



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Dynamische order picking methodes in distributiecentra

Anaï Thijsen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

dr. Antonius VAN GILS

BEGELEIDER :

De heer Ruben D'HAEN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2020
2021



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Dynamische order picking methodes in distributiecentra

Anaï Thijsen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

dr. Antonius VAN GILS

BEGELEIDER :

De heer Ruben D'HAEN

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020-2021. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Woord vooraf

Deze masterproef is tot stand gekomen in het kader van het vervolledigen van mijn masteropleiding in de Handelswetenschappen met als afstudeerrichting Supply Chain Management.

Het volbrengen van dit onderzoek was niet gelukt zonder de hulp van verschillende personen. Daarom wil ik graag van de gelegenheid gebruik maken om deze mensen te bedanken. In eerste instantie wil ik mijn promotor dr. Van Gils bedanken. Hij bood mij gedurende het hele jaar ondersteuning en advies bij het schrijven van dit onderzoek. Zijn feedback zorgde ervoor dat ik kritisch ging nadenken over het onderwerp. Daarnaast wil ik ook heel graag mijn co-promotor Ruben D'Haen bedanken. Hij zorgde voor de fundering van het empirische gedeelte en zijn begeleiding en ondersteuning hebben mij enorm geholpen bij het schrijven deze masterproef.

Tenslotte zou ik graag mijn ouders, medestudenten en vriend willen bedanken voor hun steun en vertrouwen de afgelopen jaren.

Anaï Thijsen
Juni, 2021

Samenvatting

De e-commerce heeft zich de afgelopen jaren snel ontwikkeld. Hierdoor hebben klanten steeds hogere verwachtingen van distributiecentra. Deze hoge verwachtingen vertalen zich voornamelijk in het sneller leveren van producten aan de klant en het bestellen van kleinere hoeveelheden. Door deze evolutie neemt de druk op distributiecentra toe. Ondermaatse prestaties, zoals het niet voldoen aan de levertijd, zullen namelijk leiden tot slechte klantenservice. Vanwege de hogere verwachtingen van de klant hebben distributiecentra minder tijd om orders te verwerken. Om klanten tevreden te stellen, moeten bedrijven inspelen op de klant die steeds veeleisender wordt. Dat proberen distributiecentra te doen door een dynamisch order picking systeem te gebruiken. Een dynamisch order picking systeem zal sneller kunnen voldoen aan de vraag van klanten ten opzichten van een statisch systeem. Bij een dynamisch systeem gaan distributiecentra namelijk real-time informatie verwerken.

Uit de bovenstaande probleemstelling kan in deze masterproef bijgevolg de volgende centrale onderzoeksvraag worden onderzocht: "Hoe kunnen order picking activiteiten in een dynamische setting geoptimaliseerd worden?". In deze masterproef ligt de focus voornamelijk op het proces van order picking en de daarbij horende operationele planningsproblemen. Order picking is de meest cruciale activiteit in een distributiecentrum omdat dit proces de belangrijkste operationele kosten bevat en ook de meest tijdrovende operatie is in een distributiecentrum. In deze masterproef ligt de nadruk op manuele order picking omdat menselijke order pickers onverwachte gebeurtenissen makkelijker gaan kunnen verwerken dan robots.

Uit de literatuurstudie blijkt dat er drie operationele planningsproblemen bestaan die essentieel zijn om het order picking proces uit te voeren: het order batching probleem, het picker scheduling probleem en het picker routing probleem. Het order batching probleem gaat na hoe orders worden samengevoegd in batches om zo de totale order pick tijd te minimaliseren. Het picker scheduling probleem analyseert de volgorde van de batches en hoe de batches worden toegewezen aan de order pickers. Het derde operationele planningsprobleem, namelijk het picker routing probleem, heeft te maken met in welke volgorde picklocaties in het magazijn bezocht worden en hoe order pickers zich door het distributiecentrum gaan bewegen.

Daarnaast geeft de literatuurstudie het verschil weer tussen dynamische batching en statische batching. Bij statische batching zijn alle klantenbestellingen aan het begin van de planningsperiode gekend. Bij zo'n systeem zal de planning ongewijzigd blijven doorheen de planningsperiode. Bij een dynamisch systeem is dit echter niet het geval. De planning gaat hier voortdurend wijzigen doorheen de planningsperiode. De klantenorders worden namelijk bij een dynamisch systeem in de loop van de dag beschikbaar. Hierdoor is het voor een distributiecentrum mogelijk om een huidige pickcyclus van een order picker te onderbreken en aan te passen. Een pickcyclus of meer bepaald een batch van een order picker kan worden aangepast ongeacht de huidige locatie van de order picker, de route die genomen wordt en ongeacht de opslaglocaties van de orders die in de batch zitten. Een dynamisch order picking systeem zorgt ervoor dat de doorlooptijd van een order gaat dalen. De doorlooptijd van een order is de tijd tussen het plaatsen van een bestelling tot en het afleveren van deze bestelling aan de klant. Om deze reden zal een dynamisch order picking systeem sneller kunnen

voldoen aan de vraag van een klant ten opzichte van statisch systeem. Naast statische batching en dynamische batching kan een bedrijf ook gebruik maken van online batching. Bij online batching wijzigt de planning ook gedurende de planningsperiode. De batches die order pickers reeds uitvoeren, blijven echter ongewijzigd. De nieuwe orders die doorheen planningsperiode binnenkomen, kunnen bij online batching enkel toegevoegd worden aan de batches die nog niet worden verzameld door de order pickers.

In het empirisch onderzoek van deze masterproef wordt een toepassing geanalyseerd waarbij de drie operationele planningsproblemen (order batching, picker scheduling en picker routing) in een dynamische context worden geplaatst. De doelstelling van dit onderzoek is om na te gaan welke invloed verschillende factoren hebben op de totale tardiness en de totale order pick tijd. De tardiness verwijst hier naar het (positieve) verschil tussen de voltooiingstijd van een order en de due date van deze order. De totale order pick tijd verwijst naar vier tijdscomponenten: de benodigde reistijd voor het verzamelen van de gewenste goederen, de zoektijd die nodig is voor de identificatie van de artikelen, de picktijd die nodig is voor het verplaatsen van de gewenste producten op het pickapparaat en de tijd die nodig is voor de set-up.

Uit deze praktijkstudie blijkt dat de order pick tijd positief wordt beïnvloed wanneer er meer orders beschikbaar zijn aan het begin van de planningsperiode. Hierdoor kunnen distributiecentra grotere en bijgevolg efficiëntere batches creëren. Daarnaast hebben de order pickers bij een dynamisch systeem (wanneer er minder batches beschikbaar zijn aan het begin van de planningsperiode) minder tijd om orders te verzamelen en is de kans op vertraging bijgevolg groter.

Een andere afweging die in de praktijkstudie onderzocht wordt, is de invloed van de grootte van de staging area op de twee doelfuncties. Uit deze analyse blijkt dat hoe groter de staging area is, hoe meer totale tardiness er zal optreden. Bij een grotere staging area gaan de order pickers aan het begin van de shift al orders verzamelen die eigenlijk pas later op de planningsperiode nodig zijn. Hierdoor zullen de order pickers hun werk op het begin van de shift niet afkrijgen en vergroot het bijgevolg de totale tardiness. Daarentegen heeft de grootte van de staging area een averechts effect op de order pick tijd in vergelijking met de totale tardiness. De order pick tijd gaat namelijk dalen naarmate de staging area groter wordt. Dit resultaat is te verklaren door het feit dat er bij een grotere staging area meer orders voorhanden zijn aan het begin van de planningsperiode. Hierdoor kunnen er grotere en efficiëntere batches gecreëerd worden en wordt de order pick tijd verkort.

Tenslotte wordt in het praktijkgedeelte de verdeling van de vrijgave van de orders onderzocht. In termen van totale order pick tijd en totale tardiness is het voor een distributiecentrum het efficiëntste om te opteren voor het simultaan vrijgeven van orders. Bij een simultane vrijgave worden alle orders op eenzelfde moment beschikbaar. Hierdoor zijn alle orders relatief vroeg op de dag beschikbaar en is het makkelijker voor een distributiecentrum om efficiënt te batchen. In de praktijk is dit echter tegenstrijdig met de eisen van de klant. Een klant wil zo laat mogelijk kunnen bestellen en hierdoor is het gelijktijdig vrijgeven van de orders vaak onmogelijk voor distributiecentra.

Uit het empirisch onderzoek kan geconcludeerd worden dat een dynamisch systeem een negatief effect heeft op de twee doelfuncties (totale tardiness en totale order pick tijd) die onderzocht werden.

Een dynamisch systeem zal echter wel sneller kunnen voldoen aan de vraag van de klant in vergelijking met een statisch systeem omdat de doorlooptijd van de orders zal dalen.

In dit onderzoek worden enkel de operationele planningsproblemen onderzocht. In de praktijk moeten distributiecentra echter rekening houden met meerdere planningsproblemen, zoals het bepalen van de opslaglocaties en het bepalen van de pickzones. Verder onderzoek dient te worden verricht om te analyseren hoe deze planningsproblemen een invloed hebben op de order pick tijd en de tardiness in het systeem.

Daarnaast is uit het praktijkgedeelte gebleken dat enkele parameters nog uitgebreider onderzocht kunnen worden. Zo wordt in het onderzoek slechts gebruik gemaakt van drie tot vier order pickers. Voor toekomstig onderzoek zou het daarom interessant zijn om meerdere order pickers op te nemen in het algoritme. Tenslotte zijn in dit onderzoek twee doelfuncties (totale tardiness en totale order pick tijd) onderzocht. In toekomstig onderzoek kunnen er ook andere doelfuncties, zoals het minimaliseren van de doorlooptijd of het minimaliseren van de operationele kosten, geanalyseerd worden.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	I
SAMENVATTING.....	III
INHOUDSOPGAVE	VII
LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN.....	IX
LIJST VAN FIGUREN.....	IX
LIJST VAN TABELLEN	IX
1 INLEIDING.....	1
1.1 ONDERZOEKSVRAGEN	3
1.2 ONDERZOEKSOPZET.....	5
1.2.1 <i>Literatuurstudie</i>	5
1.2.2 <i>Experimenten</i>	6
2 LITERATUURSTUDIE.....	7
2.1 ORDER PICKING IN EEN DISTRIBUTIECENTRUM.....	7
2.1.1 <i>Functies in een distributiecentrum</i>	7
2.1.2 <i>Functies van order picking</i>	9
2.2 PLANNINGSPROBLEMEN IN EEN MAGAZIJN	11
2.3 VARIANTEN/OPLOSSINGEN VAN DE PLANNINGSPROBLEMEN	18
2.3.1 <i>Statische batching</i>	18
2.3.2 <i>Online batching</i>	19
2.3.3 <i>Dynamische batching</i>	19
2.3.4 <i>Breedte van pickgangen</i>	21
2.3.5 <i>Het gebruik van één of meerdere order pickers</i>	23
2.3.6 <i>Wave picking</i>	24
3 EMPIRISCH ONDERZOEK.....	27
3.1 BESPREKING ALGORITME EN DATASET	27
3.2 RESULTATEN	31
3.2.1 <i>Invloed dynamisch karakter</i>	31
3.2.2 <i>Verdeling vrijgave van orders</i>	33
3.2.3 <i>Grootte staging area</i>	35
3.2.4 <i>Verdeling due dates</i>	38

4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	41
4.1	ALGEMENE CONCLUSIES	41
4.2	AANBEVELINGEN	43
	LITERATUURLIJST	45

Lijst van figuren en tabellen

Lijst van figuren

FIGUUR 1: VOORBEELDEN VAN STRATEGISCHE, TACTISCHE EN OPERATIONELE BESLISSINGEN (VAN GILS ET AL., 2018).....	2
FIGUUR 2: CLASSIFICATIE VAN ORDER PICKING SYSTEMEN (HENN ET AL., 2012).....	4
FIGUUR 3: VERSCHILLENDE FUNCTIES BINNEN EEN DISTRIBUTIECENTRUM (DE KOSTER ET AL., 2007).....	8
FIGUUR 4: ONE-BLOCK LAY-OUT	8
FIGUUR 5: TWO- BLOCK LAY-OUT.....	9
FIGUUR 6: VERDELING VAN DE TIJD VAN EEN ORDER PICKER.....	10
FIGUUR 7: RANDOM BELEID EN CLASS-BASED BELEID (SILVA ET AL., 2020).....	12
FIGUUR 8: VOORBEELD VAN S-VORM (LINKS) EN LARGEST GAP (RECHTS) (CANO, CORREA-ESPINAL, & GOMEZ-MONTOYA, 2017). 14	
FIGUUR 9: VOORBEELD VAN RETURN (LINKS) EN MIDPOINT (RECHTS).	15
FIGUUR 10: IMPACT VAN HET WIJZIGEN VAN DE TOEWIJZING EN DE VOLGORDE VAN DE BATCHES (SCHOLZ ET AL., 2017).	16
FIGUUR 11: IMPACT VAN DE BESLISSINGEN VAN ORDER BATCHING OP DE ROUTERING VAN DE ORDER PICKERS (SCHOLZ ET AL., 2017).	17
FIGUUR 12: DYNAMISCHE PROCES (GIANNIKAS ET AL., 2017).	20
FIGUUR 13: BLOKKADES IN BREDE GANGPADEN (KLODAWSKI ET AL., 2018).....	21
FIGUUR 14: TWEE SOORTEN OPSTOPPINGEN BIJ SMALLE GANGPADEN (HONG, JOHNSON & PETERS, 2012).	22
FIGUUR 15: GANGPADEN MET EEN GEMENGDE BREEDTE (MOWREY ET AL., 2014).	23
FIGUUR 16: MINIMALISEREN VAN DE VERTRAGING VS. MAKESPAN BALANCEREN VAN WERKLAST.	25
FIGUUR 17: BALANCEREN VAN DE WERKLAST DOORHEEN DE PLANNINGSPERIODE.	26
FIGUUR 18: UNIFORME VERDELING (13 TRUCKS).....	30
FIGUUR 19: VERDELING MET PIEKMOMENT (13 TRUCKS).....	30
FIGUUR 20: UNIFORME VERDELING (12 TRUCKS).....	30
FIGUUR 21: GEMIDDELDE EN MINIMUM TARDINESS PER % ORDERS GEKEND OP T=0.	32
FIGUUR 22: MAXIMALE TARDINESS PER % ORDERS GEKEND OP T=0.....	32
FIGUUR 23: ORDER PICK TIJD PER % ORDERS GEKEND OP T=0.....	33
FIGUUR 24: TARDINESS (GEMIDDELDE EN MINIMUM) IN FUNCTIE VAN VERDELING VRIJGAVE ORDERS.....	34
FIGUUR 25: TARDINESS (MAXIMUM) IN FUNCTIE VAN VERDELING VRIJGAVE ORDERS	34
FIGUUR 26: ORDER PICK TIJD IN FUNCTIE VAN VERDELING VRIJGAVE ORDERS.....	35
FIGUUR 27: TARDINESS (GEMIDDELDE EN MINIMUM) IN FUNCTIE VAN DE GROOTTE VAN STAGING AREA.....	36
FIGUUR 28: TARDINESS (MAXIMUM) IN FUNCTIE VAN DE GROOTTE VAN STAGING AREA	36
FIGUUR 29: ORDER PICK TIJD IN FUNCTIE VAN GROOTTE STAGING AREA.....	37
FIGUUR 30: TARDINESS PER VERDELING VAN DUE DATES	38
FIGUUR 31: ORDER PICK TIJD PER VERDELING VAN DUE DATES	39

Lijst van tabellen

TABEL 1: PARAMETERS DYNAMISCH ALGORITME	28
TABEL 2: PARAMETERS STAGING AREA.	29

1 Inleiding

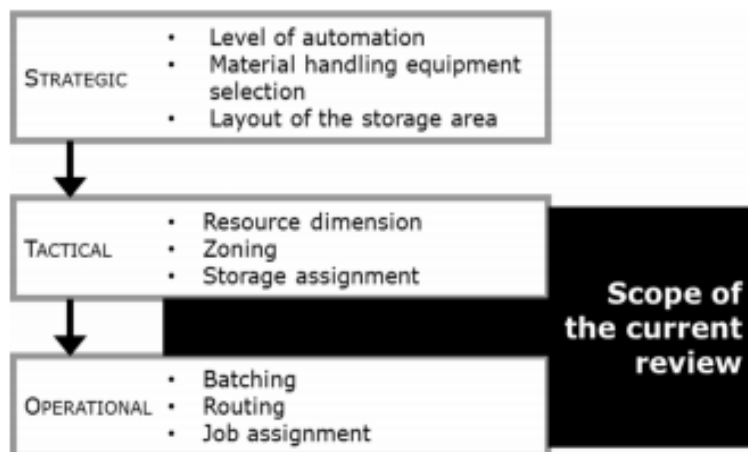
In de afgelopen jaren heeft de e-commerce zich snel ontwikkeld. De kenmerken van deze ontwikkeling, zoals kleinere bestellingen en meer productvariëteiten, leggen veel druk op bestellingen in distributiecentra (Ran, Liu, & Zhang, 2020). Distributiecentra moeten kleinere bestellingen en meer productvariëteiten aanbieden om in te spelen op de behoeften van de klant en om zo concurrerend te blijven. Ondermaatse prestaties bij het order verzamelen, zoals het niet voldoen aan de levertijd, leiden tot een slechte service en hoge kosten voor het distributiecentrum. Indien een klant niet tevreden is over een bepaald product kan het product worden teruggestuurd, deze teruggestuurde producten moeten terug worden opgeslagen in het distributiecentrum en dit creëert ook weer extra arbeidskosten. Daarnaast kan de klant door de slechte service beslissen om in de toekomst nooit meer bij het bedrijf in kwestie een product te kopen. Dit is een extra kost waar distributiecentra rekening mee moet houden (van der Gaast, Jargalsaikhan, & Roodbergen, 2018). De rol van de klant in de moderne logistiek is daarbij drastisch veranderd. Klanten willen steeds vaker op elk gewenst moment bestellingen plaatsen en laten bezorgen op een tijdstip dat voor hen goed uitkomt. Als gevolg hiervan gaan distributiecentra minder tijd hebben voor het verwerken en leveren van een bestelling. Naast het plaatsen van bestellingen, hebben klanten ook wettelijk de kans om hun order zonder probleem te annuleren. Daarnaast geeft een groeiend aantal bedrijven hun klanten zelfs de mogelijkheid om hun locatie of levertijd te wijzigen nadat een bestelling is geplaatst (Giannikas, Lu, Robertson, & McFarlane, 2017). Ondernemingen moeten rekening houden met onzekerheden die zowel van buitenaf als vanuit het distributiecentrum zelf kunnen komen. Deze onzekerheden kunnen namelijk een onverwachte invloed hebben op strategisch, tactisch en operationeel niveau (Gong & Koster, 2011).

Het ontvangen van goederen, de opslag van goederen, de bestellingen verzamelen en de verzending van de producten zijn cruciale activiteiten in een distributiecentrum. De belangrijkste operationele kosten van een distributiecentrum kunnen worden teruggevonden in het proces van order picking. Om deze reden heeft order picking de hoogste prioriteit gekregen om de productiviteit in distributiecentra te optimaliseren (Lu, McFarlane, Giannikas, & Zhang, 2016). Order picking is het proces van het verzamelen van goederen uit de bepaalde voorraadlocaties op basis van de bestellingen van een klant. Deze activiteit ontstaat doordat binnenkomende artikelen in grote volumes ontvangen en opgeslagen worden in eenheidsladings, terwijl klanten kleine volumes bestellen van verschillende producten (Henn, Koch, & Wäscher, 2012).

Over het algemeen is order picking de meest tijdrovende operatie in een magazijn. Dit proces is namelijk goed voor ongeveer 55-75% van de totale opslagkosten en het kan tot 60% van alle arbeidsactiviteiten in een magazijn omvatten (Bukchin, Khmelnitsky, & Yakuel, 2012). De grote omvang van deze gegevens is te wijten aan het feit dat order picking nog steeds voornamelijk een handmatige activiteit is. In de afgelopen jaren is er veel onderzoek uitgevoerd om het proces te automatiseren, maar de meeste distributiecentra blijven manuele order picking verkiezen (Henn et al., 2012). Bedrijven opteren vaak voor deze arbeid door de grotere flexibiliteit (Giannikas et al., 2017). Menselijke order pickers kunnen namelijk onverwachte gebeurtenissen makkelijker verwerken dan robots. Daarnaast zijn mensen flexibeler wat betreft de capaciteit en de variëteit.

Dergelijke handmatige orderverzamelsystemen kunnen onderscheiden worden in twee categorieën: picker-to-parts systemen, waarbij orderverzamelaars zich door het magazijn gaan verplaatsen en de gevraagde artikelen gaan ophalen; en parts-to-picker systemen, waarbij geautomatiseerde opslagsystemen de artikelen leveren aan orderverzamelaars. Onder deze arbeid wordt picker-to-parts als het belangrijkste systeem beschouwd (Henn et al., 2012).

Beslissingen om order picking te beheren kunnen ingedeeld worden op drie niveaus: strategisch niveau, tactisch niveau en operationeel niveau (zie Figuur 1). Strategische beslissingen verwijzen naar het beleid en de plannen voor het gebruik van de middelen om de concurrentiestrategie op lange termijn te vervullen. Indeling van het magazijn en het niveau van automatisatie zijn voorbeelden van strategische beslissingen. Op het tactisch niveau worden beslissingen genomen die een effect hebben op middellange termijn. Voorbeelden van tactische beslissingen zijn het bepalen van de opslagcapaciteit en de grootte van de pickzones. Tot slot hebben operationele beslissingen meestal betrekking op dagdagelijkse activiteiten zoals job toewijzing en batching (van Gils, Ramaekers, Caris, & de Koster, 2018). In dit onderzoek zal er gefocust worden op de operationele beslissingen.



Figuur 1: Voorbeelden van strategische, tactische en operationele beslissingen (van Gils et al., 2018).

Magazijnen kunnen voor drie operationele planningsproblemen komen te staan: het samenstellen van klantenbestellingen in batches, het toekennen van de beste route aan een order picker en het toewijzen van batches aan order pickers. Deze drie problemen zijn onderling afhankelijk van elkaar, maar in de literatuur worden ze vaak afzonderlijk opgelost (Kübler, Glock, Baurhansl, 2020). Eerder onderzoek heeft aangetoond dat het samenstellen van klantenbestellingen in batches het order picking proces significant kan verbeteren. De belangrijkste doelstelling van deze activiteit is het verkleinen van de gemiddelde pick-reisafstand en het verhogen van de verwerkingscapaciteit. Daarnaast kunnen de prestaties van het proces van order picking doorgaans worden bepaald door zeven aspecten: batching, routing, opslagbeleid, zonering, lay-out ontwerp van het magazijn, pickuitrusting en personeelsplanning (Bukchin et al., 2012).

Toenemende klantenbehoefes, hoge concurrentie en technologische vernieuwingen zorgen ervoor dat bedrijven hun klantenorders zo efficiënt mogelijk moeten verwerken, bij voorkeur met korte reactietijden en minimale inspanningen (Schrotenboer, Wruck, Vis, & Roodbergen, 2019). Om hieraan te voldoen moeten distributiecentra informatie real-time gaan verwerken. Daarnaast moeten systemen zo dynamisch mogelijk zijn waarbij de producten geen vaste plaatsen hebben, de orders dynamisch worden vrijgegeven en de reistijd van de pickers gereduceerd wordt (Gong & de Koster, 2011). De tijd die de order picker nodig heeft voor het voltooien van een tour wordt ook wel de orderverwerkingstijd genoemd. Deze orderverwerkingstijd bestaat uit vier componenten: de tijd die nodig is voor het verplaatsen in het magazijn om de orders te gaan verzamelen (de reistijd), de tijd die nodig is voor de identificatie van de artikelen (de zoektijd), de tijd die nodig is voor het verplaatsen van artikelen op het pickapparaat (de picktijd) en de tijd die nodig is voor de administratie en set-up aan het begin en einde van elke tour (de set-up tijd). De reistijd is hierbij de meest tijdrovende activiteit van de vier componenten (Henn et al., 2012).

Ondanks de vele studies die reeds werden uitgevoerd om order picking te verbeteren, blijft het efficiënt beheren van het proces van order picking nog steeds complex. Dit proces is namelijk afhankelijk van verschillende elementen, zoals het aantal en de grootte van de producten en de klantenorders. De waarde, de verpakking, het voorraadniveau en de verkoop van de producten zijn ook voorbeelden van elementen die ervoor zorgen dat het beheren van order picking een ingewikkeld proces is (Marchet, Melacini, & Perotti, 2014).

1.1 Onderzoeksvragen

Op basis van bovenstaand praktijkprobleem kan er geconcludeerd worden dat het belangrijk is om een geoptimaliseerde order picking methode te gebruiken in een distributiecentrum. Hieruit kan de centrale onderzoeksvraag worden geformuleerd:

“Hoe kunnen order picking activiteiten in een dynamische setting geoptimaliseerd worden?”

Het begrip dynamisch wijst op het feit dat de planning in een distributiecentrum continu moet worden bijgestuurd als gevolg van nieuwe inkomende bestellingen.

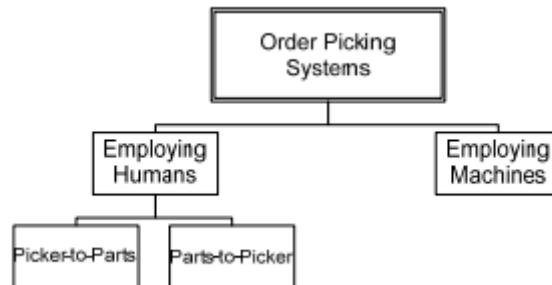
Om een sluitend antwoord te vinden op de centrale onderzoeksvraag, wordt er gebruik gemaakt van een aantal deelvragen.

Deelvraag 1: Hoe ziet het proces van order picking eruit?

Voordat de centrale onderzoeksvraag kan beantwoord worden, is het eerst en vooral belangrijk om de essentie van het begrip order picking te begrijpen. De definitie en het proces van order picking worden in deze masterproef onder andere uitvoerig besproken.

Daarnaast bestaan er in de literatuur verschillende methodes van order picking. Deze verschillende methodes zullen aan de hand van Figuur 2 worden uitgelegd. Op deze figuur wordt er eerst een onderscheid gemaakt tussen manuele order picking systemen en systemen die ondersteund worden door machines. Onder manuele order picking kunnen er twee categorieën onderscheiden worden, namelijk: picker-to-parts en parts-to-picker (Henn & Wäscher, 2012). In dit onderzoek zal de nadruk liggen op manuele order picking waarbij de arbeiders langs de opslaglocaties rijden of wandelen en

de gevraagde bestellingen ophalen. Er wordt voor het picker-to-parts systeem gekozen omdat het merendeel van distributiecentra in West-Europa dit systeem opteren (van Gils et al., 2018).



Figuur 2: Classificatie van order picking systemen (Henn et al., 2012).

Deelvraag 2: Welke planningsproblemen bestaan er?

Na een afbakening van het begrip order picking, zal deze masterproef zich richten op de operationele planningsproblemen met betrekking tot order picking in een magazijn. In distributiecentra bestaan er drie operationele planningsproblemen namelijk het order batching probleem, het picker routing probleem en het picker scheduling probleem.

Om competitief te blijven, besteden magazijnmanagers veel aandacht aan de planning van het systeem van order picking. Managers leggen hier de focus op omdat order picking de efficiëntie in distributiecentra significant kan verhogen (Vanheusden, van Gils, Caris, Ramaekers, & Braekers, 2020). Het is belangrijk voor magazijnen om de verzameltijd van de orders te minimaliseren. Deze tijd is afhankelijk van de manier waarop de bestellingen van klanten worden samengevoegd (batching), hoe de batches aan de pickers worden toegewezen (picker scheduling) en hoe de pickers worden gerouteerd door het magazijn (routing) (Scholz, Schubert, & Wäscher, 2017). Deze beslissingen worden traditioneel achtereenvolgens genomen: als eerste worden de bestellingen gegroepeerd op basis van hun afstand en tijd, vervolgens wordt elke batch gerouteerd en tenslotte worden de batches toegewezen aan de eerste beschikbare order picker (van Gils, Caris, Ramaekers, & Braekers, 2019).

De operationele planningsproblemen hangen nauw samen. Het lijkt daarom vanzelfsprekend om deze problemen gelijktijdig op te lossen zodat er zo goed mogelijk wordt voldaan aan de opgegeven einddatum. Slechts een aantal papers houden echter rekening met het simultaan oplossen van de planningsproblemen (Scholz et al., 2017).

Deelvraag 3: Welke dynamische varianten/oplossingen bestaan er in de literatuur?

In de praktijk zijn er diverse oplossingen onderzocht voor deze drie operationele planningsproblemen. Deze oplossingen kunnen zowel statisch zijn als dynamisch. In deze thesis gaat er vooral gekeken worden naar de dynamische varianten. Bij dynamische varianten wordt de planning in distributiecentra voortdurend bijgestuurd. Deze voortdurende bijsturing is een gevolg van nieuwe inkomende orders. Er gaat bij zo'n dynamisch systeem dus onder andere bekeken worden hoe de batches aangepast worden als er nog orders aankomen. Bij een dynamisch systeem wordt er ook gekeken naar de order pickers die reeds bezig zijn aan hun route (Gong & de Koster, 2011).

Deelvraag 4: In welke mate kan een oplossing toegepast worden in de realiteit?

In dit gedeelte van de masterproef wordt een toepassing van een dynamisch variant van de drie operationele planningsproblemen geanalyseerd. De oplossing van de dataset zal onderzocht worden zodat er verschillende conclusies genomen kunnen worden. De doelstelling van dit empirisch onderzoek is om na te gaan welke invloed het dynamische karakter heeft op de totale tardiness en de totale order pick tijd.

1.2 Onderzoeksopzet

Deze masterproef zal vanuit twee invalshoeken benaderd worden. In het eerste deel zal er een literatuurstudie worden uitgevoerd. In het tweede deel zal de literatuurstudie aangevuld worden met een empirisch onderzoek.

1.2.1 Literatuurstudie

In deze masterproef zal er voor de eerste deelvragen een literatuurstudie worden uitgevoerd. Deze studie zal gebaseerd zijn op de kennis en theorieën die uit wetenschappelijke artikels komen. De artikels worden geraadpleegd uit de volgende databanken: Google Scholar, bibliotheek Universiteit Hasselt en ResearchGate. Daarnaast wordt er ook gebruik gemaakt van de sneeuwbalmethode, dit wil zeggen dat de literatuurlijst van een interessant artikel geraadpleegd zal worden.

Er worden voornamelijk Engelstalige wetenschappelijke artikels geraadpleegd aangezien de Nederlandstalige literatuur in deze databanken zeer beperkt is. Om te bepalen of een artikel relevant is, wordt er eerst gekeken naar het abstract. De inleiding en conclusie worden achteraf onderzocht. Als een artikel van toepassing is voor het onderzoek, zal deze opgenomen worden in de masterproef. Het opzoeken van relevante artikelen zal gebeuren aan de hand van de volgende trefwoorden: 'dynamic order picking', 'order batching', 'order picking problems', 'order picking with multiple pickers', 'batching problem', 'picker routing' en 'batch scheduling problem'.

Er wordt in deze wetenschappelijke artikels voornamelijk gefocust op welke problemen er voorkomen bij order picking en de bijhorende assumpties en beperkingen.

1.2.2 Experimenten

Na het uitvoeren van een literatuurstudie zal er vervolgens een empirisch onderzoek worden uitgevoerd. Dit onderzoek zal gebaseerd zijn op een reeds bestaand model (D'Haen, Braekers, & Ramaekers, 2020).

Er zal in dit praktijkgedeelte een aantal experimenten uitgevoerd worden aan de hand van bestaand een algoritme. De operationele planningsproblemen betreffende order picking in een distributiecentrum worden in dit algoritme opgenomen. Deze drie operationele planningsproblemen zullen in een dynamische context worden geplaatst om zo het effect te bepalen in termen van totale tardiness en totale order pick tijd.

De analyse van de data gebeurt op basis van vier verschillende invalshoeken: de grootte van de staging area, het aantal gekende orders aan het begin van de planningsperiode, de verdeling van due dates doorheen de dag en de verdeling van de release van de orders.

2 Literatuurstudie

De literatuurstudie in deze masterproef bestaat uit drie secties. In sectie 2.1 wordt het proces van order picking in een distributiecentrum uitvoerig besproken. In sectie 2.2 worden de planningsproblemen uitgelegd. In de laatste sectie 2.3 worden verschillende varianten/beperkingen van de operationele planningsproblemen geanalyseerd.

2.1 Order picking in een distributiecentrum

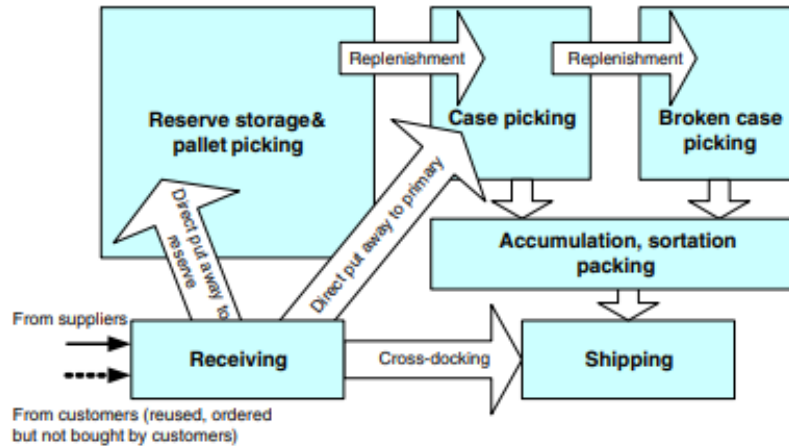
Deze sectie bestaat uit twee subsecties. In sectie 2.1.1 wordt er een kort overzicht gegeven van de verschillende functies in een magazijn. Vervolgens wordt in sectie 2.1.2 het proces van order picking uitvoerig besproken.

2.1.1 Functies in een distributiecentrum

Magazijnen zijn een belangrijk onderdeel binnen de logistieke keten van een bedrijf. Een magazijn wordt gebruikt voor het opslaan van producten (grondstoffen, goederen in bewerking en afgewerkte producten) of als buffer tussen de plaats van oorsprong en het punt van consumptie. Indien buffering en opslag de belangrijkste functie zijn, wordt de term "magazijn" gebruikt. Wanneer distributie de hoofdfunctie is, wordt vaak de term "distributiecentrum" gebruikt. Distributie is de hoofdfunctie wanneer de order pickers door het magazijn gaan bewegen om de verschillende orders te verzamelen. Indien distributie niet de hoofdfunctie is dan wordt het gebouw enkel als stockage gebruikt. De term magazijn wordt dan verkozen. Dit onderzoek is gericht op order picking uit de voorraad. Om deze reden wordt de term "distributiecentrum" doorheen deze masterproef gebruikt (De koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Figuur 3 toont de functionele gebieden en stromen binnen een distributiecentrum. De belangrijkste activiteiten binnen een distributiecentrum zijn: ontvangst, overdracht en de opslag van goederen, order picking, accumulatie/sortering, cross-docking en de verzending van goederen. Het ontvangen van de goederen omvat de volgende activiteiten: het lossen van producten van vervoerders, het bijwerken van de inventarislijst en het controleren van goederen om te bepalen of er inconsistenties zijn in de kwaliteit en/of kwantiteit. De activiteiten overdracht en opslag van goederen omvatten het overbrengen van inkomende producten naar de opslaglocaties. Het kan hier ook gaan over herverpakking van producten (bijvoorbeeld volle pallets ompakken naar kisten). Order picking is de belangrijkste activiteit in een distributiecentrum, het gaat om het proces van het verzamelen van de juiste hoeveelheid van het juiste product voor een reeks van klantenorders. Nadat de bestellingen verzameld zijn moeten de orders gesorteerd worden in individuele klantenorders (De koster et al., 2007).

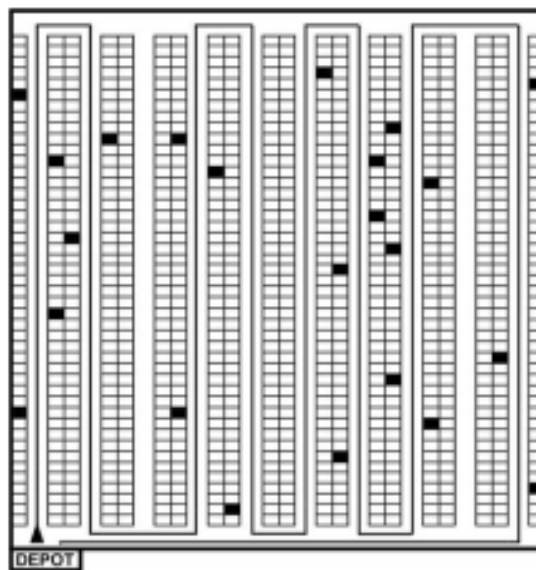
In een distributiecentrum wordt er vaak aan cross-docking gedaan. Cross-docking is een strategie waarbij de goederen die binnenkomen (bijna) rechtstreeks worden doorgestuurd naar het uitgaand proces. De goederen worden bij cross-docking niet opgeslagen tussendoor en deze orders moeten bijgevolg niet verzameld worden uit het distributiecentrum (Van Belle, Valckenaers, & Cattrysse, 2012).



Figuur 3: Verschillende functies binnen een distributiecentrum (De koster et al., 2007).

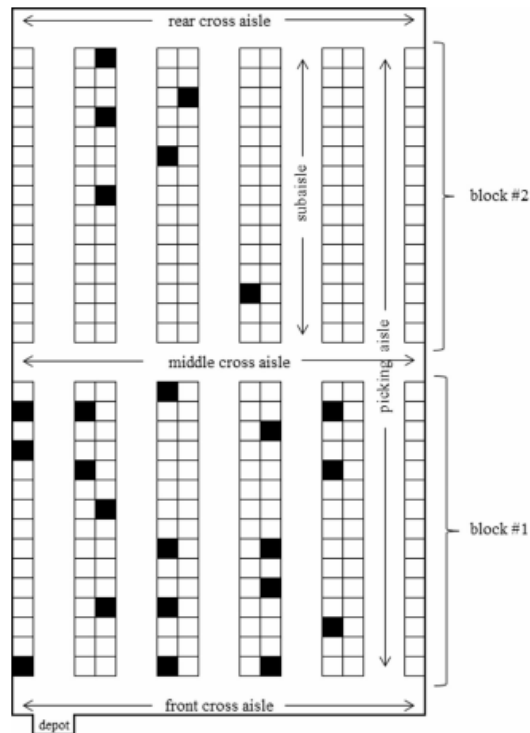
Een distributiecentrum kan op verschillende manieren worden opgedeeld. Distributiecentra bestaan uit dwarsdoorgangen en gangen waaruit order pickers de items gaan verzamelen. De dwarsdoorgangen verdelen het distributiecentrum in verschillende blokken waardoor de werknemers sneller door het magazijn kunnen bewegen (Scholz et al., 2017).

Indien er enkel twee dwarsdoorgangen zijn, die zich aan de voorkant en de achterkant van het distributiecentrum bevinden, heeft het distributiecentrum een 'one-block lay-out' (Figuur 4).



Figuur 4: One-block lay-out

Indien er nog één dwarsdoorgang in het midden wordt toegevoegd en er bijgevolg drie dwarsdoorgangen zijn, wordt de term 'two-block lay-out' gebruikt (Figuur 5). Wanneer er meer dan drie dwarsdoorgangen zijn, ontstaat er een 'multi-block layout' (Kübler et al., 2020; Scholz et al., 2017).



Figuur 5: Two-block lay-out.

2.1.2 Functies van order picking

Order picking is de belangrijkste activiteit in een distributiecentrum. Deze functie is cruciaal voor elk bedrijf aangezien ondermaatse prestaties kunnen leiden tot onbevredigende klantenservice, door bijvoorbeeld lange wachttijden of onjuiste verzendingen, en extra kosten. Deze kosten kunnen ontstaan door de extra arbeid die de bedrijven moeten inzetten of door additionele verzendingen en/of noodzendingen (Henn et al., 2012).

Het proces van order picking kan als volgt worden omschreven: eerst ontvangt de order picker een bestelling op de picklijst. Deze picklijst geeft de kenmerken weer van de artikelen die verzameld moeten worden. Daarnaast specificeert de picklijst de artikelnummers en de artikellocaties. Na het ontvangen van een picklijst loopt de order picker, meestal met behulp van een karretje, naar de opslaglocaties waar hij/zij de benodigde goederen ophaalt en vervolgens keert hij/zij terug naar het depot. Het depot is de plaatst waar de rondes van de order pickers beginnen en eindigen en de plaats waar de verzamelde items worden afgezet, ingepakt en vervoerd (Grosse & Glock, 2015). Het order picking proces kan met andere woorden gedefinieerd worden als het proces van het ophalen van items uit opslaglocaties als reactie op een specifiek verzoek van een klant (Dukic, Cesnik, Opetuk, 2010).

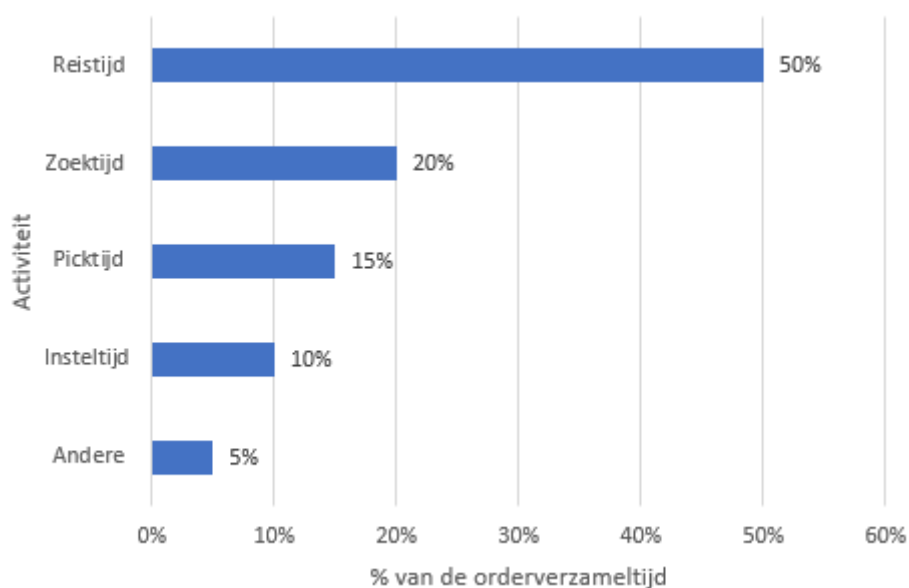
Er kunnen in praktijk twee methodes van order picking worden onderscheiden, namelijk manuele order picking systemen en methodes die ondersteund worden door machines. De manuele order picking systemen kunnen worden onderverdeeld in picker-to-parts systemen en parts-to-picker systemen. In het picker-to-parts systeem kan er een onderscheid gemaakt worden tussen low-level picking en high-level picking. Bij low-level systemen verzamelt de order picker de gevraagde

artikelen uit de opslagrekken terwijl hij langs de opslaglocaties loopt. De artikelen kunnen bij dit systeem verwijderd worden van de pallets die direct toegankelijk zijn voor de order picker. In high-level systemen wordt er gebruik gemaakt van hoge opslagrekken. In dit systeem gaat de order picker met behulp van een kraan of een voertuig met hijsplatform zich verplaatsen door het magazijn. In het parts-to-picker systeem halen geautomatiseerde opslag en zoeksystemen (AS/RS) goederen uit het magazijn, die getransporteerd worden naar een depot, waar er één of meerdere order pickers zijn. De order pickers verwijderen de gevraagde artikelen en het AS/RS systeem brengt de resterende lading terug naar de juiste locatie in het distributiecentrum. In West-Europa gebruiken meer dan 80% van alle order picking systemen het low-level picker-to-parts systeem (Henn et al., 2012).

Het is belangrijk om de efficiëntie van het proces van order picking te optimaliseren. Met behulp van een juist operationeel beleid kan de efficiëntie van het proces worden verbeterd. In de praktijk kan het verkorten van de pick tijd veel arbeidskosten besparen. Een verkorting van de pick tijd zorgt er namelijk voor dat de reguliere werktijden van de pickers worden verkort, maar ook dat dure overuren worden verminderd of zelfs dat het bedrijf het aantal werknemers kan reduceren. Daarnaast is de pick tijd een essentieel onderdeel van de levertijd van een product naar een klant. Een verkorting van de pick tijd kan dus rechtsreeks leiden tot verbetering van de klantenservice (Henn et al., 2012).

De tijd om een order te picken kan verdeeld worden in vier componenten: de benodigde reistijd voor het verzamelen van de gewenste goederen, de zoektijd die nodig is voor de identificatie van de artikelen, de pick tijd die nodig is voor het verplaatsen van de gewenste producten op het pickapparaat en de tijd die nodig is voor de set-up.

Uit Figuur 6 is af te leiden dat de tijd die order pickers nodig hebben voor de verplaatsingen om orders te gaan verzamelen de meest tijdrovende activiteit is. Die reistijd bedraagt ongeveer 50% van de totale order picking tijd. De andere activiteiten kunnen als constanten of zelfs als verwaarloosbaar worden beschouwd.



Figuur 6: Verdeling van de tijd van een order picker.

Kübler et al. (2007) veronderstelden dat bij manuele order picking systemen de reistijd en de reisafstand evenredig evolueren. Recentere studies tonen echter aan dat de reistijd niet enkel afhankelijk is van de reisafstand maar ook van andere factoren. De reistijd is onder andere afhankelijk van het aantal stops die een order picker maakt, hoeveel gangen de orderverzamelaar moet doorlopen en de niveaus in het opslagsysteem (low-level vs. high-level). Daarnaast heeft de breedte van het gangpad ook een invloed op de reistijd. Indien de gangen niet breed genoeg zijn, is het draaien van het pickapparaat onmogelijk. Indien de order picker het pickapparaat wel moet draaien, moet de order picker helemaal achteruit rijden met zijn pickapparaat tot aan de dwarsdoorgang waar hij uiteindelijk kan draaien (Vanheusden et al., 2020).

Het minimaliseren van de reisafstand is vaak de primaire doelstelling voor distributiecentra. Het minimaliseren van de reisafstand is echter slechts één van de vele manieren om de efficiëntie te verbeteren. Een andere belangrijke doelstelling zou het minimaliseren van totale kosten zijn, dit zowel op operationeel vlak als op vlak van investeringen. Andere doelstellingen die vaak in rekening worden zijn: het gebruik van de ruimte efficiënt organiseren, apparatuur en/of arbeid te maximaliseren of de doorlooptijd van een order tot een minimum te beperken (De koster et al., 2007).

2.2 Planningsproblemen in een magazijn

In deze sectie worden kort de verschillende niveaus van beslissingen besproken. Vervolgens worden de operationele planningsproblemen uitvoerig geanalyseerd.

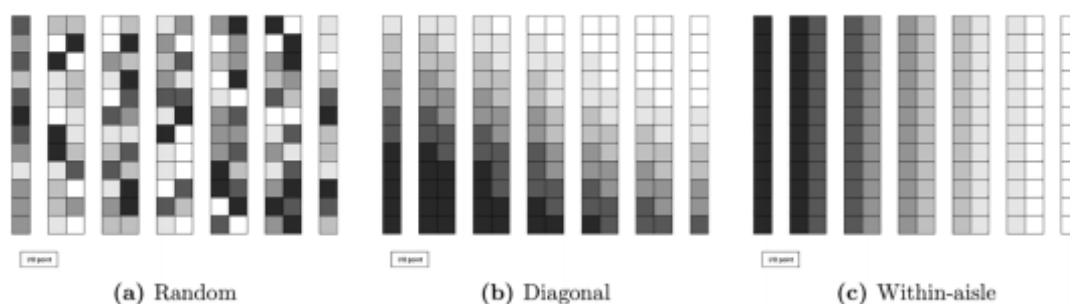
Beslissingen om het proces van order picking te managen kunnen worden onderverdeeld in strategische, tactische en operationele beslissingen. Zoals eerder vermeld omvat de besluitvorming op het strategisch niveau het beleid en de plannen voor het gebruik van middelen om de concurrentiestrategie op lange termijn te vervullen (van Gils et al., 2018). In de literatuur worden er drie strategische planningsproblemen geïdentificeerd. Een eerste strategisch planningsprobleem is de keuze van technische uitrusting. Dit probleem bepaalt het gebruik van technologische hulpmiddelen om het proces van order picken te vergemakkelijken (Vanheusden et al., 2020). Een voorbeeld hiervan is pick by voice, bij deze technologie maakt men gebruik van audio- en spraakbesturing om het pick proces te begeleiden (de Vries, de Koster, & Stam, 2016). Ten tweede moeten magazijnen beslissingen maken over de configuratie van de opslagrekken. Deze beslissing specificeert de breedte en de hoogte van de opslagrekken, evenals de lengte en breedte van de gangpaden en dwarsdoorgangen rekening houdend met de grootte of capaciteitseisen van het distributiecentrum. De derde beslissing op strategisch niveau is de locatie van het depot bepalen. Deze beslissing bepaalt eveneens het aantal depots in een distributiecentrum (Vanheusden et al., 2020).

Op het tactisch niveau worden beslissingen genomen die een effect hebben op middellange termijn. De volgende tactische planningsproblemen kunnen worden onderscheiden: zonerings, sortering, replenishment en opslagtoewijzing. De zoneringsbeslissingen kunnen verder ook nog opgedeeld worden in drie categorieën: zone locatie, zone toewijzing en zone picking. Zone locatie zijn de beslissingen over hoe de ruimte, waar de werknemers hun gewenste producten gaan picken, kan opgesplitst worden in verschillende zones. De beslissing over welke producten worden toegewezen

aan een bepaalde zone wordt zone toewijzing genoemd. Deze toewijzing kan op basis van producteigenschappen of markeigenschappen zijn. Vervolgens definieert zone picking de doorstroom van de klantenbestellingen door de verschillende zones. Daarnaast is het sorteren van producten een cruciale activiteit in het proces van order picking. Sorteren kan uitgevoerd worden na het vervolledigen van de batch of tijdens het verzamelen van de batch. Replenishment zijn de beslissingen over hoe en wanneer de opslaglocaties in een distributiecentrum moeten worden aangevuld (Vanheusden et al., 2020).

Tenslotte bepalen de beslissingen omtrent de opslagtoewijzing de regels over de toewijzing van producten aan ofwel individuele opslaglocaties of opslagklassen (Vanheusden et al., 2020). Dit wordt ook wel het storage location probleem genoemd. Het is belangrijk dat de opslagtoewijzing van een distributiecentrum dynamisch is zodat een bedrijf kan voldoen aan de behoeften van de klant. Dit wordt voorzien door een continue verschuiving van de opslaglocaties. Deze reorganisatie van de opslaglocaties wordt overwogen om zo de totale reisafstand van alle order pickers te minimaliseren. Om te voldoen aan het dynamische karakter gaan magazijnen hun opslaglocaties maandelijks wijzigen. Het storage location probleem omvat de problemen die te maken hebben met de toewijzing van producten aan opslaglocaties.

Er bestaan meerdere soorten opslagallocatie. De drie belangrijkste soorten voor opslagallocaties zijn random, dedicated en class-based. Het willekeurig toewijzen van items aan opslaglocaties is het eenvoudigste, maar het nadeel van dit beleid zijn de langere reistijden. Bij een dedicated opslagbeleid worden de beste locaties in het magazijn voorbehouden voor producten met een hoge omloopsnelheid. De producten met een hoge omloopsnelheid worden bepaald door een op vraag gebaseerde regel. Als laatste is er het class-based beleid, waar men het magazijn zal verdelen in verschillende zones en producten in verschillende klassen. Vervolgens wordt elke klasse toegewezen aan een zone, de uiteindelijke positie van het product binnen de toegewezen zone is willekeurig bepaald. Daarnaast kunnen producten ook toegewezen worden aan opslaglocaties door hun verwantschap. Producten die vaak samen worden verkocht, liggen bij dit beleid dicht bij elkaar. Figuur 7 laat het verschil zien tussen het random en het class-based beleid. Producten met een vergelijkbare vraag worden afgebeeld door een vierkant met dezelfde achtergrondkleur. Figuur 7(b) en (c) zijn voorbeelden van een class-based beleid (Silva, Coelho, Darvish, & Renaud, 2020).



Figuur 7: Random beleid en class-based beleid (Silva et al., 2020).

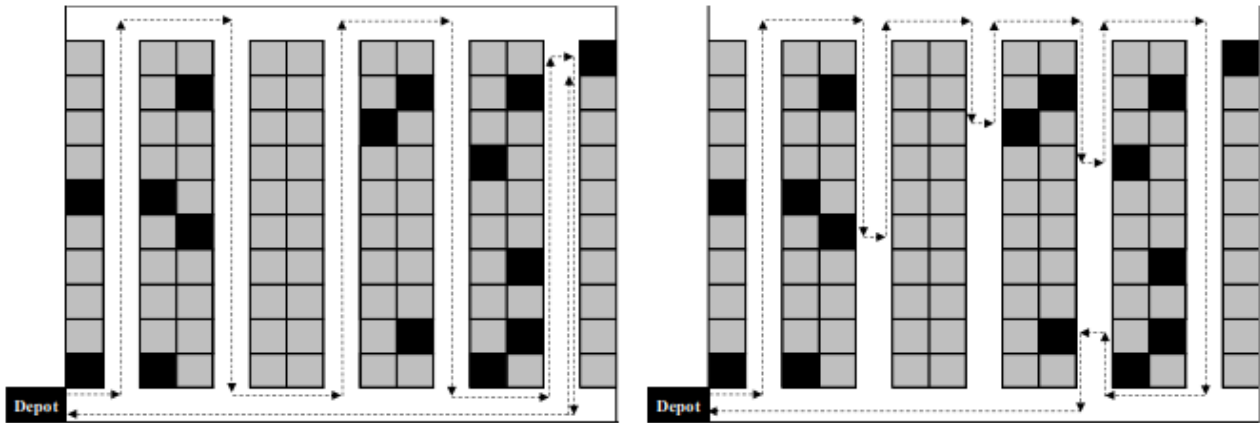
Als laatste zijn er de operationele planningsproblemen. Deze problemen worden in dit onderzoek uitvoerig besproken. Als eerste zullen de operationele planningsproblemen in dit hoofdstuk verder uitgelegd worden. Daarna worden in het volgende deel van dit onderzoek verschillende oplossingen en varianten ervan onderzocht.

Het eerste operationele probleem is het order batching probleem. Het order batching probleem kan als volgt worden omschreven: hoe kan de som van de totale tijd van routes tot een minimum beperkt worden, rekening houdend met de routingstrategie, de verschillende opslaglocaties van de artikelen en de capaciteit van het pickapparaat. Een bedrijf gaat bij het batching probleem voornamelijk kijken welke orders in eenzelfde route gepickt kunnen worden om de totale order pick tijd te minimaliseren. Daarbij maakt de order picker gebruik van een picklijst. Deze lijst specificeert de volgorde waarin werknemers de benodigde artikelen moeten verzamelen, evenals de hoeveelheden die de arbeiders moeten picken. Een picklijst kan de artikelen van een enkel klantenorder bevatten of van een combinatie van klantenorders. De volgorde waarin de artikelen worden verzameld en de overeenkomstige route van de order picker worden bepaald aan de hand van een routingstrategie (Scholz et al., 2017).

Order pickers gebruiken meestal een apparaat (bijvoorbeeld een karretje of een rolpallet) voor het verzamelen van de gevraagde artikelen. Klantenorders kunnen gecombineerd worden totdat de capaciteit van het apparaat overschreden is en er bijgevolg geen plaats meer is op het apparaat. Deze capaciteit wordt meestal bepaald door het aantal items. Daarnaast is het opsplitsen van een klantenorder in twee of meerdere batches afgeraden, dit zou namelijk leiden tot extra sorteerinspanning (Henn, 2012).

Het tweede operationeel planningsprobleem is het picker routing probleem. Het primaire doel van dit probleem is het minimaliseren van de reistijd van de order picker, rekening houdend met een set van op te halen artikelen en de opslaglocaties in het magazijn. Dit probleem is nauw gerelateerd aan het Travelling Salesman Problem (TSP), wat kan worden gebruikt om dit probleem efficiënt op te lossen. In de praktijk worden echter vaak de optimale routes buiten beschouwing gehouden omdat deze ingewikkeld en moeilijk te onthouden zijn voor de order pickers. Distributiecentra geven vaak de voorkeur aan eenvoudige routingstrategieën. De toepassing van deze eenvoudige routingstrategieën kan beschouwd worden als een heuristische aanpak voor het picker routing probleem. De vier bekendste strategieën zijn: S-vorm, the largest gap, de midpoint en de return (Scholz et al., 2017).

Figuur 8 illustreert het eenvoudige karakter van de S-vorm strategie en de largest gap strategie. De zwarte rechthoeken geven de posities weer van de locaties van de items die verzameld moeten worden (Henn, 2012).

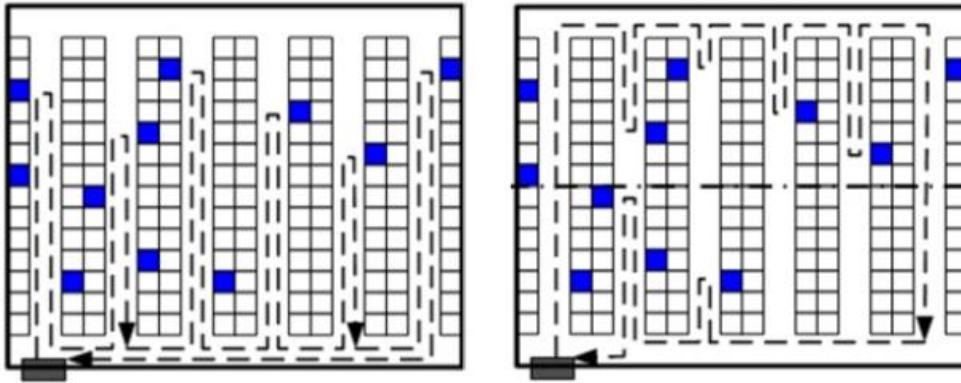


Figuur 8: Voorbeeld van S-vorm (links) en Largest Gap (rechts) (Cano, Correa-Espinal, & Gomez-Montoya, 2017).

Indien er gebruikt gemaakt wordt van de S-vorm strategie, moet de order picker elk gangpad volledig doorkruisen als deze ten minste één picklocatie bevat. Gangpaden die geen picklocatie bevatten worden dus overgeslagen. De S-vorm strategie is voordelig wanneer de picklijst veel picklocaties bevat waarbij de picklocaties dicht bij elkaar liggen. Deze strategie wordt ook wel transversal genoemd. Dit is de eenvoudigste strategie voor order pickers om de gewenste artikelen uit het distributiecentrum te verzamelen. Bij de largest gap doorkruist de order picker het eerste en het laatste gangpad volledig. Alle andere gangpaden worden enkel binnengegaan indien er een picklocatie aanwezig is. Daarnaast zal er bij deze strategie ook nog gekeken worden of de picklocatie aan het begin van de gang ligt of aan het einde. Als de picklocatie aan het begin van de gang ligt, loopt hij het gangpad binnen. Als de picklocatie echter aan het einde van de gang ligt zal hij deze pas inlopen als hij de andere dwarsdoorgang aan de overkant doorloopt. Deze strategie is voornamelijk voordelig bij het gebruik van een picklijst waar weinig verschillende picklocaties op staan (Henn, Koch, Doerner, Strauss & Wäscher, 2010; Cano et al.,2017).

Wanneer een magazijn de return strategie kiest, komt de order picker binnen en verlaat hij elke gang vanaf de voorste dwarsdoorgang. Voor de midpoint strategie, is het magazijn verdeeld in twee gebieden waarbij het eerste gebied kan bereikt worden via de voorste dwarsgang en het achterste gebied kan bereikt worden via de achterste dwarsgang (Figuur 9). De midpoint strategie is gelijkaardig aan de largest gap strategie. Het verschil tussen beide is dat het terugkeerpunt bij de largest gap strategie vastgelegd wordt door de grootste kloof tussen twee picklocaties. Bij de midpoint strategie wordt dit terugkeerpunt bepaald door het midden van het gangpad (Scholz et al., 2017; Cano et al.,2017).

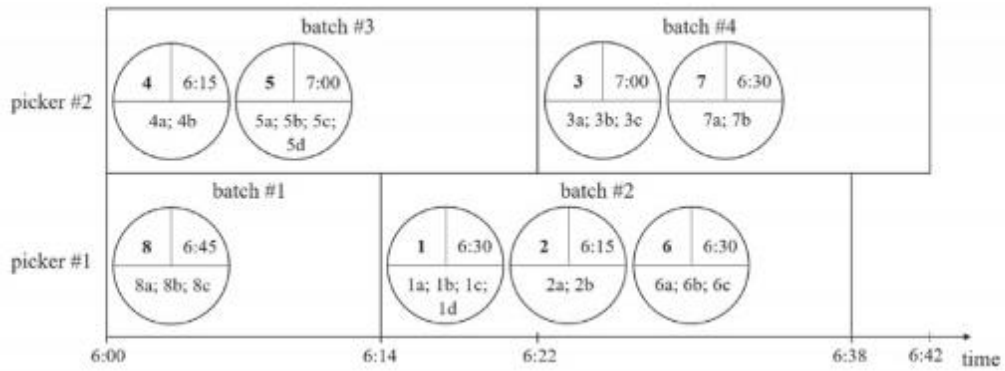
Deze vier routingstrategieën zijn zoals eerder vermeld vrij eenvoudig. De strategieën zorgen ervoor dat alle picklocaties bezocht worden en er geen enkele locatie (per ongeluk) wordt overgeslagen (Scholz et al., 2017).



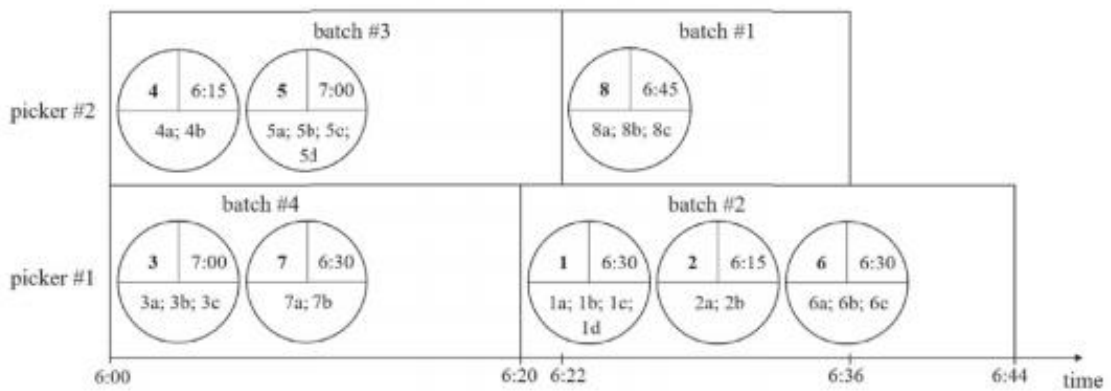
Figuur 9: Voorbeeld van return (links) en midpoint (rechts).

Het derde operationeel planningsprobleem is het picker scheduling probleem. Dit probleem wijst batches toe aan order pickers en bepaalt hiervan ook de volgorde. Dit probleem moet geoptimaliseerd worden zodat alle klantenorders op tijd worden verzameld (Van Gils et al., 2019).

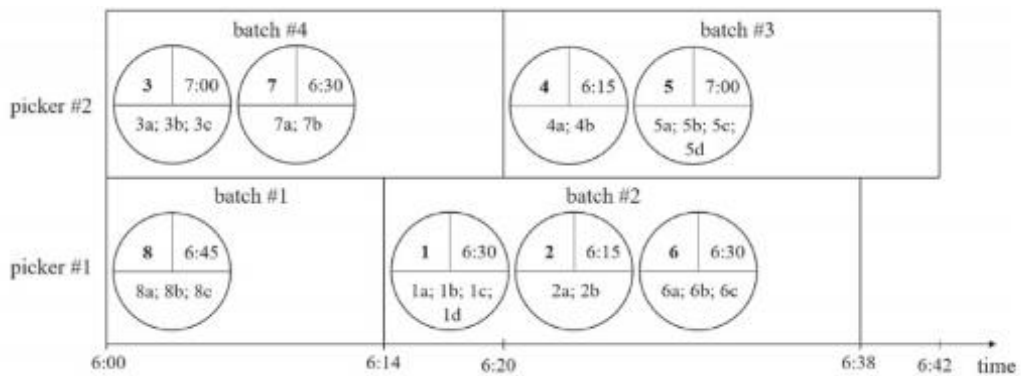
Deze drie operationele problemen kunnen aan de hand van een voorbeeld geïllustreerd worden (Figuur 10). In het voorbeeld zijn er acht bestellingen van klanten die verzameld moeten worden door twee order pickers. Op Figuur 10 is te zien dat elke batch wordt afgebeeld door een rechthoek. Daarnaast bestaat elke batch uit meerdere klantenorders, waarbij elke klantenorder bestaat uit meerdere artikelen die de order pickers moeten verzamelen. Indien er bijvoorbeeld gekeken wordt naar batch #3, kan er worden vastgesteld dat deze bestaat uit klantenorder #4 (te verzamelen artikelen: 4a en 4b) en klantenorder #5 (te verzamelen artikelen: 5a, 5b, 5c en 5d). De voltooiingstijden van de klantenorders die in één batch zitten zijn identiek. Dit wordt ook weergegeven op het schema in Figuur 10. De voltooiingstijd van klantenorder #4 en klantenorder #5 is 6:22. Deze tijd kon anders zijn indien er een andere samenstelling was van batches en/of de batches anders werden toegewezen aan de order pickers. Op Figuur 10 (b) en (c) is dit duidelijk vast te stellen. De voltooiingstijd van alle batches wordt beïnvloed door bepaalde wijzigingen te maken.



a) Huidige oplossingen



b) Oplossing na wijzig van batchtoewijzing

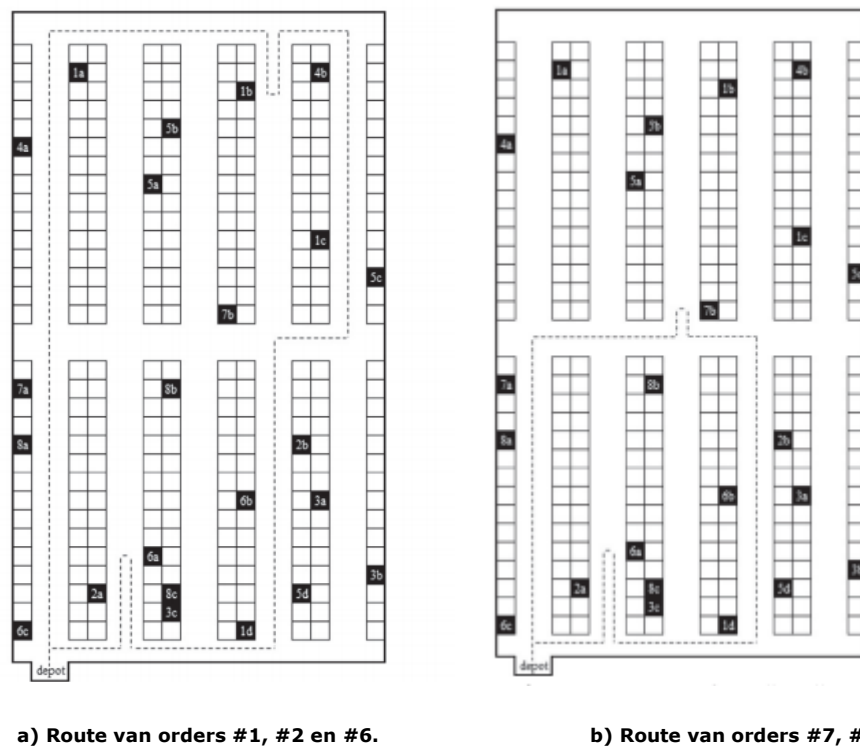


c) Oplossing na wijzig van de volgorde van batches

Figuur 10: Impact van het wijzigen van de toewijzing en de volgorde van de batches (Scholz et al., 2017).

Op Figuur 11 is een voorbeeld gegeven van een picking tour op basis van batch #2 die weergegeven wordt op Figuur 10. Door een andere samenstelling van de batches is de route op Figuur 11 (b) veel korter. Omdat deze route korter is, zal de order picker minder tijd nodig hebben om zich door het distributiecentrum te bewegen en dit heeft bijgevolg een positieve impact op de verwerktijd van de batch.

In magazijnen moeten producten vaak verzameld worden voor een bepaald tijdstip. Deze uiterste datum wordt gehanteerd om de klant te garanderen dat het product op tijd wordt geleverd. Uit het schema in Figuur 10 (a) kan dit ook afgeleid worden. In het voorbeeld zijn de vooropgestelde tijden van klantenorder #5 en #6 om 7:00 en 6:30. Volgens de planning is klantenorder #5 om 6:22 voltooid, dit wil zeggen dat de bestelling op tijd klaar is. Maar als er gekeken wordt naar klantenorder #6 is deze bestelling pas klaar om 6:38, deze bestelling loopt dus een vertraging op van acht minuten. Zoals eerder vermeld is de toewijzing van batches in Figuur 10 (b) veranderd. Bestelling #5 is hier ook op tijd klaar maar bestelling #6 loopt hier een vertraging op van veertien minuten. Bedrijven moeten zorgen dat de tijd van vertraging zo minimaal mogelijk is omdat deze vertraging kan leiden tot ontevreden klanten (Scholz et al., 2017).



Figuur 11: Impact van de beslissingen van order batching op de routing van de order pickers (Scholz et al., 2017).

2.3 Varianten/oplossingen van de planningsproblemen

In deze sectie wordt het verschil tussen dynamische order batching, online order batching en statische order batching toegelicht. Daarnaast worden verschillende varianten van de operationele planningsproblemen besproken.

De drie operationele planningsproblemen (order batching, picker routing en picker scheduling) hangen zoals eerder vermeld nauw samen, het lijkt daarom interessant om deze problemen simultaan op te lossen. Volgens van Gils et al. (2018) zorgt het gezamenlijk oplossen van het order batching en picker routing probleem voor een beter resultaat ten opzichte van een afzonderlijke oplossing. In academische literatuur is er echter weinig onderzoek dat rekening houdt met het gelijktijdig oplossen van deze problemen. Voor een optimaal resultaat moet er echter een gelijktijdige oplossing zijn van de drie operationele planningsproblemen.

Distributiecentra moeten zich houden aan vooropgestelde datums. Het overschrijden van deze vooropgestelde datum kan leiden tot vertragingen in het verzendproces en dit kan bijgevolg weer leiden tot ontevreden klanten. In hoeverre de deadlines van de verschillende klantenorders worden geaccepteerd hangt af van de drie operationele planningsproblemen. Om een oplossing te bieden aan deze drie problemen gaat het merendeel van de onderzoeken zich richten op het minimaliseren van de picktijden voor een set van klantenorders. Daarnaast wordt er de laatste jaren ook veel rekening gehouden met het minimaliseren van de totale tardiness. De urgentie om de totale vertraging te minimaliseren is voornamelijk gekomen doordat klanten hogere verwachtingen hebben. Steeds meer klanten willen namelijk dat hun bestelling op tijd aankomt op de finale leverplaats. Om de totale vertraging te minimaliseren is elke order gekenmerkt met een bepaalde einddatum. Deze einddatum is gebaseerd op de vertrektijd voor het leveren van de order naar de finale plaats. Om de totale picktijd en de totale vertraging te minimaliseren wordt er in een distributiecentrum gebruik gemaakt van verschillende varianten (Kübler et al., 2020).

2.3.1 Statische batching

Er kan een verschil gemaakt worden tussen statische order batching, dynamische order batching en online order batching. Wanneer statische order batching wordt gehanteerd, zijn alle klantenbestellingen aan het begin van de planningsperiode gekend. De oplossing van een statisch systeem kan als volgend omschreven worden: een order picker start met het verzamelen van alle klantenorders die in de eerste batch zitten. Bij het voltooien van deze batch, keert de order picker terug naar het depot en gaat vervolgens pas de tweede batch verzamelen. Dit proces gaat door tot de order picker alle toegewezen batches heeft voltooid. Met batches wordt bedoeld de haalbare batches die de capaciteit van het pickapparaat niet overschrijden. Het kan bijvoorbeeld zijn dat een pickapparaat maximum vijftien bestellingen kan dragen. Indien dit het geval zou zijn, zouden er maar vijftien orders in een batch kunnen zitten (Henn, 2015; Scholz et al., 2017).

2.3.2 Online batching

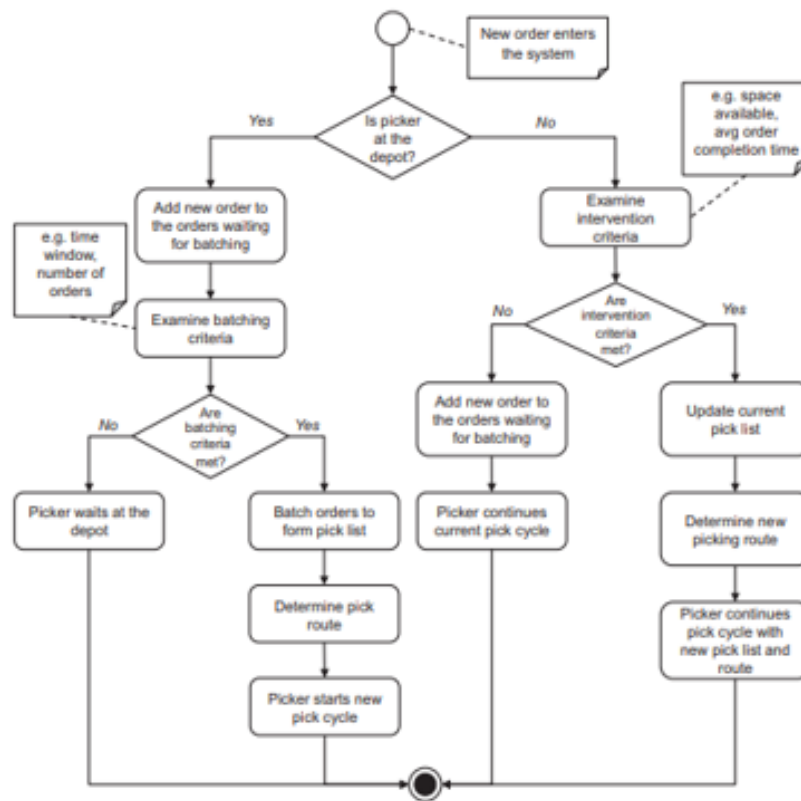
Daarnaast kunnen distributiecentra een online order batching systeem gebruiken. In online order batching worden nieuwe orders opgenomen in de planning. Echter, de picklijsten die reeds worden uitgevoerd blijven ongewijzigd. In dit systeem gaat men dus niks wijzigen aan de routes van de order pickers die al onderweg zijn. De nieuwe orders kunnen in het online order batching namelijk enkel worden toegevoegd aan batches die nog niet worden verzameld. Indien een picker klaar is met zijn batch en terug gaat naar het depot, kan bij de nieuwe opdracht van deze picker de nieuwe order wel worden opgenomen.

Bij online order batching kunnen er twee strategieën gehanteerd worden. Als eerste is er het vaste tijdsvenster batchen oftewel fixed time window batching (FTWB). Bij FTWB worden klantenorders die binnen een vast tijdsinterval aankomen in een batch gezet. Een tweede strategie is het batchen met een variabel tijdsvenster oftewel variable time window batching (VTWB). Bij deze strategie wacht de order picker totdat er een bepaald criterium is bereikt. Dit criterium kan bijvoorbeeld een aantal klantenorders per batch zijn of de capaciteit van het pickapparaat (Giannikas et al., 2017).

2.3.3 Dynamische batching

Indien dynamische order batching wordt verkozen, komen de klantenorders in de loop van de dag/shift beschikbaar. Het dynamische proces van order picking kan als volgt omschreven worden: de order picker begint in dit proces met het verzamelen van orders die op de batch staan weergegeven. Terwijl de order picker zijn orders aan het verzamelen is, kan de picklijst worden bijgewerkt. Deze lijst kan worden bijgewerkt ongeacht de huidige locatie van de order picker, de route die genomen wordt en ongeacht de opslaglocaties van de items op de picklijst. Wanneer er een nieuwe bestelling binnenkomt, zal de huidige pickcyclus van de order picker worden onderbroken en aangepast. De planning kan dus met andere woorden voortdurend wijzigen. Een logisch gevolg hiervan is dat de order picker op een later moment klaar is met het verzamelen van zijn klantenorders of dat zijn route eerder wordt afgebroken om zo een nieuwe route aan te vatten. Figuur 12 geeft het dynamische proces weer. Dit proces wordt steeds gevolgd wanneer er nieuwe bestellingen in het systeem binnenkomen (Giannikas et al., 2017).

Om dit dynamische proces te vergemakkelijken kan een distributiecentrum best gebruik maken van een digitaal scherm, zoals een tablet op het pickapparaat of een smartphone. Op dit digitale scherm kunnen de order pickers hun gewijzigde route raadplegen. Het gebruik van een digitaal scherm is niet noodzakelijk bij een dynamische context maar vergemakkelijkt het proces. Bij een dynamisch systeem is het echter wel noodzakelijk dat het systeem gestuurd is. Het systeem zal dan de batches samenstellen en aan de pickers doorgeven (Lu, McFarlane, Giannikas, & Zhang, 2016).



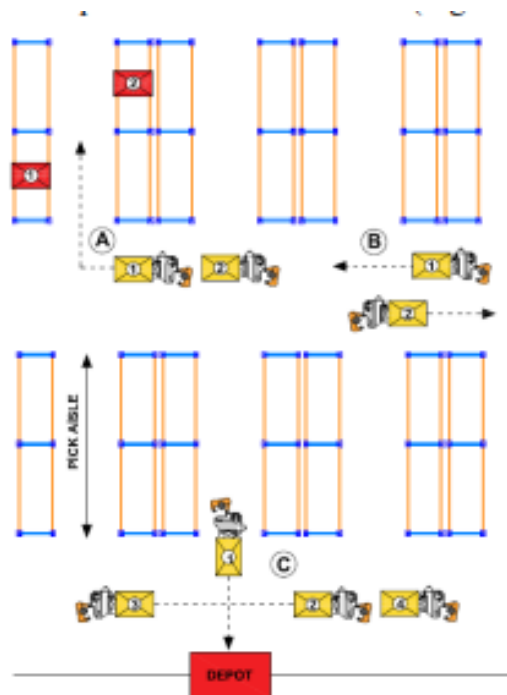
Figuur 12: Dynamische proces (Giannikas et al., 2017).

In een dynamische order picking systeem kunnen drie strategieën worden onderscheiden. Als eerste bestaat er de interventionistische accept all (IAA) strategie. Bij deze strategie wacht de order picker totdat er een bepaald aantal bestellingen is binnengekomen voordat hij aan zijn route begint. Wanneer hij aan zijn pickroute bezig is kunnen er nog een aantal orders binnenkomen en toegevoegd worden aan zijn picklijst, dit zolang de capaciteit van het pickapparaat niet wordt overschreden. De tweede strategie is de *interventionistische order completion time (IOCT)* strategie. Bij deze strategie accepteert de order picker een binnekomende order zolang de gemiddelde order completion time niet boven een gekozen limiet van X seconden stijgt. De waarde van X bepalen is in dit beleid cruciaal om succesvol te zijn. De laatste strategie is de *interventionistische re-batching (IRB)* strategie. Wanneer er bij dit beleid een nieuwe order binnekomt tijdens de pickcyclus, worden alle niet gepicke orders gehegroepeerd. De orders worden in batches onderverdeeld zodat er picklijsten bestaan met orders die op vergelijkbare locaties zijn opgeslagen (Giannikas et al., 2017).

Het gebruik van een dynamisch systeem kan veel voordelen opleveren voor een bedrijf. Indien een distributiecentrum de interventionistische order picking strategie toepast, leidt dit tot een vermindering van de order completion time oftewel de doorlooptijd van een order. Deze vermindering is voornamelijk te verklaren doordat het mogelijk is om nieuwe orders aan een picklijst toe te voegen gedurende het verzamelproces van de order picker. Deze verkorting van order completion time kan er echter voor zorgen dat de afstand van de order picker toeneemt. Daarnaast is het ook mogelijk om deze order completion time te verminderen door een huidige route van een order picker af te breken zodat hij dan een nieuwe route kan aanvatten aan het depot (Giannakis et al., 2017)

2.3.4 Breedte van pickgangen

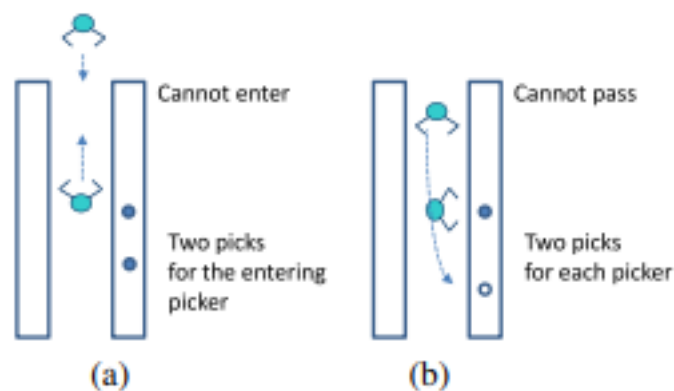
Daarnaast moeten bedrijven gaan afwegen als ze kiezen voor brede gangpaden of kiezen voor smalle gangpaden. Brede gangpaden zorgen ervoor dat de order pickers elkaar kunnen passeren zodat er geen congesties ontstaan. Zo ontstaan er bijgevolg kortere wachttijden (in vergelijking met smalle gangpaden) door order pickers die in hetzelfde gangpad moeten zijn om een bepaalde order te verzamelen. Hierdoor gaat de verwerkingstijd van een order korter zijn dan bij het gebruik van smalle gangpaden (Scholz et al., 2017). Het gebruik van brede gangpaden zorgt ervoor dat een bedrijf minder order pickers moet aanwerven om de vereiste doorvoercapaciteit te behalen. Met doorvoercapaciteit wordt bedoeld dat het bedrijf een aantal orders per uur moet behalen om aan hun klantenvereisten te voldoen (Mowrey & Parikh, 2014). Daarnaast is het mogelijk voor order pickers om in brede gangpaden een u-bocht te maken indien er gebruik gemaakt wordt van een relatief groot pickapparaat. Deze u-bocht moeten de order pickers maken als het bedrijf opteert voor routingstrategieën zoals de largest gap en de return (Hong & Kim, 2017). In een distributiecentrum met brede gangpaden kunnen files/wachttijden ontstaan. Deze files ontstaan door het gelijktijdig verzamelen van orders door meerdere order pickers. Op Figuur 13 ontstaan verschillende opstoppingen bij het gebruik van brede gangpaden. In situatie A moeten twee pickers naar hetzelfde gangpad gaan. Hierdoor gaat één van de twee order pickers moeten vertragen of wachten zodat de andere picker het gangpad kan betreden. Vervolgens ontstaat er in situatie C ook een congestie omdat order pickers vaak op hetzelfde moment bij het depot moeten zijn om een batch op te vragen. Hierdoor zullen de pickers vaak op dezelfde locatie zijn in een distributiecentrum, wat kan leiden tot onderbrekingen. Een gelijkaardige file kan ook ontstaan bij order pickers die op hetzelfde moment klaar zijn met het verzamelen van de goederen (Klodawski, Jachimowski, Golda & Izedebki, 2018).



Figuur 13: Blokkades in brede gangpaden (Klodawski et al., 2018).

Indien een bedrijf weinig ruimte heeft in het distributiecentrum, kan het bedrijf opteren voor smalle gangpaden. Smalle gangpaden kunnen echter files veroorzaken in een distributiecentrum. Deze files ontstaan doordat order pickers elkaar niet kunnen passeren. Hierdoor moeten order pickers vaak wachten totdat de order picker voor hen klaar is in het desbetreffende gangpad waar hij/zij een order moet verzamelen. Daarnaast verkiezen distributiecentra met smalle gangpaden soms eenrichtingsgangen. De order pickers kunnen bij eenrichtingsgangen de gangen maar langs één kant betreden. Bij het gebruik van smalle gangpaden is het ook mogelijk om aan beide zijden van het gangpad de artikelen te verzamelen. De order picker zal bijgevolg geen extra reisafstand moeten afleggen om de benodigde artikelen te verzamelen. Het gebruik van smalle gangpaden kan ook worden gebruikt in een dynamische context (Lu et al., 2016).

Order pickers kunnen in smalle gangpaden op twee manieren zorgen voor opstoppingen (Figuur 14). Indien er voor tweerichtingsverkeer wordt gekozen, kan er congestie ontstaan wanneer een order picker een gangpad wil binnengaan waarin al een andere order picker aanwezig is. Hierdoor is het pad van de order picker geblokkeerd en moet hij/zij wachten aan het einde van de gang. De order picker in kwestie is hierdoor inactief (Figuur 14a). Om dit type opstopping te vermijden kan een bedrijf opteren voor eenrichtingsverkeer.

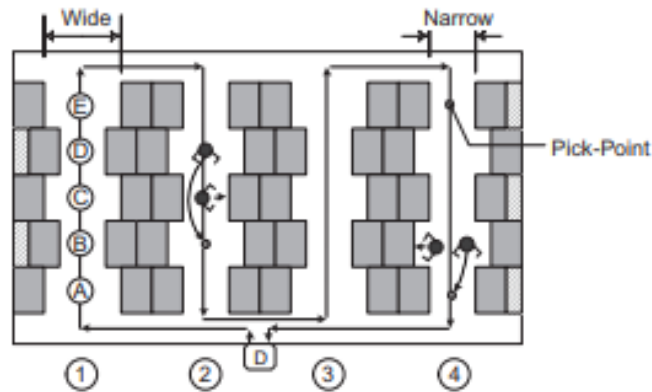


Figuur 14: Twee soorten opstoppingen bij smalle gangpaden (Hong, Johnson & Peters, 2012).

Indien er echter gekozen wordt voor eenrichtingsverkeer kan er ook een opstopping ontstaan (Figuur 14b). Deze manier van opstopping ontstaat wanneer twee order pickers zich in hetzelfde gangpad begeven en (toevallig) twee dezelfde pick locaties moeten bezoeken. De voorste order picker zal als eerste arriveren aan de eerste pick locatie. Omdat de volgende order picker niet kan passeren moet deze wachten totdat de voorste order picker klaar is met het verzamelen van de order. Het is belangrijk voor een distributiecentrum om de wachttijd van de order pickers oftewel de blokkeertijd te minimaliseren (Hong et al., 2012).

Een bedrijf kan ook zowel brede als smalle gangpaden gebruiken (Figuur 15). Dit alternatief zorgt voor een goede trade-off tussen arbeid en ruimte. Bij smalle gangpaden hebben bedrijven namelijk een kleinere benodigde oppervlakte nodig maar moet er meer arbeid worden ingezet. Bij het gebruik van brede gangpaden is dit juist andersom. Hier heeft men juist minder ruimte en moet het bedrijf minder arbeiders tewerkstellen. In een gangpad met gemengde breedtes kunnen order pickers elkaar

passeren bij de bredere gedeeltes (A, C, E) en bespaart het bedrijf toch ruimte door het gebruik van smalle gangpaden. Het gebruik van gangpaden met gemengde breedte is optimaal voor een distributiecentrum dat voor random storage opteert. Dit kan het bedrijf een kostenbesparing opleveren ten opzichte bij het gebruik van enkel brede gangpaden of enkel smalle gangpaden (Mowrey et al., 2014).



Figuur 15: Gangpaden met een gemengde breedte (Mowrey et al., 2014).

2.3.5 Het gebruik van één of meerdere order pickers.

Vervolgens kan er een onderscheid worden gemaakt tussen meerdere order pickers of één enkele order picker. In het onderzoek van Chen, Cheng, Chen & Chan (2015) is er enkel één order picker aanwezig voor het verzamelen van de klantenorders. Bij het gebruik van één enkele order picker wordt er vooral gekeken naar klantenorders die een vergelijkbare opslaglocatie hebben. Deze klantenorders worden in dezelfde batch verwerkt zodat de capaciteit van het pickapparaat optimaal wordt benut en de totale reistijd wordt geminimaliseerd. Omdat er maar één picker aanwezig is in het onderzoek ging men geen rekening houden met de toewijzing van batches aan order pickers. Om de totale tardiness in het order picking proces te verminderen zal er wel worden gekeken naar de picking volgorde van de gegeven batches. Dit is belangrijk omdat klantenorders voor een bepaalde vervaldatum moeten worden voltooid.

Daarnaast is het gebruik van één order picker in een dynamische context ook mogelijk. De picklijst kan dus met andere woorden geüpdatet worden als de picker al bezig is aan zijn route. Deze dynamische aanpak resulteert in een kortere doorlooptijd van een order in vergelijking met de statische benadering met één order picker (Lu et al., 2016).

Indien er meerdere order pickers in een magazijn actief zijn, moet er ook nog rekening gehouden worden met het toewijzen van batches aan order pickers en de volgorde hiervan. Dit probleem wordt ook wel het picker scheduling probleem genoemd. Bij het tewerkstellen van meerdere order pickers wordt er rekening gehouden met al de operationele planningsproblemen. Er wordt met andere woorden rekening gehouden met hoe de klantenorders gegroepeerd worden in batches, hoe deze batches worden toegewezen aan order pickers en wat de volgorde is van de toewijzing van de batches aan de order pickers. Tot slot zal er ook rekening gehouden worden met hoe de order pickers worden gerouteerd in het distributiecentrum.

Het gebruik van brede gangpaden wordt vaak verkozen indien er meerdere order pickers zijn. Hierdoor kunnen order pickers elkaar namelijk makkelijk passeren en ontstaan er weinig congesties doordat order pickers tegelijkertijd in hetzelfde gangpad lopen. Elke order picker is ook uitgerust met een pickapparaat waarbij de maximum capaciteit wordt gemeten op basis van het aantal items (Scholz et al., 2017).

Van Gils et al. (2019) hebben een model ontwikkeld dat de drie operationele planningsproblemen integreert en oplost door meerdere order pickers te gebruiken. Het aantal order pickers in het distributiecentrum wordt in dit onderzoek bepaald op basis van voorspellingen. Deze voorspellingen worden geanalyseerd voordat een shift begint. Het is voor een bedrijf ook belangrijk om niet te veel arbeiders aan te werven omdat dit kan leiden tot overbodige kosten.

2.3.6 Wave picking

Om het proces van order picking te voltooien, maken magazijnen soms gebruik van verschillende 'golven'. In een wave picking systeem wordt een reeks van klantenorders tegelijkertijd vrijgegeven om te worden verzameld. Distributiecentra proberen de tijd tussen de verschillende golven te minimaliseren. Deze doelstelling heeft namelijk een effect op de totale order pick tijd. De tijd tussen de verschillende golven kunnen bedrijven eenvoudig minimaliseren door minder orders per golf te zetten. Het nadeel hiervan is echter dat het samenstellen van efficiënte batches complexer wordt. Als de doelstelling van een bedrijf is om alle orders op tijd te verzamelen kan een bedrijf voor elke order een wave releasen. Dit zorgt er echter voor dat het bedrijf (te) veel werknemers moet tewerkstellen. Hierdoor gaan order pickers elkaar voortdurend in de weg lopen. Om dit probleem op te lossen zou een bedrijf al over een groot distributiecentrum moeten bezitten. Een bedrijf moet met andere woorden een afweging maken tussen twee aspecten: hoe groter de wave is, hoe beter een bedrijf efficiënt kan batchen en hoe minder groot de wave is, hoe meer garantie een bedrijf heeft om op tijd de orders te verzamelen (Ardjmand, Shakeri, Singh, & Bajgiran, 2018).

Daarnaast is de tijd tussen de verschillende golven afhankelijk van de drie operationele planningsproblemen, namelijk van hoe klantenorders worden gegroepeerd, hoe deze batches worden toegewezen aan order pickers en hoe de arbeiders worden gerouteerd om de verschillende klantenorders te verzamelen. De orders hebben hier geen afzonderlijke einddatums. Er wordt geen rekening gehouden met de volgorde van de order pickers. De volgorde van de order pickers veranderen zal namelijk geen invloed hebben op de hoofdoelstelling van dit systeem. De hoofddoelstelling is namelijk om de makespan van een golf te minimaliseren. De makespan is de tijd tussen de eerste batch en de laatste batch die verzameld moet worden. Om deze te minimaliseren moet de tijd tussen de verschillende golven zo klein mogelijk zijn (Liang, Wu, Zhu, & Zhang, 2020).

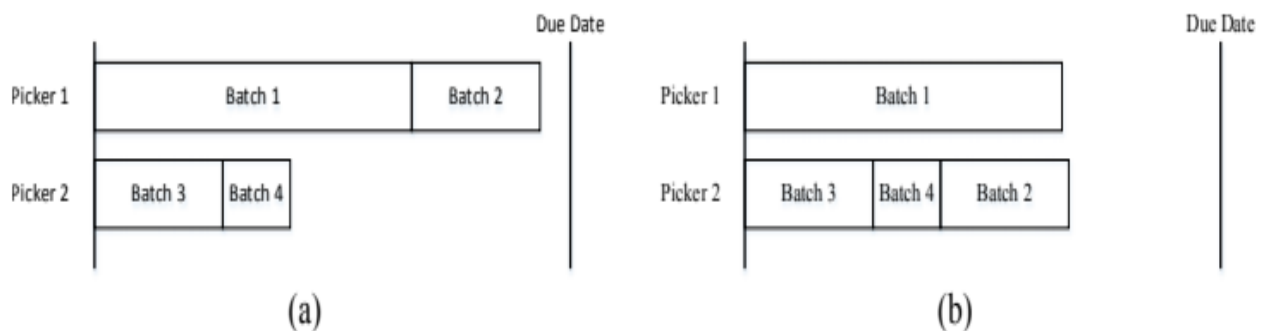
Ardjmand et al. (2018) onderzoeken de drie operationele planningsproblemen in een golf-gebaseerd magazijn. De oplossing voor de planningsproblemen kan als volgend omschreven worden: er moeten X aantal batches worden verzameld. De orders worden samengevoegd in een batch. Welke order wordt toegevoegd aan welke batch is afhankelijk van het eerste element in de batch. Dit eerste element is namelijk bepalend om te weten of er een capaciteitsbeperking wordt overschreden of niet. Als een order niet kan worden toegevoegd aan een bestaande batch wegens capaciteitsbeperkingen, wordt er een nieuw batch aangemaakt. De order wordt dan toegevoegd aan de nieuwe batch en dit

proces gaat door totdat alle bestellingen van de order picker zijn gebundeld. Nadat alle batches samengesteld en toegewezen zijn aan een order picker wordt er een routingsstrategie voor elke batch bepaald met behulp van een algoritme.

Het is cruciaal dat de bestellingen van een bepaalde golf volledig zijn verzameld voordat de volgende golf wordt vrijgelaten. Daarnaast is het ook belangrijk dat de werklust gebalanceerd is tussen de verschillende werknemers en doorheen de planningsperiode.

Balanceren werklust tussen order pickers

In golf-gebaseerde magazijnen wordt er geen rekening gehouden met het minimaliseren van de totale vertraging of het minimaliseren van de totale afstand die alle order pickers afleggen. Het minimaliseren van de totale vertraging in een wave picking systeem passen distributiecentra vaak niet toe omdat dit zal leiden tot onevenwichtige werklusten tussen de order pickers. Figuur 16 geeft dit weer. Indien het bedrijf verkiest om de totale vertraging te minimaliseren kan er geconcludeerd worden dat er bij Figuur 16 (a) en (b) geen vertraging wordt opgelopen. Maar er wordt voor oplossing (b) gekozen omdat hier de werklust is gebalanceerd. Bij het minimaliseren van de makespan gaan de oplossingen een gebalanceerde werklust hebben omdat de makespan afhankelijk is van de maximale picktijd van een order picker. Het is daarom niet belangrijk om reistijd van één enkele order picker te minimaliseren maar om de reistijd van alle order pickers te verminderen. Het is bijgevolg belangrijk om bij deze doelstelling vergelijkbare voltooiingstijden voor alle order pickers te hebben (Ardjmand et al., 2018).



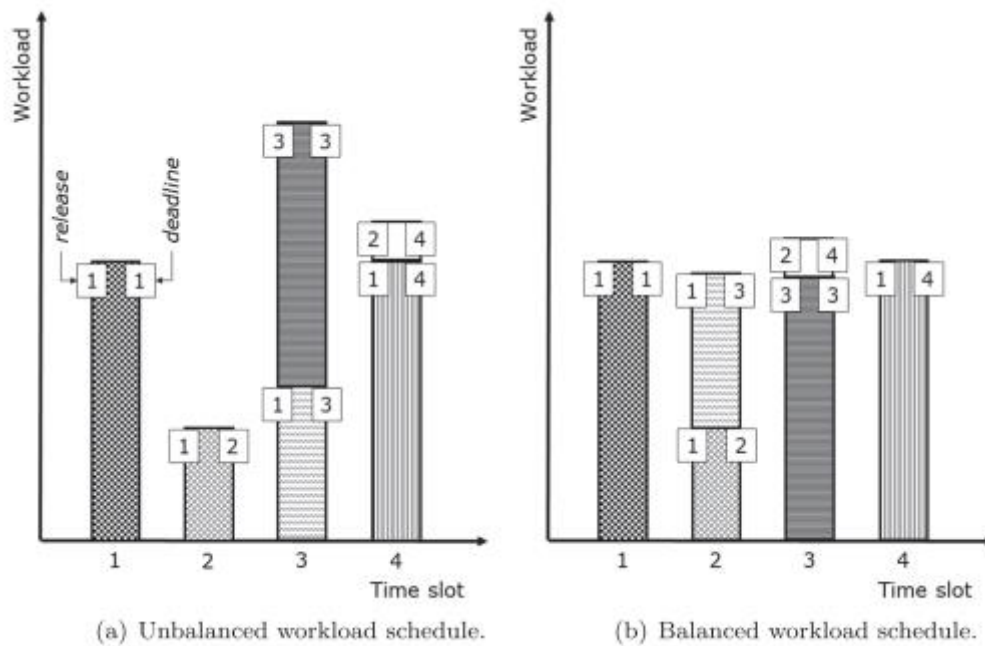
Figuur 16: Minimaliseren van de vertraging vs. makespan balanceren van werklust.

Balanceren werklust doorheen de planningsperiode

Het balanceren van de werklust zal pieken in de werkbelasting voorkomen. Een piekmoment is een bepaalde periode van de dag waar de vereiste orderverwerkingscapaciteit groter is dan de beschikbare picker capaciteit. Om de werklust te balanceren moeten de orderreeksen gelijkmatig verdeeld worden over de verschillende tijdsvensters in het wave picking systeem.

Figuur 17 illustreert de doelstelling van het balanceren van de werklust. Op deze grafiek vertegenwoordigt elke rechthoek de werklust van een batch. Daarnaast wordt er steeds rekening gehouden met de vrijgave en de deadline van deze batch. In Figuur 17 (a) is de werklust uit

evenwicht. In Figuur 16b is de werkbelasting zo gelijk mogelijk verdeeld in elk tijdsvenster. Door de werklast in evenwicht te brengen kan een bedrijf minder order pickers tewerkstellen om orders te verwerken binnen elke zone. Om wave picking efficiënt toe te passen kunnen alle ordersets die in een tijdslot zijn gepland, worden gebruikt om batches te vormen. Het is daarbij belangrijk om te weten dat er getracht wordt om de werklast te verbeteren doorheen de planningsperiode. Dit is echter niet altijd mogelijk door de verschillende due dates van batches (Vanheusden, van Gils, Caris, Ramaekers, & Braekers, 2020).



Figuur 17: Balanceren van de werklast doorheen de planningsperiode.

3 Empirisch onderzoek

In dit hoofdstuk wordt de toepassing van een dynamisch variant van de drie operationele planningsproblemen geanalyseerd. De operationele planningsproblemen, namelijk order batching, picker scheduling en picker routing, worden in een dynamische context geplaatst zodat er kan worden nagegaan welke invloed het dynamische karakter heeft op de totale tardiness en de totale order pick tijd. Het dynamische algoritme met de bijhorende dataset wordt geanalyseerd in sectie 3.1. In sectie 3.2 van dit hoofdstuk zullen de resultaten van de analyse uitvoerig besproken worden in functie van twee doelstellingen: het minimaliseren van de totale tardiness en het minimaliseren van de totale order pick tijd.

3.1 Bespreking algoritme en dataset

In deze sectie wordt er een beschrijving gegeven van het algoritme en de bijhorende dataset. Daarnaast zullen de verschillende parameters die gebruikt worden in het algoritme omschreven worden.

In dit empirisch deel zal er een dynamische variant onderzocht worden van het algoritme dat wordt voorgesteld in van Gils et al. (2019). Het algoritme wordt in eerste instantie op een statisch systeem toegepast. Het distributiecentrum weet dus aan het begin van de planningsperiode welke orders er die dag verzameld moeten worden. Bij deze statische variant wordt er een planning gemaakt voor de komende vier uur. Dit betekent dat wanneer een set orders wordt vrijgegeven, de deadline van deze orders binnen de volgende vier uur vervalst. Deze planning moet rekening houden met de deadlines van de orders om zo vertraging in het proces te vermijden. Daarnaast is het belangrijk om de orders zo efficiënt mogelijk te verzamelen in een distributiecentrum. De doelfunctie van dit algoritme is om de tardiness te minimaliseren. Een bijkomend doel hierbij is om de order pick tijd zo laag mogelijk te houden.

De onderliggende heuristiek bij het onderzoek van van Gils et al. (2019), en daarbij ook bij dit onderzoek, is het iterated local search (ILS) algoritme. Het globale idee bij deze heuristiek is dat het start met een eenvoudige beginoplossing en door het uitvoeren van kleine veranderingen kan er uiteindelijk een goede oplossing uitkomen. Deze oplossing moet zo goed mogelijk de globale optimale oplossing benaderen. Daarnaast maakt het ILS algoritme gebruik van perturbation. Hierdoor kunnen er verschillende (goede) oplossingen uit het algoritme komen. Het local search algoritme bestaat bij het order batching en picker scheduling uit vier bewegingen die in een vaste volgorde worden uitgevoerd. Ten eerste gaat er een order shift plaatsvinden. Dit is het verplaatsen van één klantenorder naar een andere batch en/of picker. Vervolgens vindt er een batch shift plaats. Dit is het verplaatsen van een batch naar een andere picker. Ten derde is er een order swap. Dit is het verwisselen van twee klantenorders uit verschillende batches. Als laatste kan er een batch swap plaatsvinden. Een batch swap is het verwisselen van alle klantenorders tussen twee verschillende batches. Een batch swap of een batch shift wordt uitgevoerd wanneer een verplaatsing van een batch resulteert in een nieuwe oplossing waarbij de totale tardiness wordt verminderd of gelijk is ten opzichte van de huidige oplossing. Bij deze twee bewegingstypes blijft de totale order picking tijd constant. De batch swap en batch shift zorgen ervoor dat er snel een goede oplossing kan gevonden

worden: batches met urgente bestellingen kunnen door deze twee bewegingen eerder worden ingepland zodat order pickers de bestellingen tijdig kunnen verzamelen. Bij de overige twee bewegingen, namelijk order shift en order swap, wordt de beweging geaccepteerd als er een verminderde vertraging wordt gevonden of wanneer de totale order pick tijd is verminderd. De order shift is het efficiëntste en effectiefste om de order verzameltijd te verminderen. Om deze reden wordt order shift als eerste gepositioneerd in het local search algoritme.

Het dynamische algoritme dat in dit onderzoek zal gebruikt worden, heeft een iets andere insteek. De planningsperiode van het algoritme zal acht uur zijn. Daarnaast zullen niet alle orders gekend zijn aan het begin van de planningsperiode ($t=0$). De order picker in het distributiecentrum is bij het begin al op de hoogte van enkele orders en gaat deze orders alvast verzamelen. Het is daarbij ook mogelijk dat er nog andere orders doorheen de dag zullen toekomen. Het is echter niet duidelijk welke orders er nog zullen toekomen. Vervolgens wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van een aantal (vaste) parameters (Tabel 1).

Tabel 1: Parameters dynamisch algoritme

Parameters	
Gangpaden	12 gangpaden
Beleid van opslag toewijzing	Random storage
Batch capaciteit	Maximaal 15 orderlijnen
Aantal orders	200 orders in een instance
Planningsperiode	8 uur
Orders gekend op $t=0$	- 20% - 50% - 80%
Release tijd van de orders	- Uniform - Progressief - Simultaan
Aantal order pickers	3-4 order pickers
Deadline laatste order(s)	Half uur voor deadline (van de trucks)
Eerste release	Ten vroegste 2 uur voor vervaldatum

Omdat niet alle orders op voorhand gekend zijn, kan er geen volledige planning worden opgesteld op $t=0$. Er kan wel rekening gehouden worden met de orders die op tijdstip nul bekend zijn. Om te weten hoeveel orders er op dit tijdstip beschikbaar zijn, worden er drie verschillende percentages vooropgesteld: 20%, 50% en 80%. Deze parameter bepaalt eveneens hoe dynamisch de instance is. Het is namelijk vanzelfsprekend dat een instance waarbij er maar 20% van de orders gekend zijn op $t=0$ dynamischer is dan een instance waar 80% van de order gekend zijn op dat tijdstip.

Daarnaast is het ook belangrijk om te weten wanneer of hoe de orders in het systeem arriveren. De orders kunnen op drie niveaus toekomen in het systeem:

- Uniform: De orders hebben tussen t_1 en t_2 een gelijke kans om aan te komen in het systeem, waarbij t_1 twee uur voor de deadline is en t_2 het tijdstip een halfuur is voor de deadline.
- Progressief: naarmate de tijd dichterbij de deadline komt, is de kans groter dat een order bekend wordt.
- Simultaan: alle orders worden op eenzelfde moment beschikbaar. Dit zal in dit algoritme twee uur voor de deadline zijn.

Het is belangrijk om te weten dat in het onderzoek de orders relatief dicht op elkaar. Dit komt doordat de orders nooit later dan 30 minuten voor de deadline kunnen binnenkomen en nooit meer dan twee uur voor hun deadline bekend worden gemaakt. Vervolgens wordt het aantal order pickers, net zoals in het onderzoek van van Gils et al. (2019) bepaald door andere kenmerken in de instance. Een kenmerk is bijvoorbeeld het aantal orderlijnen. Op basis van de verschillende kenmerken in dit dynamische algoritme varieert het aantal order pickers tussen de drie en vier.

Tabel 2: Parameters staging area.

Parameters staging area	
Aantal vrachtwagens	12-13 vrachtwagens
Vrachtwagen distributie	<ul style="list-style-type: none"> - Uniform (13 trucks) - Piekmoment (13 trucks) - Uniform (12 trucks)
Grootte staging area	<ul style="list-style-type: none"> - 2 dockdeuren - 8 dockdeuren - 3 dockdeuren - 12 dockdeuren - 5 dockdeuren

Een bijkomend gegeven in dit onderzoek is dat de staging area van het distributiecentrum een beperkte grootte heeft. Een staging area is een plaats voor tussenslag van de goederen die verzameld moeten worden uit het distributiecentrum. Deze staging area bevindt zich in de nabijheid van de deuren waar de vrachtwagens moeten aankomen om de verschillende goederen te laden of te lossen. Op deze plaats zullen alle orders verzameld worden die in de eerstvolgende vrachtwagens moeten. Doordat de omvang van de staging area gelimiteerd is, zullen er maar een beperkt aantal deuren zijn aan het distributiecentrum waar de vrachtwagens kunnen aankomen. Daarom kan een order picker alleen maar bestellingen verzamelen die behoren tot de eerste X aantal vrachtwagens die zullen arriveren. X is de grootte van de staging area en dus het aantal deuren beschikbaar in het distributiecentrum. De bestellingen die nog niet tot deze X aantal vrachtwagens behoren, kunnen niet verzameld worden doordat er (nog) geen plaats is in de staging area. De grootte van de staging

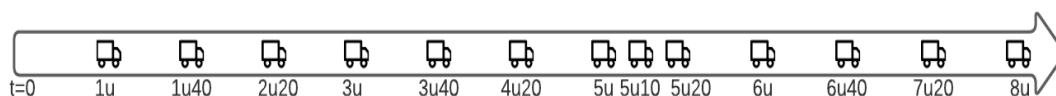
area neemt een waarde aan van 2, 3, 5, 8 of 12. Dit wilt met andere woorden zeggen dat er 2, 3, 5, 8 of 12 vrachtwagens op eenzelfde moment gepickt kunnen worden. De parameters die betrekking hebben op de staging area worden in Tabel 2 opgesomd. Tenslotte is de werklust van alle trucks ongeveer even groot en zijn de orders random toegewezen aan de verschillende trucks.

Doorheen de planningsperiode komen er twaalf of dertien vrachtwagens aan bij het distributiecentrum. Hierbij behoren alle orders die eenzelfde due date hebben tot dezelfde truck. De manier waarop de verschillende vrachtwagens worden verdeeld over de planningsperiode kan opgedeeld worden in drie niveaus. Bij de eerste situatie (Figuur 18) komen er dertien vrachtwagens aan gedurende de planningsperiode. De eerste truck komt aan na één uur. Vervolgens komen elke 35 minuten een vrachtwagen aan tot het einde van de planningsperiode.



Figuur 18: Uniforme verdeling (13 trucks).

Bij de tweede situatie komen er ook dertien vrachtwagens aan. De verdeling van de vrachtwagens wordt op Figuur 19 weergegeven. Er is een piek in de vraag na vijf uur. Gedurende dit piekmoment komen er drie vrachtwagens aan op 20 minuten tijd.



Figuur 19: Verdeling met piekmoment (13 trucks).

In de laatste situatie komen er slechts twaalf vrachtwagens aan gedurende acht uur. Hier komen de vrachtwagens elke 40 minuten aan (Figuur 20).



Figuur 20: Uniforme verdeling (12 trucks).

Zoals eerder vermeld zijn door het dynamische karakter van het algoritme niet alle orders op voorhand gekend. Hierdoor kan een bedrijf geen volledige planning maken aan het begin van elke planningsperiode. Bovendien is de beperkte grootte van de staging area ook een bijkomende moeilijkheid. Een bedrijf moet hierdoor continu controleren of er nieuwe orders zijn binnengekomen in het systeem zodat ze deze orders kunnen opnemen in hun planning. Om dit proces duidelijk te maken worden er verschillende stappen gevolgd:

Stap 1: Aan het begin van de planningsperiode ($t=0$) maakt het bedrijf een planning van alle beschikbare orders. Beschikbare orders zijn bestellingen waarvan de due date behoort tot de eerste X vrachtwagens. Deze planning bevat een schema met opeenvolgende batches voor elke picker.

Stap 2: De order pickers beginnen met het verzamelen van deze batches. Als een order picker klaar is met het verzamelen van zijn batch zal deze terugkeren naar het depot.

Stap 3: Bij het depot moeten de order pickers een nieuwe lijst krijgen. Hierbij controleren de order pickers ook of er nieuwe orders in het systeem zijn binnengekomen. Deze nieuwe orders kunnen bestellingen zijn die nog niet eerder waren binnengekomen in het systeem. Daarnaast kan het ook zijn dat de eerste vrachtwagen volledig is voltooid en vertrokken en dat de nieuwe orders van vrachtwagen $X+1$ zijn.

Stap 4: Indien er nieuwe orders zijn binnengekomen maakt het bedrijf een nieuwe planning. Indien er geen nieuwe orders binnenkomen, wordt de vorige planning behouden. Kort samengevat zal de heroptimalisatie van de planning altijd gebeuren wanneer een order picker aankomt bij het depot.

3.2 Resultaten

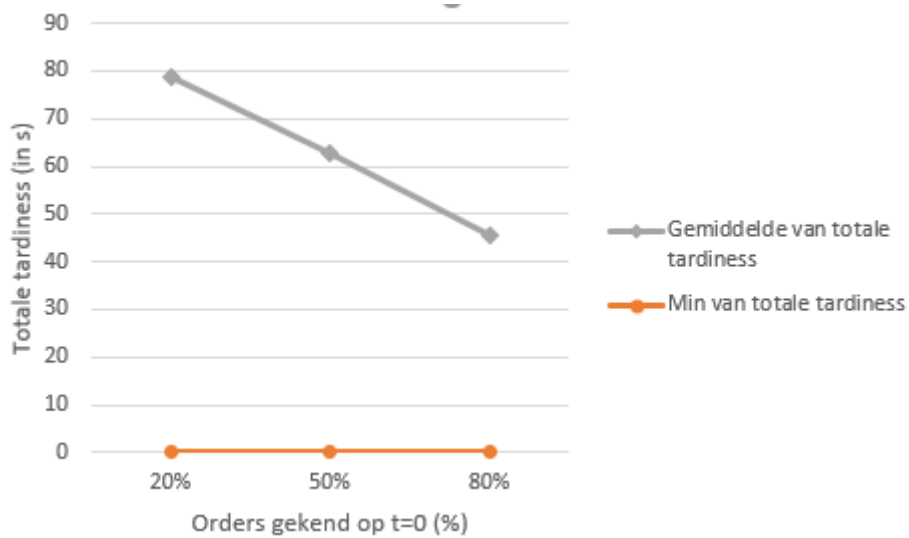
In deze sectie wordt de oplossing van de dataset geanalyseerd. Het is bij deze diverse analyses interessant om na te gaan wat de invloed is van het dynamische karakter op de totale tardiness en de totale order pick tijd. De analyses van de data gebeurt op basis van vier verschillende invalshoeken: het aantal gekende orders aan het begin van de planningsperiode, de verdeling van de vrijgave van de orders, de grootte van de staging area en de verdeling van de due dates doorheen de dag.

3.2.1 Invloed dynamisch karakter

Als eerste wordt er onderzocht welke invloed het dynamische systeem heeft op de totale tardiness. Vervolgens zal er ook gekeken worden in welke mate dit een effect heeft op de order pick tijd van de werknemers gedurende een planningsperiode van acht uur.

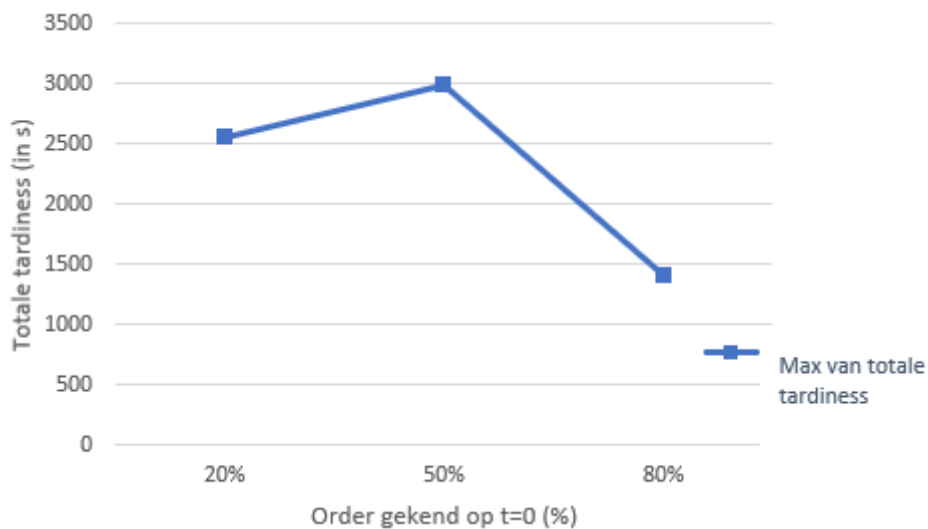
Zoals eerder vermeld is er altijd een percentage van de orders gekend op $t=0$. Dit percentage kan het getal 20, 50 of 80 aannemen. De grafiek op Figuur 21 illustreert de gemiddelde en minimale tardiness voor elk van deze drie niveaus.

Uit Figuur 21 kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde totale tardiness lineair afneemt naarmate er minder orders gekend zijn aan het begin van de planningsperiode. Indien er 20% van de orders gekend zijn aan het begin van de dag zal de gemiddelde tardiness 78,7 seconden zijn. Indien dit percentage oploopt naar 80% zal de gemiddelde tardiness worden verlaagd naar 45,5 seconden. Dit is een vermindering van ongeveer 58%. Er kan met andere woorden gezegd worden dat hoe dynamischer het systeem is, hoe meer totale tardiness in het systeem zal zitten. Dit kan verklaard worden door het feit dat bij een dynamisch systeem er minder orders beschikbaar zijn aan het begin van de planningsperiode. Hierdoor komen er nog veel orders binnen gedurende de planningsperiode en hebben de order picker minder tijd om de orders te verzamelen. De kans op vertraging zal bijgevolg groter worden. Daarnaast kan er worden vastgesteld dat het mogelijk is voor distributiecentrum om te streven naar een totale tardiness van nul. Het minimum van de totale tardiness is namelijk bij elk factorniveau nul.



Figuur 21: Gemiddelde en minimum tardiness per % orders gekend op t=0.

De maximale tardiness (Figuur 22) in het systeem ligt echter het hoogste als er 50% van de order gekend zijn aan het begin van de planningsperiode. Dit kan enerzijds te wijten zijn aan toeval, anderzijds kan dit te wijten zijn aan het feit dat bij de maximale tardiness twaalf dockdeuren gebruikt worden en twaalf vrachtwagens aankomen doorheen de planningsperiode. Deze twee gegevens in een instance gaan ervoor zorgen dat de tardiness aanzienlijk stijgt.

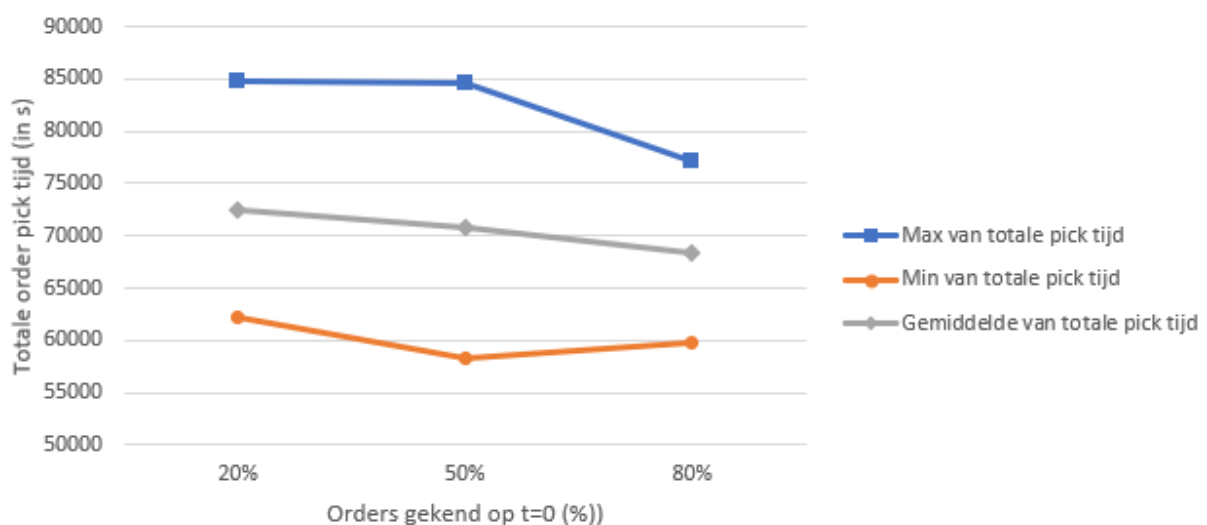


Figuur 22: Maximale tardiness per % orders gekend op t=0.

Een bijkomende doelfunctie van het onderzoek is om de totale order pick tijd te minimaliseren. Figuur 23 geeft een overzicht van de (gemiddelde, maximum en minimum) order pick tijd voor elk percentage van gekende orders aan het begin van de planningsperiode. Uit de grafiek kan er geconcludeerd worden dat een dynamisch systeem een negatief effect heeft op de gemiddelde order

pick tijd van een orderverzamelaar. Uit de resultaten blijkt namelijk dat de gemiddelde order pick tijd 68381 seconden (ongeveer 19 uur) bedraagt indien 80% van de orders gekend zijn op $t=0$. Wanneer er slechts 20% van de order gekend zijn op dit tijdstip verhoogt de order pick tijd naar 72399 seconden (ongeveer 20 uur). Deze stijging van ongeveer 5,5% is te wijten aan het feit dat een distributiecentrum efficiënter kan batchen indien het meer orders kent aan het begin van de planningsperiode. Deze efficiëntie vertaalt zich voornamelijk in het creëren van zo weinig mogelijk batches doorheen de planningsperiode zodat er grotere batches gemaakt kunnen worden.

Het is opmerkelijk dat de minimale order pick tijd lager ligt wanneer er 50% van de orders gekend zijn dan wanneer er 80% van de orders gekend zijn. De minimale order pick tijd bij 80% bedraagt 59778 seconden. Indien dit vergeleken wordt met de minimale order pick tijd bij 50% bedraagt deze 58200,8 seconden. Dit verschil kan te wijten zijn aan verschillende factoren. Als eerste kan dit verschil verklaard worden door toeval. Daarnaast kan het ook te wijten zijn aan het aantal batches die uiteindelijk gebruikt zijn om de orders te picken. Er worden 95 batches gecreëerd wanneer er 80% van de orders gekend zijn op $t=0$. Bij een percentage van 50 worden er bij het minimum slechts 89 batches gecreëerd. Omdat er minder batches gecreëerd worden bij 50% is het mogelijk om meer orders in een batch te krijgen en efficiënter te batchen.



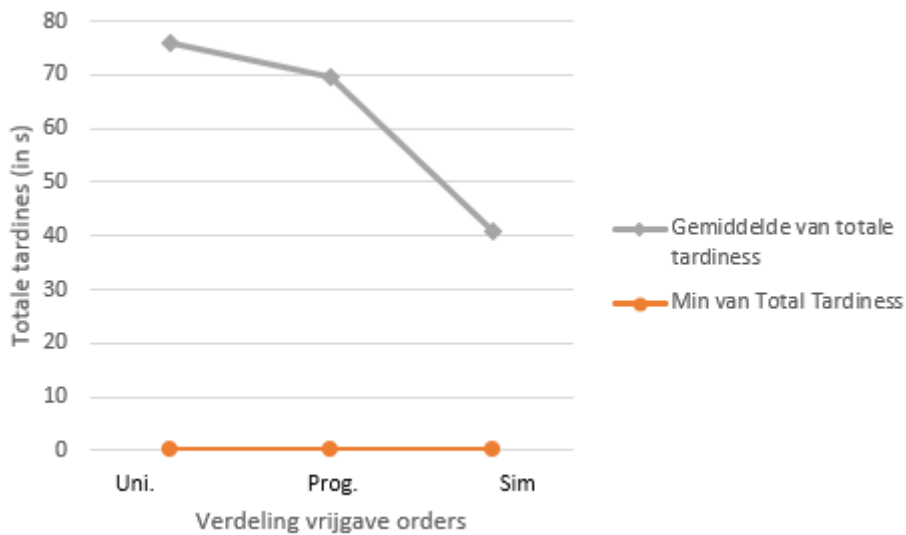
Figuur 23: Order pick tijd per % orders gekend op $t=0$.

3.2.2 Verdeling vrijgave van orders

Het is voor een distributiecentrum belangrijk om te weten welke invloed de verdeling van de vrijgave van orders heeft op de totale tardiness en de totale order pick tijd van de werknemers. Zoals eerder vermeld kunnen de dynamische orders op drie manieren arriveren in het systeem: uniform, progressief of simultaan.

Uit Figuur 24 kan er geconcludeerd worden dat het simultaan vrijgeven van de dynamische orders het beste effect heeft op de gemiddelde tardiness in het systeem. Indien de orders simultaan beschikbaar worden, zal de gemiddelde tardiness slechts 40,68 seconden zijn. Dit is een verlaging

van 86,48% en 71,56% in vergelijking met een uniforme verdeling en een progressieve verdeling. Het simultaan vrijgeven heeft het beste effect op de tardiness omdat alle orders op een vroeger tijdstip beschikbaar zijn. De release van alle orders bij een simultane verdeling zal namelijk twee uur voor de deadline gebeuren. Bij de andere twee verdelingen, namelijk uniforme verdeling en progressieve verdeling, kunnen de orders nog een half uur voor de deadline aankomen. Hierdoor hebben de order pickers minder tijd om de batches te verzamelen en is de kans op vertraging groter.



Figuur 24: Tardiness (gemiddelde en minimum) in functie van verdeling vrijgave orders

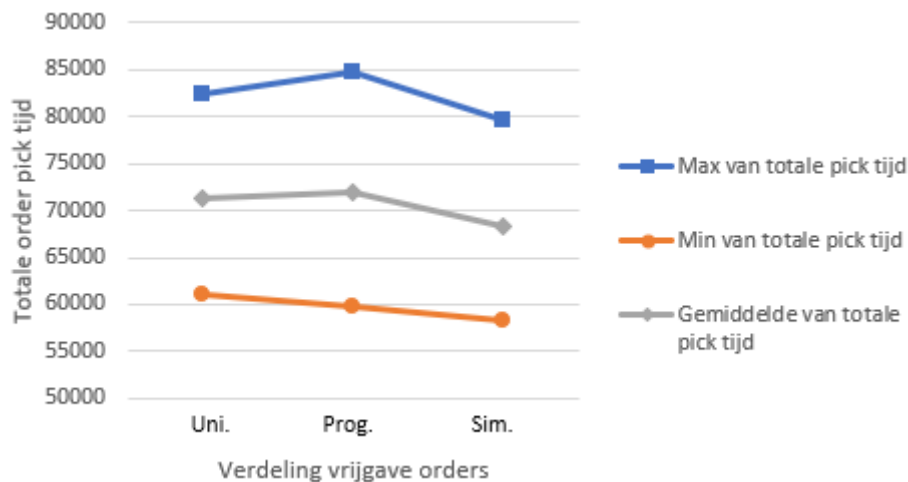
Indien er wordt gekeken naar de maximale tardiness per verdeling (Figuur 25), kan er een averechts effect worden vastgesteld in vergelijking met de gemiddeld tardiness. Dit averechts effect kan eventueel verklaard worden door toeval aangezien de testgrootte van het algoritme relatief klein is.



Figuur 25: Tardiness (maximum) in functie van verdeling vrijgave orders

Net zoals bij de gemiddelde tardiness zal het gelijktijdig vrijgeven van de orders een positief effect hebben op de order pick tijd (Figuur 26). Dit positieve effect drukt zicht zowel bij de gemiddelde order pick tijd uit als de maximale en minimale order pick tijd per verdeling van vrijgave van orders. Dit is te verklaren doordat de orders relatief vroeg tijdens de planningsperiode gekend zijn bij het gelijktijdig vrijgeven van de orders. Hierdoor zijn er onmiddellijk veel orders beschikbaar en kunnen er efficiëntere batches gecreëerd worden. Daarnaast is er maar een klein verschil indien er een uniforme verdeling of een progressieve verdeling wordt verkozen. Zoals eerder aangegeven komen de orders in het systeem relatief kort op elkaar aan. Hierdoor zullen de uniforme verdeling en de progressieve verdeling maar een klein effect hebben en zal de simultane vrijgave de beste optie zijn in termen van totale order pick tijd en totale tardiness.

Er kan met andere woorden besloten worden dat een manager van een bedrijf best kan opteren voor een simultane vrijgave van orders indien hij gaat kijken naar de totale tardiness en de totale order pick tijd. In de praktijk gaat dit echter tegenstrijdig zijn met de verwachtingen van klanten. Bij een planningsperiode van acht uur wil het namelijk zeggen dat de klanten minstens acht uur op voorhand hun producten bestellen. Klanten willen echter zo laat mogelijk kunnen bestellen en dan is dan is het gelijktijdig vrijgeven van nieuwe orders vaak niet mogelijk om te hanteren in een distributiecentrum.

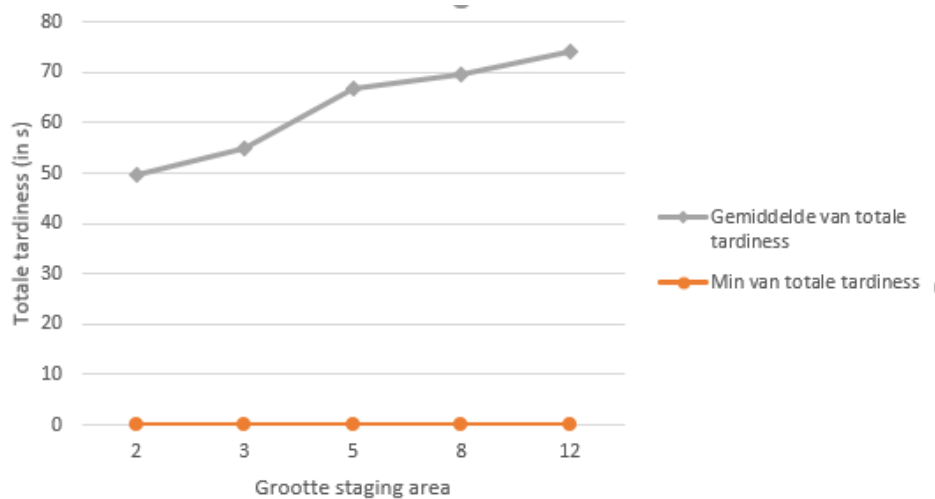


Figuur 26: Order pick tijd in functie van verdeling vrijgave orders.

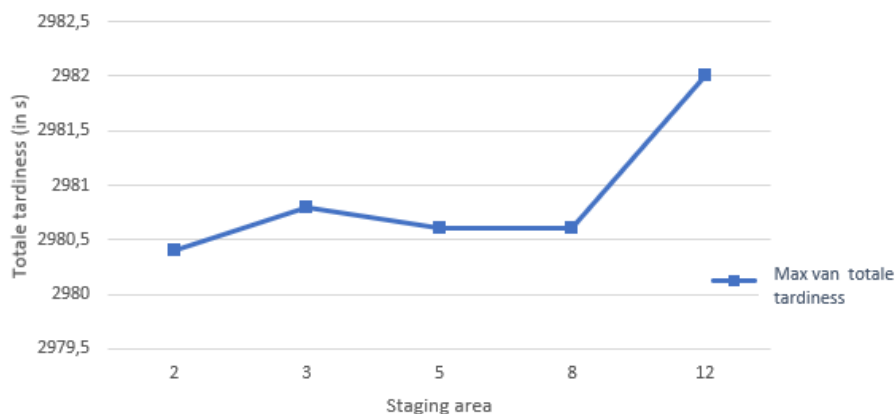
3.2.3 Grootte staging area

De grootte van de staging area is een belangrijk gegeven in dit algoritme. Het bepaalt namelijk hoeveel orders er op eenzelfde moment verzameld kunnen worden. De grootte van de staging area kan een waarde aannemen van 2, 3, 5, 8 of 12 dockdeuren. Indien er bijvoorbeeld twee dockdeuren zijn, zullen er slechts twee deuren zijn waar vrachtwagens kunnen arriveren. Hierdoor kunnen order pickers enkel de orders verzamelen die tot deze twee vrachtwagens behoren.

De deadline van een order bepaalt tot welke vrachtwagen een order zal behoren. Wanneer een order bijvoorbeeld behoort tot de derde vrachtwagen en er slechts twee dockdeuren zijn, zal de order moeten wachten totdat alle orders van één van de eerste twee vrachtwagens verzameld zijn. Op het moment dat alle orders van één van de eerste twee vrachtwagens zijn verzameld, kunnen de order pickers beginnen met het verzamelen van de orders voor de derde vrachtwagen.



Figuur 27: Tardiness (gemiddelde en minimum) in functie van de grootte van staging area

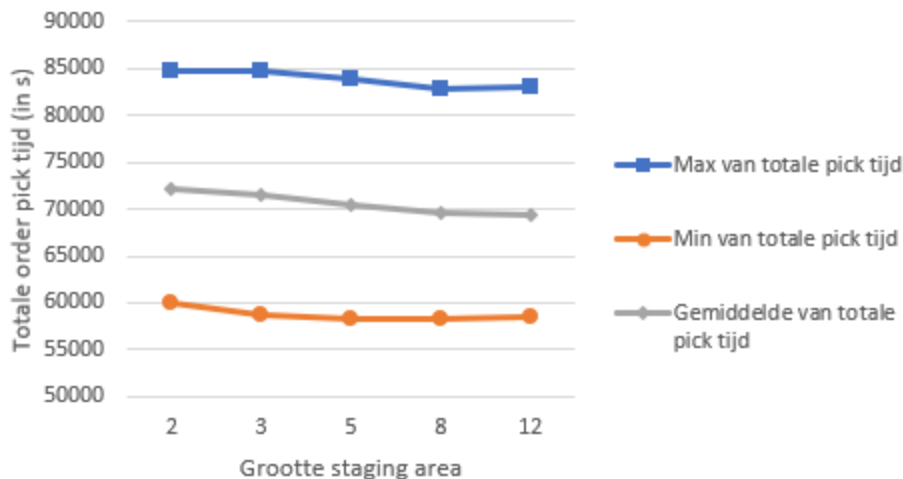


Figuur 28: Tardiness (maximum) in functie van de grootte van staging area

Indien er wordt gekeken naar de totale tardiness in het systeem kan er worden vastgesteld dat een beperkte staging area de totale tardiness positief gaat beïnvloeden (Figuur 27). De gemiddelde tardiness ligt namelijk het hoogste als er twaalf deuren ter beschikking zijn in het distributiecentrum en ligt het laagste als er slechts twee deuren aanwezig zijn in het distributiecentrum (74 seconden vs. 50 seconden). Dit is te verklaren door het feit dat order pickers op het begin van de planningsperiode (bijvoorbeeld acht uur 's ochtends) enkel de orders gaan verzamelen van de eerste twee trucks indien een distributiecentrum maar twee dockdeuren heeft. Op het moment dat het distributiecentrum twaalf dockdeuren ter beschikking heeft, zullen de order pickers twaalf trucks tegelijkertijd kunnen verzamelen. Hierdoor kan er aan het begin van de planningsperiode efficiënt worden gebatched maar bestaat de kans dat de order pickers op het begin van de shift orders gaan

verzamelen die pas eigenlijk later op de shift nodig zijn (bijvoorbeeld 15 uur 's middags). Omdat de order pickers 's ochtends orders gaan verzamelen die eigenlijk pas 's avonds nodig zijn, gaan de order pickers het werk van 's ochtends niet afkrijgen. Hierdoor gaat de totale tardiness in het systeem hoger liggen bij een grotere staging area.

De maximale totale tardiness per wordt op Figuur 28 weergegeven. Uit deze grafiek kan er worden vastgesteld dat de maximale tardiness tussen de diverse groottes van staging area nauwelijks een verschil heeft van ongeveer twee seconden. Dit verschil is dus zo goed als verwaarloosbaar.



Figuur 29: order pick tijd in functie van grootte staging area

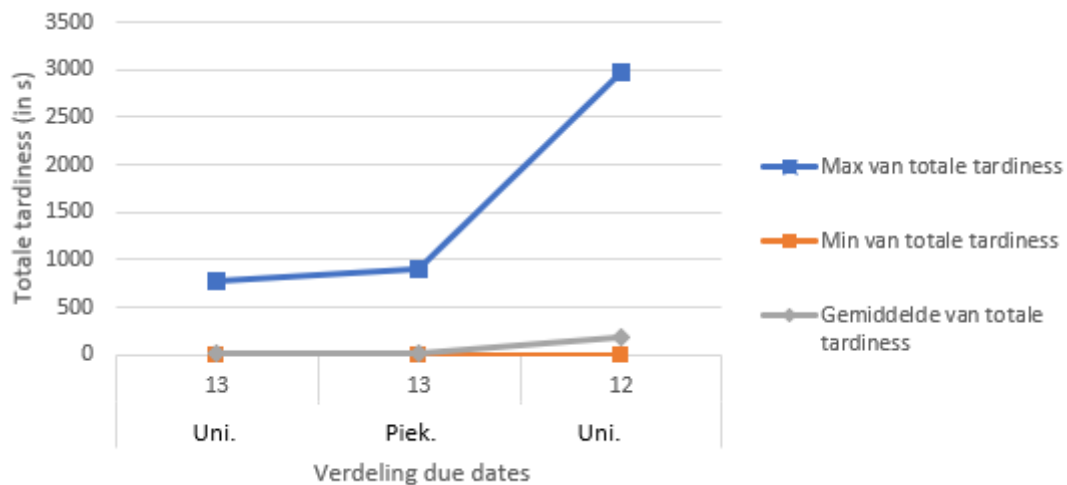
De order pick tijd voor elke grootte, namelijk 2, 3, 5, 8 of 12, van de staging area wordt weergegeven op de grafiek in Figuur 29. Uit deze grafiek kan worden vastgesteld dat een beperkt aantal deuren in een distributiecentrum een averechts effect heeft op de gemiddelde order pick tijd in vergelijking met het effect op de gemiddelde tardiness. De gemiddelde order pick tijd zal namelijk dalen wanneer de grootte van de staging area toeneemt. Indien een distributiecentrum slechts twee deuren heeft zal de order pick tijd gemiddeld order pick tijd 72150 seconden zijn. Deze gemiddelde tijd zal afnemen naar 70380 seconden indien er vijf deuren beschikbaar zijn voor vrachtwagens. Een distributiecentrum met twaalf deuren heeft een gemiddelde order pick tijd van 69299 seconden. Het minimum en maximum van de order pick tijd per niveau van staging area volgt een gelijkaardige trend, met enkele afwijkingen te wijten aan toeval, in vergelijking met gemiddelde order pick tijd per niveau van staging area.

Zoals eerder werd aangehaald zijn er in dit onderzoek twaalf of dertien vrachtwagens die moeten ingepland worden. Wanneer er twaalf deuren ter beschikking zijn, kan de planning op het begin van de planningsperiode reeds gemaakt worden en kunnen de order pickers in het distributiecentrum (bijna) alle orders van de planningsperiode beginnen te verzamelen. Hierdoor kunnen er grotere en efficiëntere batches gemaakt worden en gaat de gemiddelde order pick tijd verlaagd worden. Bij een distributiecentrum met slechts twee deuren kunnen enkel de orders van de eerste twee vrachtwagens

gebatched worden. Hierdoor zijn er minder mogelijkheden om de verschillende orders te batchen en zal de gemiddelde order pick tijd hoger liggen in vergelijking met een staging area met twaalf deuren.

3.2.4 Verdeling due dates

Een belangrijke vraag die een distributiecentrum zich moet stellen is hoe de vrachtwagens verdeeld gaan zijn over de planningsperiode. Elke vrachtwagen heeft eenzelfde due date oftewel vertrektijd. Hierdoor kan een bedrijf ook de vraag stellen hoe de verschillende deadlines doorheen de planningsperiode zijn verdeeld. Om deze vraag te beantwoorden worden er drie situaties (uniforme verdeling met twaalf trucks, uniforme verdeling met dertien trucks en een verdeling met piekmomenten) op voorhand opgesteld.

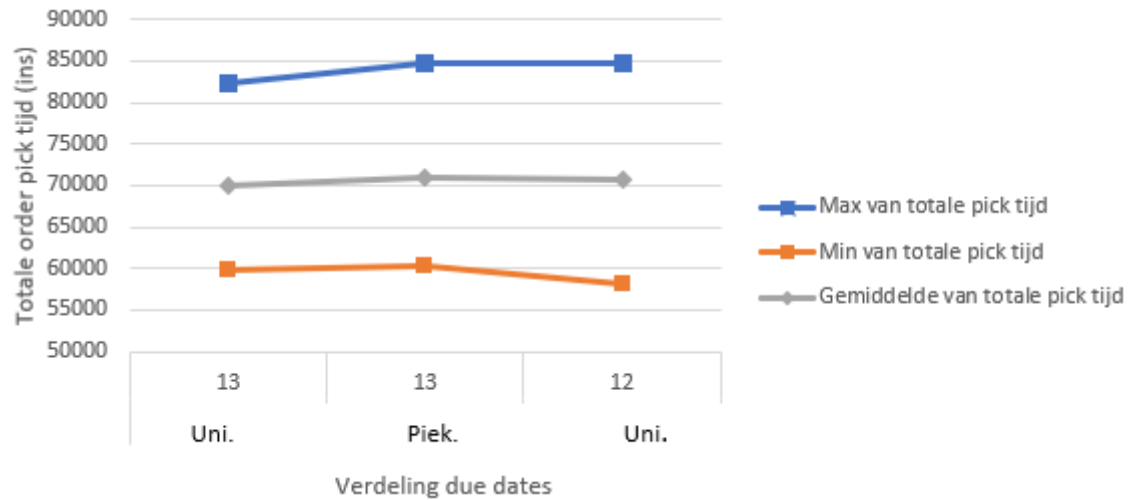


Figuur 30: Tardiness per verdeling van due dates

Op basis van Figuur 30 kan er geconcludeerd worden dat de gemiddelde tardiness bij de uniforme verdeling met dertien trucks en de verdeling die rekening houdt met piekmomenten in de vraag verwaarloosbaar is. De relatief hoge gemiddelde tardiness bij de uniforme verdeling met twaalf trucks is te verklaren door het feit dat de eerste vrachtwagen al na 40 minuten vertrekt, terwijl bij de overige twee verdelingen de eerste vrachtwagen pas na 60 minuten vertrekt. Dit verschil van 20 minuten kan ervoor zorgen dat order pickers de orders die tot de eerste vrachtwagen behoren te laat gaan verzamelen. De eerste vrachtwagen na 40 minuten gaat ook meer orders bevatten dan de eerste vrachtwagen na 60 minuten aangezien het hier om één vrachtwagen minder gaat. De maximale tardiness is logischerwijs daarom ook het hoogste bij de uniforme verdeling met twaalf vrachtwagens

De efficiëntie (in functie van de totale order pick tijd) wordt weergegeven op de grafiek in Figuur 31. De gemiddelde order pick tijd bij de verdeling waar er rekening gehouden wordt met piekmomenten in de vraag is aanzienlijk hoger dan de uniforme verdelingen. Daarnaast ligt het minimum en het

maximum ook het hoogste bij de verdeling die rekening houdt met piekmomenten. De piek in de vraag is relatief aan het einde van de planningsperiode (5 uur tot 5 uur en 20 minuten), hierdoor gaat de (gemiddelde) tijd om orders te verzamelen groter zijn dan een uniforme verdeling van de due dates. Dit is voornamelijk te wijten door het feit dat de orders relatief dicht (drie vrachtwagens op 20 minuten tijd) op elkaar aankomen gedurende de piekperiode. Hierdoor gaan er kleinere batches gecreëerd worden om deze orders te verzamelen. Het creëren van kleinere batches kan ervoor zorgen dat de orders die tot één batch behoren ver uit elkaar gaan liggen en dat de order picker bijgevolg verder moet lopen om een batch te voltooien.



Figuur 31: Order pick tijd per verdeling van due dates

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de algemene conclusies van deze masterproef besproken. In sectie 4.1 zullen de resultaten van het empirisch gedeelte besproken worden. Vervolgens zal in sectie 4.2 enkele aanbevelingen worden gemaakt voor verder onderzoek.

4.1 Algemene conclusies

De centrale onderzoeksvraag die in deze masterproef bij aanvang gesteld werd, luidt als volgt;

“Hoe kunnen order picking activiteiten in een dynamische setting geoptimaliseerd worden?”.

De centrale onderzoeksvraag kwam tot stand doordat de e-commerce zich de afgelopen jaren sterk ontwikkeld heeft. Hierdoor hebben klanten steeds hogere verwachtingen. Deze hoge verwachtingen vertalen zich voornamelijk in het sneller leveren van de producten aan de klant en het bestellen van kleinere hoeveelheden. Dit zorgt echter voor een verhoogde druk op distributiecentra omdat ondermaatse prestaties gaat leiden tot een slechte service. Vanwege de hogere verwachtingen van de klant heeft een distributiecentrum minder tijd om orders te verwerken. Om deze reden is het minimaliseren van de order pick tijd een belangrijk aspect bij het beleid van een bedrijf. Het hanteren van een dynamische methode bij het order picking proces kan ervoor zorgen dat de order pick tijd geminimaliseerd wordt.

Om een antwoord te kunnen bieden op de onderzoeksvraag is het belangrijk om te weten wat het verschil is tussen dynamische batching en statische batching. Uit de literatuurstudie is gebleken dat bij een statisch systeem alle klantenorders aan het begin van de planningsperiode gekend zijn. Een distributiecentrum kan zo aan het begin van de dag zijn volledige planning al opstellen. Als de planning is opgesteld, zal deze ook niet meer wijzigen. Bij een dynamisch systeem is dit echter niet het geval. Hier kan de planning gedurende de dag voortdurend wijzigen. De bestellingen komen namelijk bij een dynamisch systeem in de loop van de dag beschikbaar. Hierdoor zal een distributiecentrum de huidige pickcyclus van één of meerdere order pickers onderbreken en aanpassen. Een dynamisch order picking systeem zal bijgevolg sneller kunnen voldoen aan de vraag van klanten ten opzichten van een statisch systeem.

In het empirische deel van deze masterproef wordt de oplossing van dataset geanalyseerd. Het is bij deze analyses interessant om na te gaan wat de invloed is van het dynamische karakter op de totale tardiness en de totale order pick tijd. Uit deze dataset kunnen er diverse conclusies getrokken worden. Als eerste heeft het dynamische systeem een negatief effect op de totale order pick tijd. Dit is voornamelijk te wijten aan het feit dat er bij een dynamisch order picking systeem orders beschikbaar worden gesteld doorheen de dag. Hierdoor gaat een distributiecentrum aan het begin van de planningsperiode maar enkele orders voorhanden hebben om te kunnen batchen en gaat een distributiecentrum minder efficiënt kunnen batchen. Het is daarbij belangrijk om te weten dat een manager van een bedrijf efficiënter kan batchen indien er meer orders in één batch zitten en bijgevolg er zo weinig mogelijk batches doorheen de planningsperiode moeten verzameld worden. Daarnaast kan er bij een dynamisch systeem orders binnenkomen tot één half uur voor de deadline. Dit gegeven zal ervoor zorgen dat order pickers weinig tijd hebben om de orders te verzamelen en dat de kans

op vertraging vergroot wordt. Een dynamisch systeem heeft met andere woorden een negatief effect op de twee doelfuncties: het minimaliseren van de totale tardiness en het minimaliseren van de totale order pick tijd. Echter, indien een distributiecentrum opteert voor dynamisch order pick systeem zal het sneller kunnen voldoen aan de vraag van de klant. Een dynamisch systeem gaat namelijk de doorlooptijd van de orders verkorten.

Daarnaast heeft de grootte van de staging area ook een invloed op de twee doelfuncties (totale tardiness en totale order pick tijd minimaliseren). Hoe groter de staging area, hoe meer tardiness er zal optreden in het systeem. Indien er op één dag twaalf vrachtwagens aankomen bij een distributiecentrum met twaalf dockdeuren, dan zullen de order pickers alle orders voor deze twaalf trucks beginnen te verzamelen aan het begin van de dag. Een distributiecentrum kan namelijk op deze manier aan het begin van de planningsperiode efficiënte batches creëren. De kans bestaat echter wel dat de order pickers aan het begin van de dag orders gaan verzamelen die pas eigenlijk later op de dag nodig zijn. Hierdoor gaan order pickers vaak aan het begin van de dag hun werk niet afkrijgen. Het is dus voor een manager belangrijk om te bepalen of de order pickers hun werk 's ochtends op tijd afkrijgen zodat het verzamelen van bepaalde orders niet zal leiden tot tardiness. Daarentegen heeft de grootte van de staging area een positief effect op de order pick tijd. De gemiddelde order pick tijd gaat namelijk dalen naarmate de staging area groter wordt. Indien er meer deuren beschikbaar zijn, zijn er meer orders op het begin van de planningsperiode beschikbaar. Hierdoor kunnen er efficiëntere batches gecreëerd worden en kan de totale order pick tijd verkort worden.

Vervolgens wordt in het praktijk gedeelte van dit onderzoek gekeken naar de verdeling van de vrachtwagens doorheen een planningsperiode van acht uur. Uit de resultaten blijkt dat een uniforme verdeling met dertien vrachtwagens het efficiëntste is wanneer een bedrijf gaat kijken naar zowel de totale tardiness als de totale order pick tijd. In de praktijk echter, zijn er vaak piekmomenten in de vraag. Hierdoor komen de vrachtwagens tijdens de piekmomenten relatief dicht op elkaar aan. Gedurende deze piekmomenten gaan er vaak kleinere batches gecreëerd worden, wat de order pick tijd zal doen stijgen. Daarnaast is het belangrijk voor een manager om te weten hoe laat de eerste vrachtwagen aankomt bij het distributiecentrum. Indien een vrachtwagen al na 40 minuten aankomt bij het distributiecentrum hebben de order pickers relatief weinig tijd om alle orders te verzamelen en gaat de totale tardiness hoger liggen dan wanneer order pickers 60 minuten tijd hebben om de orders te verzamelen. Het is daarbij ook belangrijk om te weten dat de tardiness stijgt indien er relatief weinig vrachtwagens (=due dates) zijn op één dag. De kans wordt namelijk groter dat één vrachtwagen meer orders gaat bevatten en het bijgevolg moeilijker zal zijn voor de order pickers om op tijd klaar te zijn.

Tenslotte wordt er in deze masterproef gekeken naar de verdeling van de vrijgave van de orders. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat het simultaan vrijgeven van de orders het beste effect heeft op de totale order pick tijd en de totale tardiness. Het tegelijkertijd vrijgeven van de orders zal er voor zorgen dat de orders relatief vroeg op de beschikbaar zijn. Hierdoor kunnen er grotere batches gemaakt worden en gaat de efficiëntie van het systeem omhoog. In de praktijk gaat dit echter tegenstrijdig zijn met de verwachtingen van klanten. Bij een planningsperiode van acht uur wil het namelijk zeggen dat de klanten minstens acht uur op voorhand hun producten bestellen.

Klanten willen echter zo laat mogelijk kunnen bestellen en dan is het gelijktijdig vrijgeven van nieuwe orders vaak niet mogelijk om te hanteren in een distributiecentrum. Bij de uniforme en de progressieve verdeling kunnen de klanten wel later hun bestelling plaatsen. Bij deze twee verdelingen kunnen namelijk orders nog een half uur voor de deadline van een vrachtwagen aankomen. Hierdoor hebben de order pickers echter minder tijd om de batches te verzamelen, dus is kans op vertraging groter.

4.2 Aanbevelingen

Ondanks de evolutie naar steeds meer veeleisende klanten, werd er nog niet veel onderzoek uitgevoerd omtrent dynamische order picking systemen. Om deze reden kunnen er een aantal aanbevelingen gegeven worden om de kennis over dynamisch order picking verder uit te breiden.

In dit onderzoek worden enkel de operationele planningsproblemen onderzocht. In de praktijk moeten distributiecentra echter rekening houden met meerdere planningsproblemen. Dit op zowel strategisch als tactisch niveau. Het bepalen van de opslaglocaties en het bepalen van de pickzones zijn voorbeelden van planningsproblemen. Verder onderzoek dient te worden verricht om te analyseren hoe deze planningsproblemen een invloed hebben op de order pick tijd en de tardiness in het systeem. Daarnaast wordt er in dit onderzoek enkel over manuele order picking in distributiecentra gesproken. In de realiteit worden er echter vaak order picking systemen gehanteerd die ondersteund worden door machines. Verder onderzoek dient te worden verricht om te onderzoeken welk effect deze systemen hebben op de twee doelfuncties.

Daarnaast is uit het praktijkgedeelte gebleken dat enkele parameters nog uitgebreider onderzocht kunnen worden. Zo wordt in het onderzoek slechts gebruik gemaakt van drie tot vier order pickers. Voor toekomstig onderzoek zou het daarom interessant zijn om meerdere order pickers op te nemen in het algoritme.

Tenslotte zijn in dit onderzoek twee doelfuncties (totale tardiness en totale order pick tijd) onderzocht. In toekomstig onderzoek kunnen er ook nog andere doelfuncties, zoals de doorlooptijd van de orders, geanalyseerd worden.

Literatuurlijst

- Ardjmand, E., Shakeri, H., Singh, M., & Bajgiran, O. S. (2018). Minimizing order picking makespan with multiple pickers in a wave picking warehouse. *International Journal of Production Economics*, 206, 169-183.
- Bukchin, Y., Khmel'nitsky, E., & Yakuel, P. (2012). Optimizing a dynamic order-picking process. *European Journal of Operational Research*, 219(2), 335-346.
- Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., & Gómez-Montoya, R. A. (2017). An evaluation of picking routing policies to improve warehouse efficiency. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(4), 229-238.
- Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., & Chan, L. K. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics*, 159, 158-167.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
- de Vries, J., de Koster, R., & Stam, D. (2016). Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. *International Journal of Production Research*, 54(8), 2260-2274.
- D'HAEN, Ruben; BRAEKERS, Kris & RAMAEKERS, Katrien (2020) Online integrated order batching, picker routing and picker scheduling in a warehouse. In: International Conference on Computational Logistics (ICCL2020), Online, 28-30 September 2020.
- Đukić, G., Česnik, V., & Opetuk, T. (2010). Order-picking methods and technologies for greener warehousing. *Strojarstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu*, 52(1), 23-31.
- Giannikas, V., Lu, W., Robertson, B., & McFarlane, D. (2017). An interventionist strategy for warehouse order picking: Evidence from two case studies. *International Journal of Production Economics*, 189, 63-76.
- Gong, Y., & De Koster, R. B. (2011). A review on stochastic models and analysis of warehouse operations. *Logistics Research*, 3(4), 191-205.
- Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2015). The effect of worker learning on manual order picking processes. *International Journal of Production Economics*, 170, 882-890.
- Henn, S. (2015). Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(1), 86-114.
- Henn, S., Koch, S., & Wäscher, G. (2012). Order batching in order picking warehouses: a survey of solution approaches. In *Warehousing in the global supply chain* (pp. 105-137). Springer, London.

- Henn, S., Koch, S., Doerner, K. F., Strauss, C., & Wäscher, G. (2010). Metaheuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *Business Research*, 3(1), 82-105.
- Hong, S., & Kim, Y. (2017). A route-selecting order batching model with the S-shape routes in a parallel-aisle order picking system. *European Journal of Operational Research*, 257(1), 185-196.
- Klodawski, M., Jachimowski, R., Jacyna-Golda, I., & Izdebski, M. (2018). Simulation analysis of order picking efficiency with congestion situations. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(3), 431-443.
- Kübler, P., Glock, C. H., & Bauernhansl, T. (2020). A new iterative method for solving the joint dynamic storage location assignment, order batching and picker routing problem in manual picker-to-parts warehouses. *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106645.
- Liang, J., Wu, Z., Zhu, C., & Zhang, Z. H. (2020). An estimation distribution algorithm for wave-picking warehouse management. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1-14.
- Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V., & Zhang, Q. (2016). An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 107-122.
- Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(1), 82-98
- Mowrey, C. H., & Parikh, P. J. (2014). Mixed-width aisle configurations for order picking in distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 87-97.
- Ran, W., Liu, S., & Zhang, Z. (2020). A Polling-Based Dynamic Order-Picking System considering Priority Orders. *Complexity*, 2020.
- Scholz, A., Schubert, D., & Wäscher, G. (2017). Order picking with multiple pickers and due dates—Simultaneous solution of order batching, batch assignment and sequencing, and picker routing problems. *European Journal of Operational Research*, 263(2), 461-478
- Schrotenboer, A. H., Wruck, S., Vis, I. F., & Roodbergen, K. J. (2019). Integration of returns and decomposition of customer orders in e-commerce warehouses. *arXiv preprint arXiv:1909.01794*
- Silva, A., Coelho, L. C., Darvish, M., & Renaud, J. (2020). Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 102003.
- Tsai, C. Y., Liou, J. J., & Huang, T. M. (2008). Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research*, 46(22), 6533-6555.
- Van Belle, J., Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. *Omega*, 40(6), 827-846.

van der Gaast, J. P., Jargalsaikhan, B., & Roodbergen, K. J. (2018). Dynamic batching for order picking in warehouses. *15th IMHRC Proceedings (Savannah, Georgia, USA – 2018)*. 20.

van Gils, T., Caris, A., Ramaekers, K., & Braekers, K. (2019). Formulating and solving the integrated batching, routing, and picker scheduling problem in a real-life spare parts warehouse. *European Journal of Operational Research*, 277(3), 814-830.

van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 1-15.

Vanheusden, S., van Gils, T., Caris, A., Ramaekers, K., & Braekers, K. (2020). Operational workload balancing in manual order picking. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106269.

Vanheusden, S., van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & Cornelissens, T. (2020). Increasing the practical applicability of research on order picking planning: state-of-the-art classification and review. *Available at SSRN*.