0,0	6,8
23	293,6	6,0	0,5	3,2	1,0	0,8
25	219,4	4,4	0,5	2,9	0,0	0,4
27	217,2	8,3	0,8	5,1	1,1	0,8
29	379,2	11,1	0,5	7,6	0,0	2,5
35	374,4	15,0	0,7	7,5	1,5	4,9
37	239,0	14,9	1,0	11,0	0,0	2,4
39	237,2	9,3	0,8	5,8	1,0	1,1
41	147,8	9,5	1,1	7,1	0,0	0,7
43	146,4	11,4	1,2	8,3	0,5	0,9
45	118,0	8,1	1,0	6,0	0,0	0,6
47	116,4	16,4	1,4	10,0	2,5	1,9

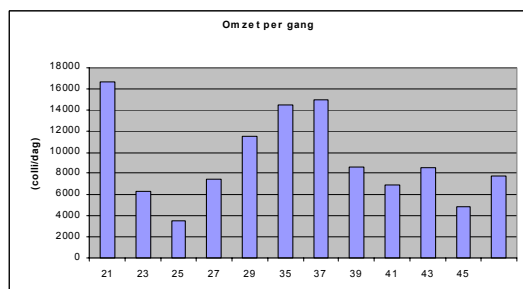
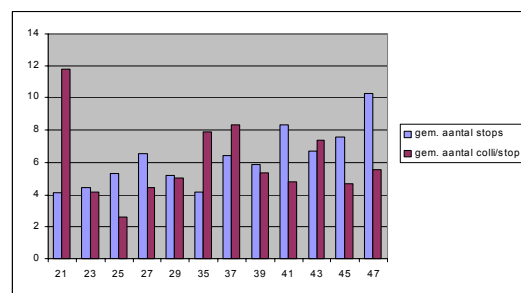
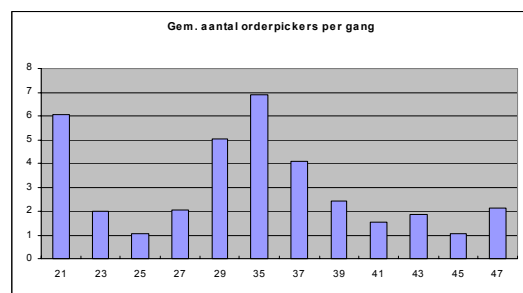
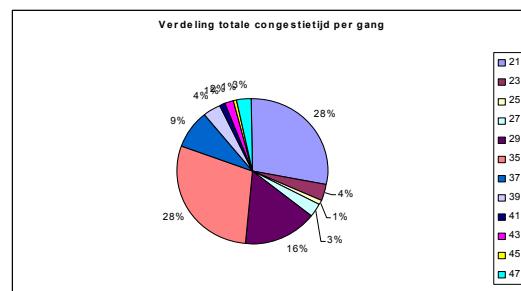
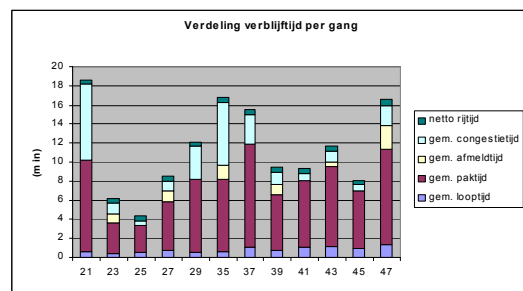
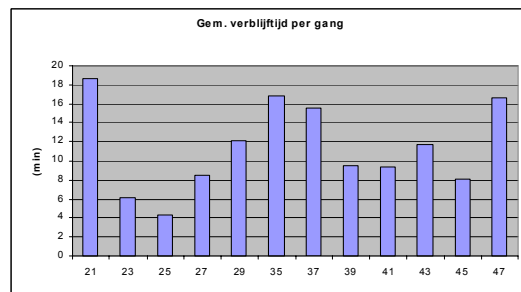
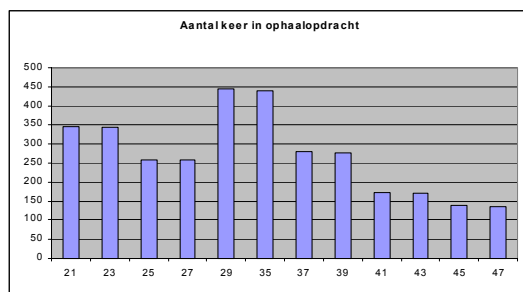
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	33,3	4,8	4,1	14483	12,0
23	0,5	4,1	1,6	4,5	5472	4,2
25	0,5	1,5	0,9	5,3	3046	2,6
27	0,6	2,8	1,7	6,6	6311	4,4
29	0,5	15,7	3,9	5,1	9809	5,1
35	0,5	30,6	5,3	4,2	12336	7,9
37	0,5	9,6	3,3	6,4	12836	8,5
39	0,5	4,5	2,1	5,9	7408	5,3
41	0,6	1,7	1,3	8,4	6000	4,9
43	0,6	2,2	1,6	6,8	7241	7,3
45	0,5	1,1	0,9	7,6	4114	4,6
47	0,7	3,6	1,8	10,3	6669	5,6



50 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	344,8	18,6	0,6	9,6	0,0	8,0
23	343,2	6,2	0,5	3,2	1,0	1,1
25	258,6	4,3	0,5	2,9	0,0	0,4
27	256,8	8,5	0,8	5,1	1,1	1,0
29	443,8	12,1	0,5	7,7	0,0	3,5
35	438,2	16,8	0,6	7,6	1,5	6,6
37	279,0	15,5	1,0	10,9	0,0	3,1
39	276,4	9,4	0,8	5,8	1,0	1,3
41	172,8	9,4	1,1	7,0	0,0	0,7
43	171,4	11,7	1,2	8,4	0,5	1,1
45	138,0	8,1	1,0	6,1	0,0	0,6
47	136,0	16,6	1,4	10,0	2,5	2,2

gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	45,8	6,0	4,1	16661	11,8
23	0,5	6,2	2,0	4,4	6365	4,2
25	0,5	1,8	1,0	5,3	3551	2,6
27	0,6	4,3	2,0	6,6	7463	4,4
29	0,5	25,6	5,0	5,1	11486	5,0
35	0,5	48,2	6,9	4,2	14480	7,9
37	0,5	14,3	4,1	6,4	14928	8,3
39	0,5	6,1	2,4	5,8	8626	5,3
41	0,6	2,1	1,5	8,3	6903	4,8
43	0,6	3,2	1,9	6,7	8511	7,4
45	0,5	1,4	1,0	7,6	4839	4,6
47	0,7	4,9	2,1	10,3	7802	5,6



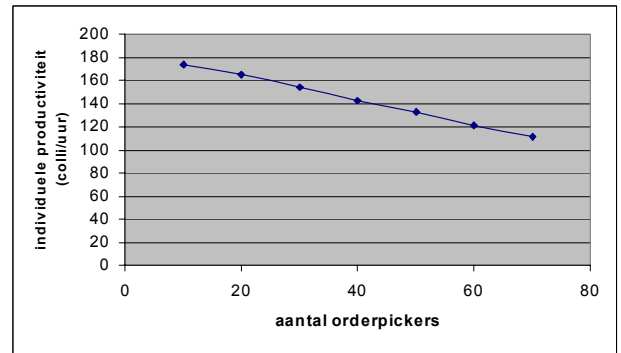
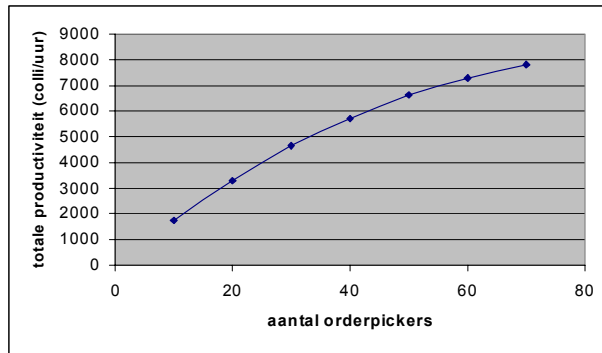
Experiment 6: Veranderen uitgiftestrategie

Gehele circuit:

Zonder invoering van RF scanners

max. 2 orderpickers in een gang, opdracht max. 10 keer overslaan

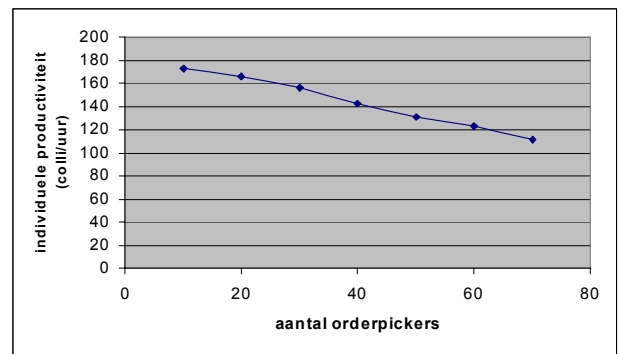
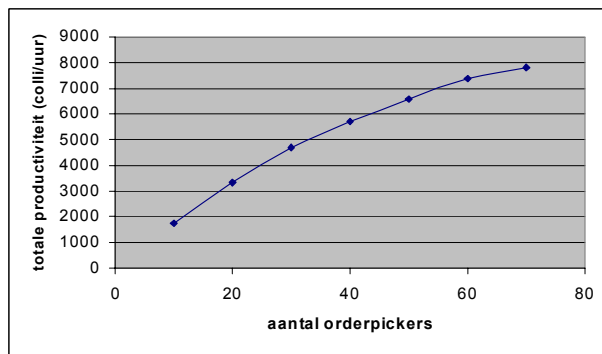
aantal orderpickers	10	20	30	40	50	60	70
omzet (colli)	31268	59326	83498	102662	119237	130983	140257
totale productiviteit (colli/uur)	1738	3297	4640	5706	6625	7279	7795
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	173	164	154	142	132	121	111
aantal opdrachten gelopen	226	429	601	744	858	939	1005
gem. doorlooptijd opdracht(min)	46,4	49,4	52,5	56,4	60,7	66,6	71,7
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	740	728	696	636	575
totale SWAGtijd(uur)	41,5	48,4	56,8	65,9	72,7	77,9	79,3
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,4	3,9	4,6	5,4	6,3	7,4	8,3
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	658	573	549	431	340	292	243
totale aanvultijd(uur)	32,4	34,5	35,4	35,4	35,3	35,4	35,0
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,0	3,6	3,9	4,9	6,2	7,3	8,6



Met invoering van RF scanners

max. 2 orderpickers in een gang, opdracht max. 10 keer overslaan

aantal orderpickers	10	20	30	40	50	60	70
omzet (colli)	31219	59955	84436	102940	118464	132860	140824
totale productiviteit (colli/uur)	1736	3333	4693	5719	6581	7383	7827
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	173	166	156	142	131	123	111
aantal opdrachten gelopen	225	434	608	746	856	956	1010
gem. doorlooptijd opdracht(min)	46,4	48,7	52,0	56,3	61,0	65,8	71,3
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	731	700	641	581
totale SWAGtijd(uur)	41,3	47,1	56,4	65,8	73,4	77,0	78,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,3	3,8	4,6	5,4	6,3	7,2	8,1
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	653	580	533	418	341	304	247
totale aanvultijd(uur)	32,3	34,6	35,3	35,4	35,2	35,3	35,0
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,0	3,6	4,0	5,1	6,2	7,0	8,5



met invoering van RF scanners

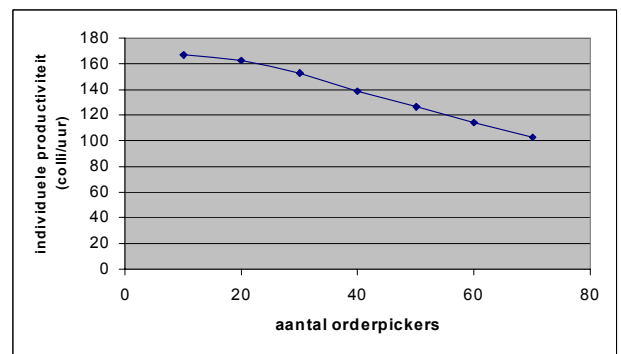
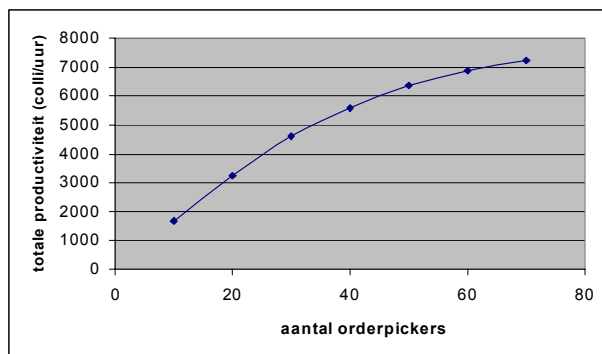
verschillende instellingen voor max. aantal orderpickers en max. aantal keer overslaan

30 orderpickers:

type uitgiftestrategie	geen	1, max	2, max	2, 10	2, 20	3, max	3, 50	5, max	5, 10
omzet (colli)	82994	81439	84355	84436	84313	84013	84037	83403	83750
totale productiviteit (colli/uur)	4611	4525	4687	4693	4685	4669	4669	4634	4654
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	153	150	156	156	156	155	155	154	155
aantal opdrachten gelopen	597	584	608	608	608	606	606	600	603
gem. doorlooptijd opdracht(min)	52,7	53,7	52,0	52,0	52,0	52,1	52,1	52,5	52,3
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	738	742	742	742	742	742	741	742
totale SWAGtijd(uur)	57,8	57,7	57,5	56,4	55,8	57,0	56,8	57,7	57,8
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	519	496	510	533	530	528	519	528	535
totale aanvultijd(uur)	35,4	35,1	35,4	35,3	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	4,1	4,3	4,2	4,0	4,0	4,0	4,1	4,0	4,0

Opdrachtenvolgorde met gespreide begingangen:

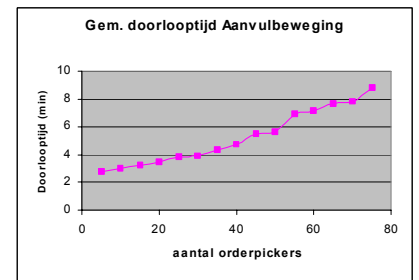
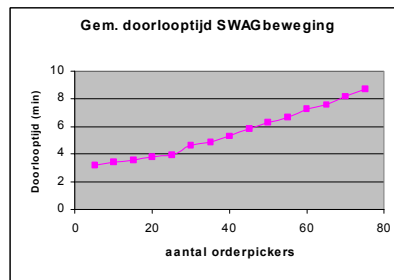
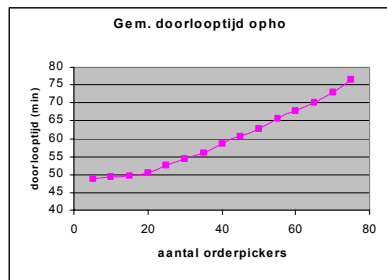
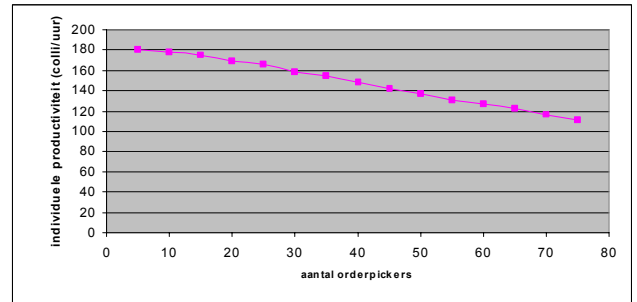
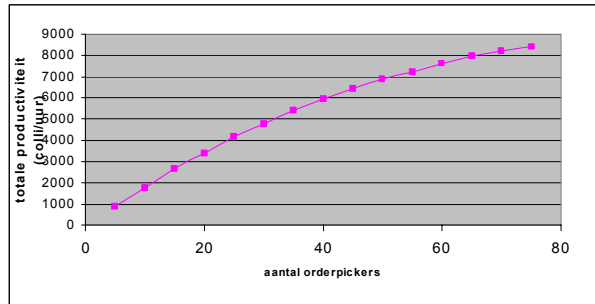
aantal orderpickers	10	20	30	40	50	60	70
omzet (colli)	30050	58478	82703	100302	114423	123821	130055
totale productiviteit (colli/uur)	1671	3250	4596	5574	6357	6880	7226
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	167	162	153	139	127	114	103
aantal opdrachten gelopen	242	450	607	747	865	932	966
gem. doorlooptijd opdracht(min)	43,7	46,6	51,8	56,3	60,6	67,1	75,0
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	741	723	696	628	554
totale SWAGtijd(uur)	41,3	47,4	57,9	67,2	75,0	80,2	81,5
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,3	3,8	4,7	5,6	6,5	7,7	8,8
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	656	605	515	421	366	298	262
totale aanvultijd(uur)	32,3	33,9	35,4	35,4	35,5	35,3	35,3
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,0	3,4	4,1	5,1	5,8	7,1	8,1



Experiment 7: Andere slotting

Gehele circuit:

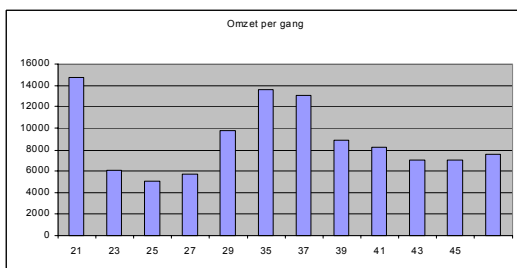
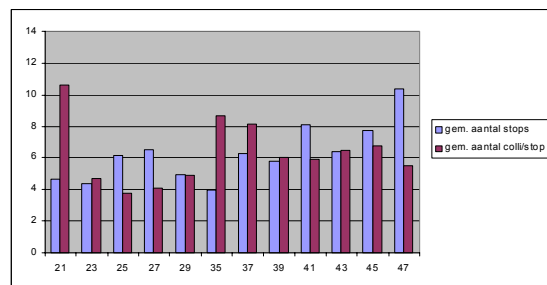
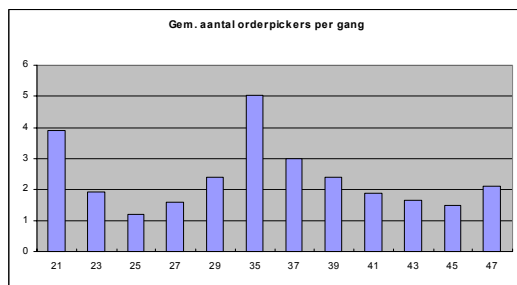
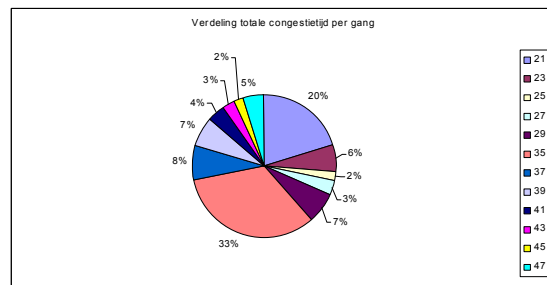
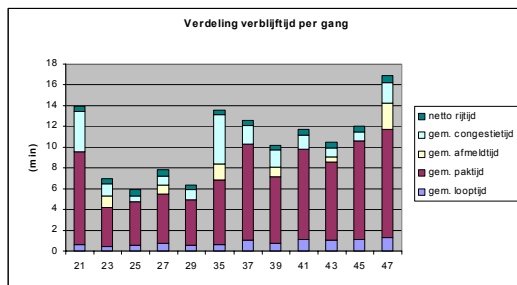
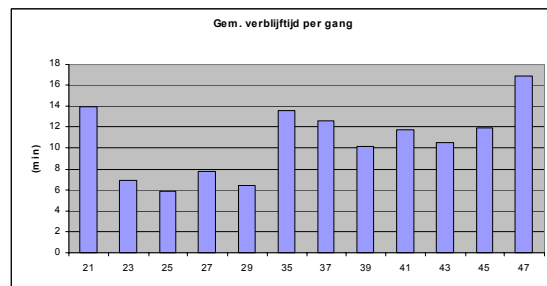
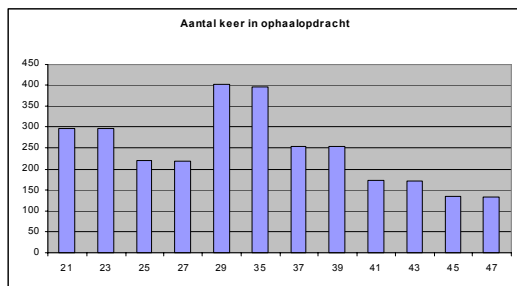
aantal orderpickers	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
omzet (colli)	16288	32161	47375	60875	74941	85873	97717	107063	115617	123828	130517	137422	143833	147707	151110
totale productiviteit (colli/uur)	906	1788	2634	3385	4166	4772	5430	5950	6425	6881	7252	7635	7992	8208	8396
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	181	178	175	169	166	159	155	148	142	137	131	127	122	117	112
aantal opdrachten gelopen	107	212	317	414	500	579	653	713	773	829	875	925	963	997	1015
gem. doorlooptijd opdracht(min)	48,7	49,2	49,6	50,6	52,4	54,2	56,0	58,8	60,8	62,8	65,7	67,8	70,0	73,1	76,4
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	742	742	739	742	738	716	705	679	649	612	582	557
totale SWAGtijd(uur)	39,6	42,1	44,0	47,2	49,1	56,9	60,3	65,3	69,4	73,5	75,5	78,4	77,5	79,1	81,0
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,6	4,9	5,3	5,8	6,3	6,7	7,3	7,6	8,1	8,7
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	666	654	623	601	550	539	487	447	388	378	305	297	276	269	241
totale aanvultijd(uur)	31,3	32,6	33,7	34,5	35,2	35,4	35,4	35,2	35,4	35,4	35,4	35,4	35,2	35,2	35,3
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	2,8	3,0	3,2	3,4	3,8	3,9	4,4	4,7	5,5	5,6	7,0	7,2	7,7	7,9	8,8



Per gang, 40 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	297,0	13,9	0,7	8,9	0,0	3,9
23	295,8	7,0	0,5	3,7	1,1	1,2
25	220,6	5,9	0,6	4,2	0,0	0,6
27	219,0	7,8	0,8	4,8	0,9	0,8
29	403,4	6,4	0,6	4,4	0,0	1,0
35	396,4	13,5	0,7	6,2	1,5	4,7
37	254,4	12,6	1,0	9,3	0,0	1,8
39	253,4	10,2	0,8	6,3	0,9	1,6
41	172,4	11,7	1,2	8,6	0,0	1,3
43	170,4	10,5	1,1	7,5	0,5	0,9
45	135,6	12,0	1,2	9,4	0,0	0,9
47	133,0	16,8	1,4	10,4	2,4	2,0

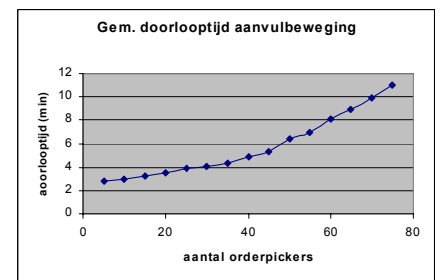
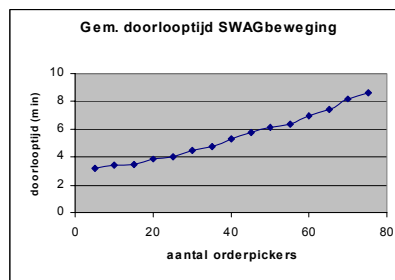
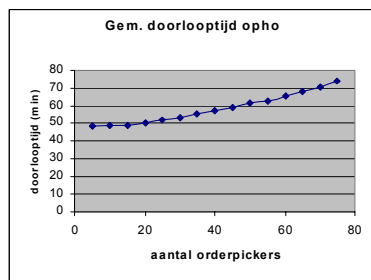
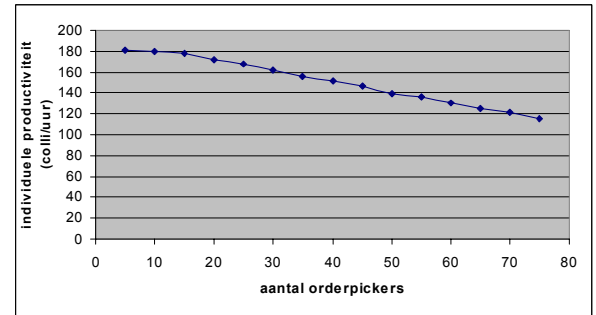
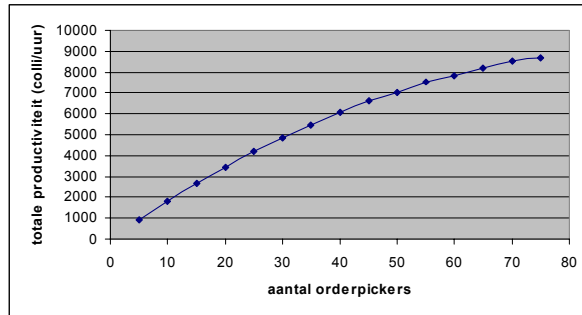
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	19,3	3,9	4,6	14668	10,6
23	0,5	5,7	1,9	4,4	6141	4,7
25	0,5	2,1	1,2	6,2	5106	3,8
27	0,6	2,9	1,6	6,5	5769	4,1
29	0,5	6,8	2,4	5,0	9782	4,9
35	0,5	31,3	5,1	4,0	13608	8,7
37	0,5	7,4	3,0	6,3	13068	8,2
39	0,5	6,7	2,4	5,8	8897	6,1
41	0,6	3,7	1,9	8,1	8265	5,9
43	0,6	2,6	1,7	6,4	7075	6,5
45	0,5	2,1	1,5	7,7	7055	6,8
47	0,7	4,5	2,1	10,4	7630	5,5



Experiment 8: Wijzigen indeling gang 29

Gehele circuit:

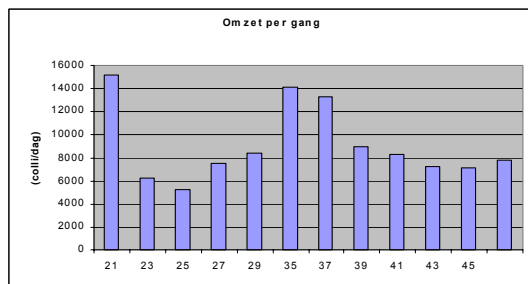
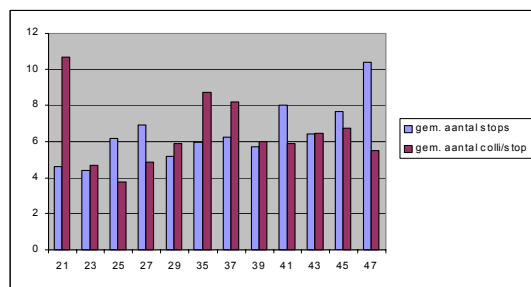
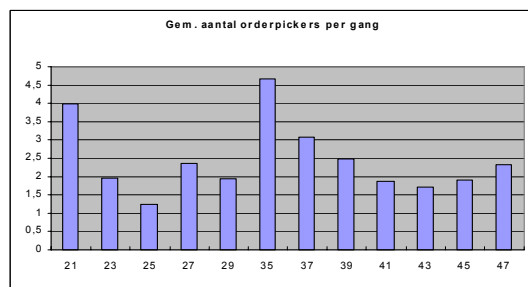
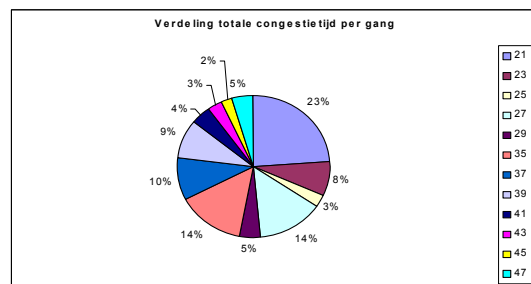
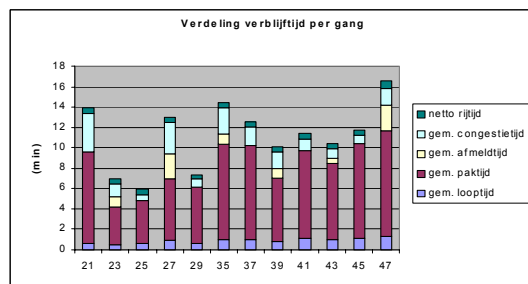
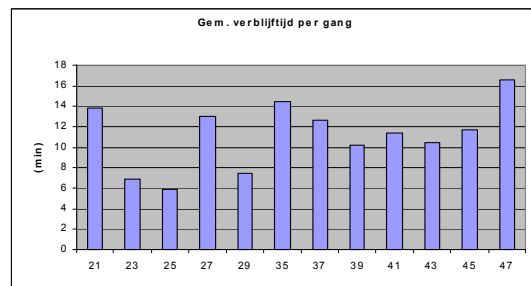
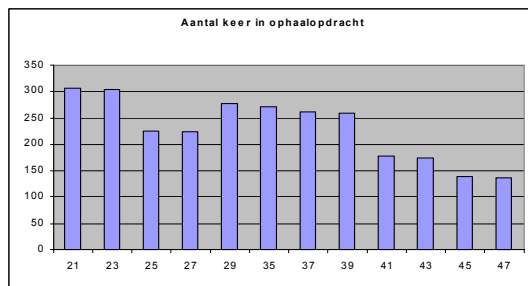
aantal orderpickers	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
omzet (colli)	16321	32403	48129	61861	75449	87562	98475	109494	118844	126205	135821	140948	147424	153721	156423
totale productiviteit (colli/uur)	908	1803	2674	3437	4194	4867	5473	6085	6605	7013	7550	7832	8191	8543	8697
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	181	180	178	172	167	161	156	152	146	140	137	130	125	122	116
aantal opdrachten gelopen	107	214	321	418	504	588	659	732	797	846	913	951	993	1026	1043
gem. doorlooptijd opdracht(min)	48,6	49,0	49,2	50,2	52,2	53,1	55,5	57,4	59,3	61,6	62,9	65,8	68,2	70,4	73,9
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	742	742	741	742	738	728	722	702	662	638	590	567
totale SWAGtijd(uur)	39,5	41,9	43,5	47,9	49,3	55,4	58,8	65,0	70,0	73,7	74,7	77,2	78,9	80,2	81,4
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,2	3,4	3,5	3,9	4,0	4,5	4,8	5,3	5,8	6,1	6,4	7,0	7,4	8,2	8,6
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	663	654	629	595	548	526	494	441	398	334	306	261	238	212	190
totale aanvultijd(uur)	31,1	32,6	33,7	35,0	35,2	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,3	35,3	35,3	35,0	34,9
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	2,8	3,0	3,2	3,5	3,9	4,0	4,3	4,8	5,3	6,4	7,0	8,1	8,9	9,9	11,0



Per gang, 40 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	307,0	13,9	0,7	8,9	0,0	3,9
23	304,8	7,0	0,5	3,7	1,1	1,2
25	225,2	5,9	0,6	4,2	0,0	0,6
27	223,8	13,0	0,9	6,0	2,5	3,0
29	277,2	7,4	0,7	5,5	0,0	0,8
35	271,2	14,4	1,0	9,3	1,0	2,6
37	281,2	12,6	1,0	9,2	0,0	1,8
39	259,0	10,2	0,8	6,2	0,9	1,7
41	177,0	11,4	1,2	8,5	0,0	1,2
43	174,8	10,5	1,0	7,5	0,5	0,9
45	138,8	11,7	1,2	9,3	0,0	0,8
47	136,6	16,5	1,4	10,3	2,6	1,7

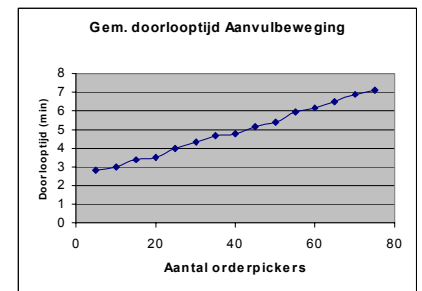
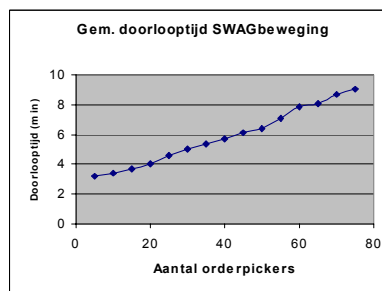
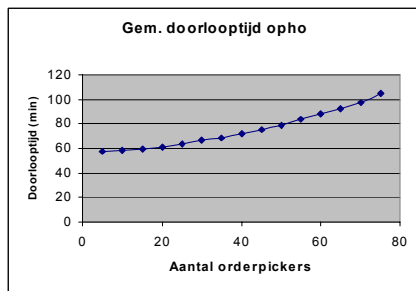
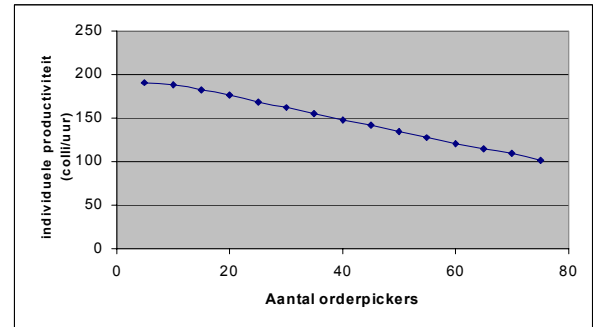
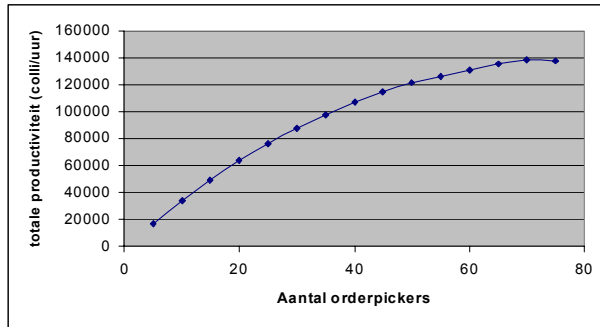
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	19,8	4,0	4,6	15187	10,7
23	0,5	6,3	2,0	4,4	6274	4,7
25	0,5	2,3	1,3	6,2	5228	3,8
27	0,6	11,3	2,3	6,9	7489	4,8
29	0,5	3,7	1,9	5,2	8425	5,9
35	0,5	11,8	4,7	6,0	14057	8,7
37	0,5	8,0	3,1	6,2	13324	8,2
39	0,5	7,3	2,5	5,7	8946	6,0
41	0,6	3,5	1,9	8,0	8349	5,9
43	0,6	2,7	1,7	6,4	7239	6,5
45	0,5	1,8	1,9	7,7	7169	6,7
47	0,7	3,8	2,3	10,4	7808	5,5



Experiment 9: Containercircuit

Gehele circuit:

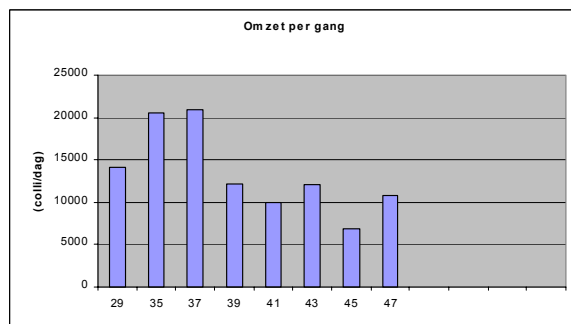
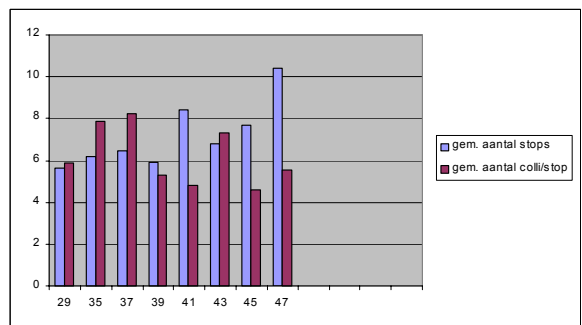
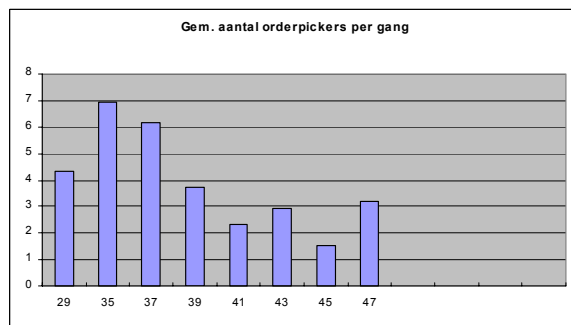
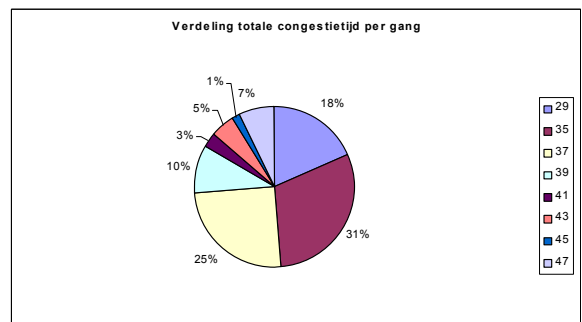
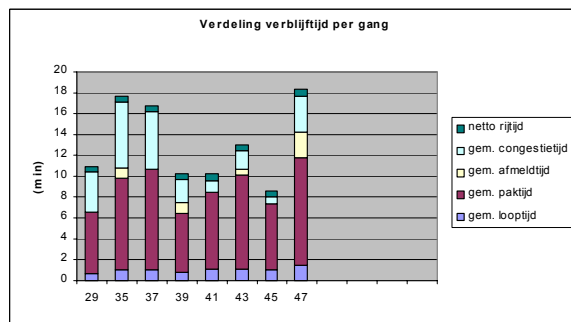
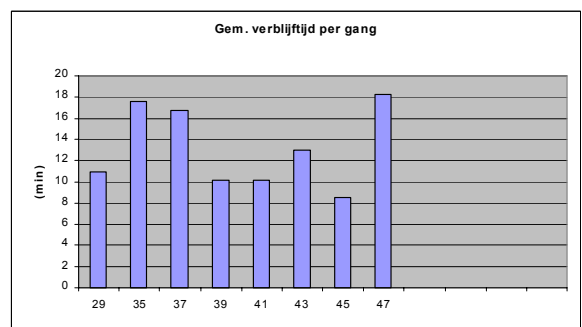
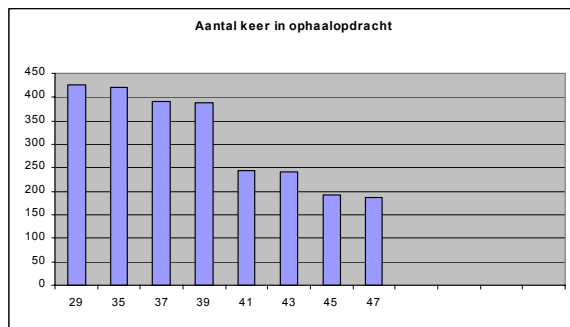
aantal orderpickers	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
omzet (colli)	17169	33982	49158	63610	76005	87785	97845	107012	114996	121701	126356	130858	135254	138340	137746
totale productiviteit (colli/uur)	957	1890	2732	3536	4224	4880	5436	5947	6390	6763	7021	7272	7516	7686	7655
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	191	189	182	176	168	162	155	148	142	135	127	121	115	109	102
aantal opdrachten gelopen	93	180	267	345	413	471	529	576	621	659	681	704	723	738	735
gem. doorlooptijd opdracht(min)	57,1	58,4	59,1	60,8	63,4	66,7	68,7	72,0	75,1	78,9	83,4	88,1	92,5	97,4	104,8
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	742	742	742	727	710	695	676	663	652	624	585	551	533	509
totale SWAGtijd(uur)	39,7	42,2	45,8	49,8	55,4	59,5	61,9	64,0	67,7	69,8	73,9	76,3	73,9	77,2	76,8
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,2	3,4	3,7	4,0	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	6,4	7,1	7,8	8,1	8,7	9,1
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	669	646	577	584	525	487	458	444	408	392	358	342	326	307	298
totale aanvultijd(uur)	31,4	32,3	32,5	34,1	35,0	35,4	35,4	35,4	35,1	35,2	35,4	35,1	35,3	35,2	35,3
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	2,8	3,0	3,4	3,5	4,0	4,4	4,6	4,8	5,2	5,4	5,9	6,2	6,5	6,9	7,1



Per gang, 40 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
29	426,2	10,9	0,7	5,9	0,0	3,8
35	420,2	17,6	1,0	8,8	1,1	6,4
37	392,0	16,7	1,0	9,6	0,0	5,6
39	388,4	10,2	0,8	5,6	1,1	2,2
41	244,4	10,2	1,1	7,3	0,0	1,2
43	241,2	13,0	1,2	9,0	0,5	1,8
45	191,6	8,5	1,0	6,4	0,0	0,7
47	187,2	18,3	1,4	10,3	2,5	3,4

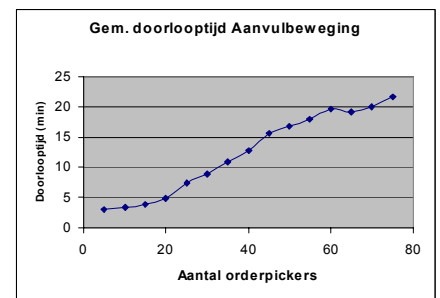
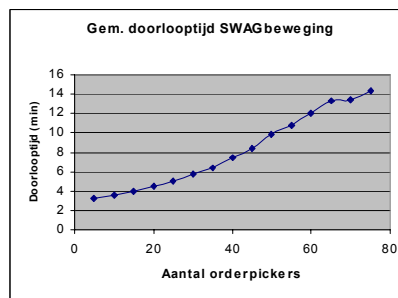
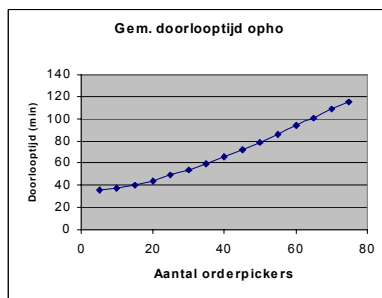
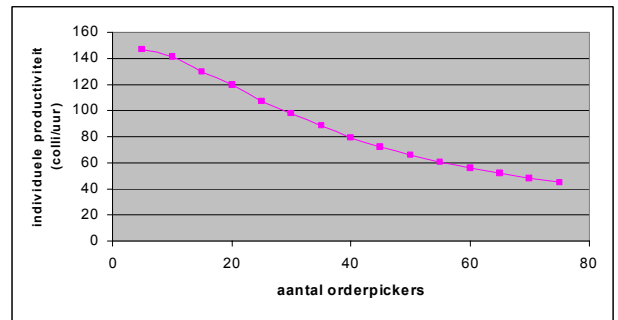
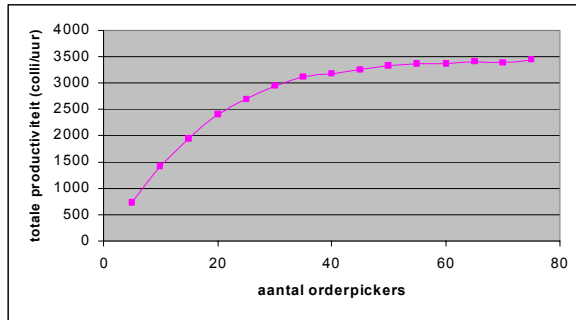
gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
29	0,5	27,2	4,3	5,6	14056	5,9
35	0,5	44,5	6,9	6,2	20497	7,9
37	0,5	36,6	6,2	6,4	20883	8,3
39	0,5	14,2	3,7	5,9	12149	5,3
41	0,6	4,7	2,3	8,4	9946	4,8
43	0,6	7,2	2,9	6,8	11981	7,3
45	0,5	2,2	1,5	7,7	6773	4,6
47	0,7	10,6	3,2	10,4	10726	5,5



Experiment 10: Krattencircuit

Gehele circuit:

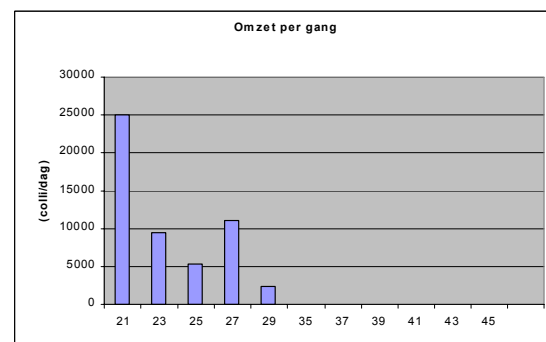
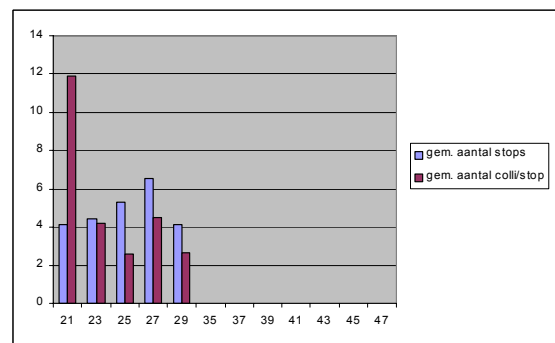
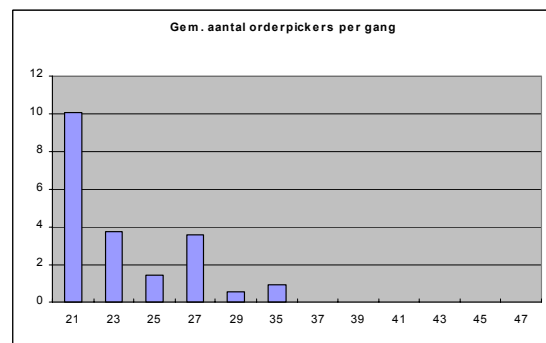
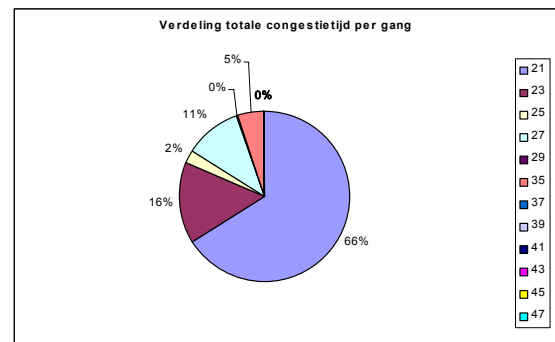
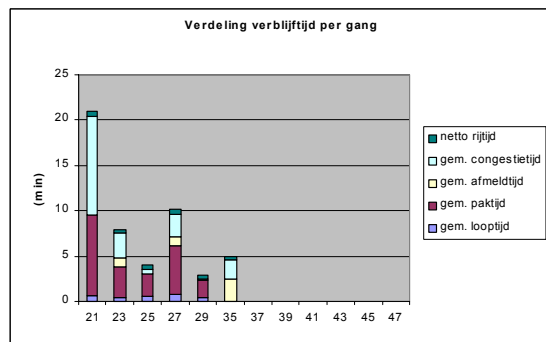
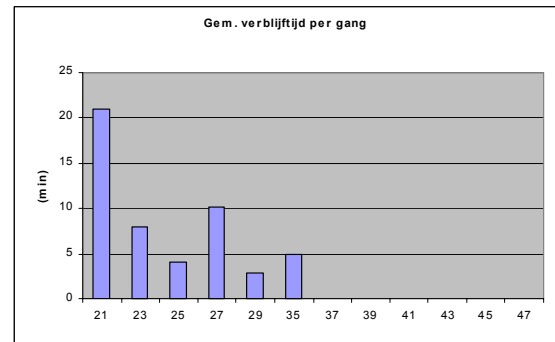
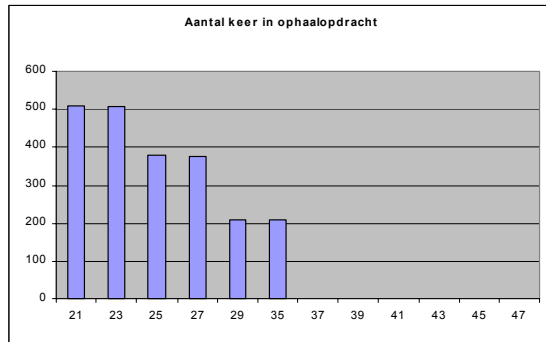
aantal orderpickers	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
omzet (colli)	13243	25435	35075	43362	48519	53068	55956	57222	58569	59949	60498	60406	61354	60927	61826
totale productiviteit (colli/uur)	736	1414	1949	2409	2697	2948	3109	3179	3255	3331	3362	3357	3409	3387	3436
individuele productiviteit (colli/uur/orderpicker)	147	141	129	120	107	98	88	79	72	66	61	56	52	48	45
aantal opdrachten gelopen	149	284	391	482	537	586	618	632	646	660	663	658	665	656	662
gem. doorlooptijd opdracht(min)	35,3	37,4	40,6	43,8	49,0	53,8	59,4	66,1	72,7	79,1	86,1	93,9	100,4	108,5	115,7
aantal SWAGbewegingen uitgevoerd	742	741	741	727	705	684	652	596	547	482	442	405	366	355	335
totale SWAGtijd(uur)	40,2	44,5	49,5	54,3	59,5	65,4	69,7	73,6	76,1	78,4	79,2	80,4	80,7	79,3	79,8
gem. doorlooptijd SWAGbeweging(min)	3,3	3,6	4,0	4,5	5,1	5,7	6,4	7,4	8,4	9,8	10,8	12,0	13,3	13,4	14,3
aantal aanvulbewegingen uitgevoerd	657	619	553	434	286	241	194	166	136	127	117	107	110	106	98
totale aanvultijd(uur)	33,0	34,0	35,4	35,3	35,2	35,4	35,1	35,2	35,3	35,3	34,9	35,0	35,1	35,1	35,1
gem. doorlooptijd aanvulbeweging(min)	3,0	3,3	3,8	4,9	7,4	8,8	10,9	12,7	15,7	16,7	18,0	19,7	19,2	19,9	21,6



Per gang, 30 orderpickers:

gang	# keer doorlopen	gem. verblijftijd (min)	gem. looptijd (min)	gem. paktijd (min)	gem. afmeldtijd (min)	gem. congestietijd (min)
21	511,0	20,9	0,6	8,8	0,0	11,0
23	506,8	8,0	0,5	3,3	1,1	2,7
25	380,4	4,0	0,5	2,5	0,0	0,5
27	376,8	10,2	0,8	5,3	1,1	2,5
29	208,8	2,9	0,3	2,0	0,0	0,1
35	207,4	5,0	0,0	0,0	2,5	2,1

gang	netto rijtijd (min)	tot. congestietijd (uur)	gem. # orderpickers in gang	# stops	omzet (colli)	# colli/stop
21	0,4	93,8	10,0	4,1	25068	11,9
23	0,5	22,5	3,8	4,5	9423	4,2
25	0,5	3,3	1,4	5,3	5253	2,6
27	0,6	15,5	3,6	6,6	11080	4,5
29	0,5	0,5	0,6	4,1	2264	2,6
35	0,5	7,1	1,0	0,0	0	0,0



Bijlage 6: Overzicht functies

Nummer	y	x	Onafgeronde functie	R ²
6.1	Totale productiviteit (colli/uur)	Aantal orderpickers (0 < x < 80)	$y = -1,0503x^2 + 184,74x$	0,9999
6.2	Individuele productiviteit (colli/orderpicker/uur)	Aantal orderpickers (0 < x < 80)	$y = -1,0334x + 183,35$	0,9965
6.3	Marginale productiviteit (colli/uur)	Aantal orderpickers (0 < x < 80)	$y = -2,1188x + 185,2$	0,972
6.4	Individuele productiviteit bij 30 orderpickers	Paktijd factor (0,75 < x < 1,25)	$y = -80,8x + 235,2$	0,9974
6.5	Individuele productiviteit bij 40 orderpickers	Paktijd factor (0,75 < x < 1,25)	$y = -72,8x + 215,4$	0,9942
6.6	Individuele productiviteit bij 50 orderpickers	Paktijd factor (0,75 < x < 1,25)	$y = -67,2x + 199,53$	0,9992
6.7	Totale productiviteit krattencircuit	Aantal orderpickers (0 < x < 80)	$y = -1,1888x^2 + 130,32x$	0,9428
6.8	Totale productiviteit dozencircuit	Aantal orderpickers (0 < x < 80)	$y = -1,327x^2 + 201,71x$	0,9998
6.9	Totale productiviteit gang 21	Gem. aantal orderpickers in gang (0 < x < 12)	$y = -13,437x^2 + 257,32x$	0,9966
6.10	Totale productiviteit gang 35	Gem. aantal orderpickers in gang (0 < x < 12)	$y = -10,063x^2 + 202,85x$	0,9936