

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

Masterproef
Uitdagingen bij rittenplanning met dynamische klantenaanvragen

Promotor :
dr. Kris BRAEKERS

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

2014•2015

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Uitdagingen bij rittenplanning met dynamische
klantenaanvragen

Promotor :
dr. Kris BRAEKERS

Thor Houberechts

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

Woord vooraf

Deze masterproef kadert in mijn opleiding Handelsingenieur in de Toegepaste Economische Wetenschappen aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp 'Uitdagingen bij rittenplanning met dynamische klantenaanvragen' past in mijn afstudeerrichting operationeel management en logistiek. Het voltooien van deze masterproef vormde een grote uitdaging voor mij. Deze, op verschillende vlakken, leerrijke ervaring was niet tot stand kunnen komen zonder de hulp van vele mensen. Die wens ik nu dan ook te bedanken.

Eerst en vooral zou ik mijn promotor Dr. K. Braekers willen bedanken om mij de kans te geven dit onderzoek uit te voeren. Zonder zijn begeleiding was dit werk niet tot stand kunnen komen. Zijn goede raad, oneindige geduld, en soms nodige motivering hebben mij er toe in staat gebracht dit werk te kunnen voltooien. Het praktijkgedeelte van dit werkstuk heeft mijn interesse omtrent rittenplanning en onderzoekswerk kunnen opwekken.

Vervolgens zou ik mijn ouders willen bedanken. Zij hebben het mogelijk gemaakt voor mij om deze opleiding te volgen. Ze zijn altijd in mij blijven geloven, ook op momenten dat ik aan mezelf twijfelde.

Ten slotte zou ik nog mijn vriendin Emilie, broers Seppe en Kaj, en vrienden Bart, Christoph, Gino, Kenneth, en Yannick willen bedanken voor te zijn wie ze zijn.

Samenvatting

Deze masterproef handelt over uitdagingen bij rittenplanning met dynamische klantenaanvragen. Het statisch rittenplanningsprobleem is een optimalisatieprobleem waarbij naar ritten gezocht wordt die de totale kosten minimaliseren. De gegevens in een rittenplanningsprobleem bestaan uit een aantal klanten die bezocht dienen te worden en een aantal voertuigen die vertrekkende vanuit een depot deze klanten moeten bezoeken. Een dynamisch rittenplanningsprobleem is een rittenplanningsprobleem waarbij niet alle benodigde gegevens voor het uitstippelen van de ritten beschikbaar zijn op het moment dat het planningsproces ten uitvoer wordt gebracht, en de relevante informatie kan veranderen nadat de eerste ritten berekend zijn. In een wereld waar snelheid van bediening alsmaar belangrijker wordt, is dit een zeer actueel thema. Hoe sneller de bedrijven willen reageren, hoe minder tijd ze hebben om te wachten op informatie. De invloed van het gebrek aan tijdige informatie over klantenorders op de efficiëntie van de ingeplande ritten staat in deze masterproef centraal. Hoe deze invloed verandert wanneer de omgeving van een dergelijk probleem verandert komt ook aan bod.

Het eerste hoofdstuk van deze masterproef licht de probleemstelling en werkwijze toe. In de inleiding wordt aangegeven waarom rittenplanning met dynamische klantenaanvragen zo actueel en belangrijk is. Vervolgens wordt er overgegaan op de centrale onderzoeksvraag en de verschillende deelvragen van deze thesis. In eerste instantie zal er een literatuurstudie gebeuren om meer inzicht te krijgen in de probleemstelling. Naast een literatuurstudie worden de effecten van drie verschillende parameters op de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningsprobleem onderzocht. De drie parameters die onderzocht worden zijn de graad van dynamisme, de oppervlakte van het klantengebied, en het aantal beschikbare monteurs. Na deze onderzoeksvragen behandeld te hebben wordt de methodologie die gehanteerd wordt in deze masterproef toegelicht. Er is gekozen om te werken met een simulatie om de verschillende invloeden van de verschillende parameters in kaart te brengen. Dit sluit het eerste hoofdstuk af.

Het tweede hoofdstuk geeft een overzicht van de literatuur omtrent rittenplanning in een dynamische omgeving. Eerst wordt het gewone, statische rittenplanningsprobleem uitgelegd. Nadat het statische probleem is toegelicht wordt overgegaan op de dynamische tegenhanger van het rittenplanningsprobleem. Het belangrijkste verschil tussen statische en dynamische rittenplanningsproblemen is het feit dat bij dynamische rittenplanningsproblemen een deel van de informatie slechts beschikbaar wordt gedurende de uitvoer van de ritten. Hierna worden enkele voorbeelden van rittenplanningsproblemen in dynamische omgevingen gegeven. Dynamische rittenplanning kan bijvoorbeeld toegepast worden bij het onderhoud van machines. Monteurs kunnen geplande controles uitvoeren maar kunnen ook een oproep krijgen om naar een machine te gaan die plots defect is. De geplande ritten van de monteurs dienen dan aangepast te worden. De verschillende methoden om dynamisme te meten worden hierna behandeld. Vervolgens worden de verschillende oorzaken van dynamisme gegeven en beschreven. Er kunnen drie oorzaken van dynamisme onderscheiden worden, namelijk nieuwe klantenaanvragen, tijdsafhankelijke reistijden, en het uitvallen

van voertuigen. Dit hoofdstuk sluit af met de beschrijving van oplossingsmethoden die gebruikt worden in dynamische rittenplanningsproblemen. De oplossing van een dynamisch rittenplanningsprobleem kan niet bestaan uit een set van ritten aangezien deze aangepast moeten worden wanneer de beschikbare informatie verandert. De output van een dynamisch rittenplanningsprobleem is daarom een beleid dat beschrijft hoe de ritten moeten evolueren in functie van de input die over de tijd verandert.

Het derde hoofdstuk handelt over het praktijkgedeelte. Het rittenplanningsprobleem van de monteurs die een aantal geplande en een aantal niet geplande klanten moeten bezoeken wordt gesimuleerd. Dit probleem wordt opgelost met behulp van het *nearest neighbour* algoritme. Dit houdt in dat wanneer een monteur klaar is bij een klant hij naar de volgende klant vertrekt waar hij zich het dichtst bij bevindt. Er worden verschillende scenario's opgesteld met telkens andere waarden voor de drie parameters. Vervolgens worden de resultaten van de simulatie toegelicht en geanalyseerd. Door de resultaten te interpreteren kunnen de onderzoeksvragen die centraal staan in deze masterproef beantwoord worden. In eerste instantie worden de individuele effecten van de verschillende parameters toegelicht. Alle parameters hebben een significant effect op de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningsprobleem. Nadat deze individuele effecten besproken zijn wordt overgegaan op de interactie tussen de verschillende onderzochte parameters. Door de resultaten te analyseren wordt duidelijk wat de gevolgen zijn wanneer verschillende parameters tegelijk andere waarden aannemen. Tevens wordt hier gezocht naar logische verklaringen voor de effecten van de verschillende variabelen. Nadat de resultaten geanalyseerd zijn worden enkele tekortkomingen van de simulatie besproken. Hier wordt ook toegelicht waarom sommige abstracties van de werkelijkheid gemaakt dienden te worden. Ter afsluiting van dit hoofdstuk worden linken met de realiteit gelegd om het praktisch nut van een dergelijke analyse duidelijk te maken.

Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies van de thesis. De verschillende onderzoeksvragen worden hier beantwoord. Wanneer overgegaan wordt van een statisch op een dynamisch rittenplanningsprobleem heeft dit, in termen van maatstaven zoals de afgelegde afstand, een nadelig effect op de efficiëntie van de oplossing ervan. Wanneer een probleem van statisch naar dynamisch evolueert verandert dit ook de invloed van andere parameters van het probleem. Een verandering van een parameter van een rittenplanningsprobleem kan in een dynamische omgeving namelijk grotere gevolgen hebben dan in een statische omgeving. Nadat de resultaten zijn geïnterpreteerd volgen ten slotte nog enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

Inhoudstafel

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
Inhoudstafel	9
1. Probleemstelling en werkwijze	11
1.1. Inleiding	11
1.2. Centrale onderzoeksvraag	12
1.2.1. Deelvraag 1: Welke wetenschappelijke studies zijn reeds uitgevoerd in verband met dynamische rittenplanningsproblemen?	12
1.2.2. Deelvraag 2: Hoe verandert de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningsstelsel wanneer meer en meer klanten dynamisch worden?	13
1.2.3. Deelvraag 3: Hoe verandert de afgelegde afstand in dynamische rittenplanningsproblemen wanneer het geografisch gebied van het klantenbestand toeneemt? ..	13
1.2.4. Deelvraag 4: Wat is de invloed van een stijging van de capaciteit van de voertuigenvloot op de afgelegde afstand bij een dynamisch rittenplanningsprobleem?	14
1.3. Methodologie	14
1.4. Verdere opbouw	15
2. Literatuurstudie	17
2.1. Het rittenplanningsprobleem	17
2.2. Het dynamisch rittenplanningsprobleem	19
2.3. Verschillen tussen statische en dynamische rittenplanningsproblemen	20
2.4. Voorbeelden	23
2.5. Dynamisme in rittenplanningsproblemen	25
2.6. Oorzaken van dynamisme	26
2.6.1. Nieuwe klantenaanvragen als oorzaak van dynamisme	27
2.6.2. De reistijden als oorzaak van dynamisme	28
2.6.3. Het uitvallen van een voertuig als oorzaak van dynamisme	28
2.7. Oplossingsmethoden voor dynamische rittenplanningsproblemen	29
2.7.1. Algoritmes	29
2.7.2. Lineaire optimalisatie	30
2.7.3. Wacht strategieën	30
2.7.4. Verplaatsing strategieën	31
2.7.5. Het bufferen van de aanvragen	31
3. Praktijkgedeelte	33
3.1. Inleiding praktijkgedeelte	33
3.2. Beschrijving van de simulatie	34

3.2.1.	De klanten	34
3.2.2.	De monteurs en het centrale verzamelpunt.....	35
3.2.3.	Het planningsproces.....	36
3.2.4.	Doelstelling.....	37
3.2.5.	De parameters	37
3.3.	Voorbeelden	39
3.3.1.	Eerste voorbeeld	39
3.3.2.	Tweede voorbeeld.....	44
3.3.3.	Vergelijking van de resultaten	47
3.4.	Analyse van de resultaten	47
3.4.1.	Effect van een stijging van de graad van dynamisme	48
3.4.2.	Effect van een stijging in het aantal beschikbare monteurs	51
3.4.3.	Het effect van een toename in de grootte van het klantengebied	53
3.4.4.	Het effect van een toename in de graad van dynamisme voor verschillende aantallen van monteurs.	55
3.4.5.	Het effect van een toename in de graad van dynamisme voor verschillende oppervlaktes van het klantengebied.	57
3.4.6.	Het effect van een toename in het aantal monteurs voor verschillende graden van dynamisme.	58
3.4.7.	Het effect van een toename in de oppervlakte van het klantengebied voor verschillende graden van dynamisme.....	60
3.5.	Tekortkomingen van de simulatie	61
3.6.	Linken met de realiteit	62
4.	Conclusies en voorstellen voor verder onderzoek.....	65
4.1.	Conclusies	65
4.2.	Voorstellen voor verder onderzoek	67
	Referenties.....	69
	Lijst van tabellen	72
	Lijst van figuren.....	73
	Bijlagen	74

1. Probleemstelling en werkwijze

1.1. Inleiding

Rittenplanning heeft de laatste decennia aan belang gewonnen omdat zowel in Noord-Amerika als in Europa de toepassing van de juiste planningsmethoden hebben geleid naar kostendalingen van vijf tot twintig procent (Toth & Vigo, 2001). Deze besparingen hebben een grote invloed op het globale economisch systeem. Want het transport-proces heeft betrekking op alle stappen van het productie- en distributiesysteem. Het transport van grondstoffen, half afgewerkte producten, en afgewerkte producten representeert een groot deel (over het algemeen van 10% tot 20%) van de totale kost van het afgeleverde product (Toth & Vigo, 2001). Een goede planning van de logistieke taken kan dus leiden tot grote besparingen.

Statische rittenplanningsproblemen hebben hun praktisch nut meer dan bewezen. Het klassieke rittenplanningsprobleem bestaat uit het construeren van een set van routes voor de voertuigen zodat alle klanten precies eenmaal bezocht worden en de totale kosten verbonden aan deze routes geminimaliseerd worden. De voertuigen dienen te vertrekken vanuit het depot en nadat ze alle klanten op hun respectievelijke route bezocht hebben, dienen ze terug te keren naar het depot (Toth & Vigo, 2001). Er is veel onderzoek gedaan naar deze rittenplanningsprobleem. Het overgrote deel van dit onderzoek heeft betrekking op rittenplanningsproblemen in een statische omgeving. In een statische omgeving zijn de gegevens van het probleem niet onderhevig aan veranderingen overheen de tijd. Hierdoor schieten deze modellen in sommige situaties tekort. Indien er tijdens de uitvoer van de planning informatie bijkomt of wijzigt, moet dit manueel aangepast worden.

De laatste decennia zijn distributiesystemen steeds complexer geworden. Deze ontwikkeling heeft verschillende oorzaken. Een van de oorzaken is het hoge aantal bedrijfsfusies die de distributieplanners belasten met steeds omvangrijkere en moeilijker problemen. Een tweede reden voor de toenemende complexiteit is het stijgende belang van tijdigheid in de distributieketen. Een goede planning kan leiden tot mogelijke besparingen in voorraads- en distributiekosten. Door deze stijging van complexiteit is de interesse in dynamische rittenplanningsproblemen gestegen. Tijd is de afgelopen jaren zeer waardevol geworden. Het toegenomen belang van just-in-time logistiek is een andere oorzaak van de toegenomen interesse in de dynamische tegenhanger van het klassieke rittenplanningsprobleem. Tegenwoordig moeten de meeste distributiesystemen werken onder strikte tijd-gerelateerde beperkingen. Deze evoluties zorgen samen voor een verhoogde interesse in dynamische transportmodellen en systemen waar de gegevens tijdsafhankelijk zijn (Larsen, 2000).

De vraag naar dynamische rittenplanningssystemen blijkt duidelijk uit de evoluties die hierboven beschreven werden. Echter om in de praktijk haalbaar te zijn moeten er ook manieren zijn om in te spelen op deze dynamisch verkregen gegevens. Een aantal technologische ontwikkelingen hebben *real-*

time rittenplanning mogelijk gemaakt. Door de introductie van het Global Positioning System (GPS) in 1996, het wijdverspreide gebruik van mobiele telefoons en smartphones, en nauwkeurige Geografische Informatie Systemen (GIS) zijn bedrijven in staat om hun voertuigen nog beter en op elk moment in de tijd te beheren (Pillac et al., 2011). Dit brengt vele mogelijkheden met zich mee, waaronder het overstappen van statische rittenplanning naar dynamische rittenplanning. Door de invoer van dynamische rittenplanning ontstaan er op zijn beurt mogelijkheden om de operationele kosten te laten dalen, de kwaliteit van de service aan de klanten te verbeteren, en de ecologische impact af te laten nemen.

1.2. Centrale onderzoeksvraag

Het dynamisch karakter van een rittenplanningsprobleem met klantenaanvragen tijdens de uitvoer van de geplande ritten vraagt om een specifieke aanpak van het probleem (Psaraftis, 1988). Meer en meer praktijkproblemen hebben te maken met rittenplanningsproblemen waarvan de bestellingen van de klanten nog binnenkomen terwijl de planners reeds ritten hebben uitgestippeld voor de voertuigen. Tevens is er een steeds grotere druk om aan een zo snel mogelijk tempo orders te verwerken. In de praktijk zijn er dan ook veel bedrijven die proberen om de orders die ze binnenkrijgen tijdens de uitvoer van ritten zo snel mogelijk in te plannen en indien mogelijk diezelfde dag nog te voldoen. De kosten verbonden aan deze ritten zullen beïnvloed worden door de dynamische klanten. De maatstaf die als basis voor de kosten gebruikt wordt, wordt gevormd door de afgelegde afstand. De invloed van dynamische klanten op de afgelegde afstand verbonden aan de ritten staat centraal in deze thesis. De centrale onderzoeksvraag is bijgevolg: "Wat is het effect van een verschuiving van statische naar dynamische klantenorders op de afgelegde afstand verbonden aan deze klantenorders in een rittenplanningsprobleem?" De servicegraad kan ook een interessante prestatie maatstaf vormen. De servicegraad kan uitgedrukt worden als de tijd die klanten gemiddeld moeten wachten op de levering van hun bestelling nadat ze deze geplaatst hebben. De extra opbrengst voor bedrijven die in staat zijn een betere servicegraad te behalen is echter moeilijk in te schatten. Daarom is geopteerd voor deze maatstaf uit de analyse te laten in deze masterproef.

1.2.1. Deelvraag 1: Welke wetenschappelijke studies zijn reeds uitgevoerd in verband met dynamische rittenplanningsproblemen?

Zoals in sectie 1.1. aangegeven is er in de praktijk nood aan oplossingsmethoden voor problemen die kunnen omgaan met informatie die onderhevig is aan verandering. Welke modellen en oplossingsmethoden worden in de wetenschappelijke literatuur voorgesteld? Welke informatie kan

allemaal veranderen en hoe worden deze verschillende soorten dynamisme bestudeerd in de wetenschappelijke literatuur? Dit vormt een eerste deelvraag die een duidelijker beeld dient te scheppen van hoe de literatuur omgaat met dynamische rittenplanningsproblemen.

1.2.2. Deelvraag 2: Hoe verandert de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningssysteem wanneer meer en meer klanten dynamisch worden?

Deze deelvraag zal kijken naar de relatie tussen de afgelegde afstand en de graad van dynamisme. De graad van dynamisme is het percentage van klantenorders dat dynamisch geplaatst wordt (Larsen, 2010). Wat gebeurt er met de afgelegde afstand wanneer meer en meer orders de dag zelf geplaatst worden (de graad van dynamisme stijgt) in plaats van op voorhand? Dit vormt de tweede deel vraag van deze thesis.

1.2.3. Deelvraag 3: Hoe verandert de afgelegde afstand in dynamische rittenplanningsproblemen wanneer het geografisch gebied van het klantenbestand toeneemt?

Naarmate het gebied waarin de voertuigen instaan voor de leveringen toeneemt, zullen de reistijden en afstanden tussen verschillende klanten ook toenemen. Een tweede deelvraag die in deze thesis onderzocht zal worden draait daarom rond de relatie tussen de geografische spreiding van de mogelijke klanten, de graad van dynamisme, en de afgelegde afstand. Hoe verandert de afgelegde afstand in dynamische rittenplanningsproblemen wanneer het geografische gebied van de mogelijke klanten toeneemt? Pillac et al. (2011) stelde reeds voor om onderzoek te doen naar de relatie tussen de graad van dynamisme en de geografische spreiding van het klantenbestand. Deze relatie zal in deze masterproef onderzocht worden met betrekking tot de afgelegde afstand.

1.2.4. Deelvraag 4: Wat is de invloed van een stijging van de capaciteit van de voertuigenvloot op de afgelegde afstand bij een dynamisch rittenplanningsprobleem?

Deze laatste deelvraag bekijkt een andere parameter die van belang is in een dynamisch rittenplanningsprobleem, namelijk de grootte van de voertuigenvloot. De invloed van een stijging van de capaciteit van de vloot van voertuigen op de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningsprobleem wordt tevens in deze masterproef onderzocht.

1.3. Methodologie

Om een antwoord te kunnen vinden op de centrale onderzoeksvraag en de verschillende deelvragen wordt er op twee verschillende manieren gewerkt. Om de eerste deelvraag te kunnen behandelen wordt er een literatuurstudie over het onderwerp van dynamische rittenplanningsproblemen uitgevoerd. De overige drie deelvragen worden onderzocht door verschillende scenario's te simuleren en analyseren.

In eerste instantie vindt er dus een literatuurstudie plaats over het onderwerp van dynamische rittenplanningsproblemen. Op deze manier wordt een overzicht bekomen van de reeds uitgevoerde wetenschappelijke studies omtrent dynamische rittenplanning. Door zoektermen als 'Dynamic Vehicle Routing Problem' en 'Real-Time Vehicle Routing' te gebruiken om verschillende papers terug te vinden in de literatuur en deze te bestuderen kan een overzicht gegeven worden van de beschikbare literatuur omtrent dynamische rittenplanning. De zoektermen zullen ingegeven worden in EBSCOhost. Dit is een geïntegreerd zoekstelsel waarmee het mogelijk is om verschillende databanken tegelijk te doorzoeken. De volgende databanken behoren tot de door EBSCOhost doorzochte databanken: Business Source Premier, Regional Business News, Information Science & Technology Abstracts. Ook e-Journals zoals ScienceDirect, SpringerLink Journals, en Wiley Online Library worden gebruikt in het zoeken naar papers omtrent dynamische rittenplanningsproblemen.

Voor de drie volgende deelvragen zal ook de literatuur geraadpleegd worden, maar dit is dan vooral om te zien hoe probleemstellingen effectief onderzocht worden. Door zelf een simulatieprogramma op te stellen in de JAVA programmeertaal kan er een antwoord gezocht worden op de drie laatste deelvragen. Om de invloed van de graad van dynamisme op de afgelegde afstand van een rittenplanningsprobleem te onderzoeken wordt er gekeken naar een versie van het Reizende Repareur Probleem (Traveling Repairman Problem). De volledig dynamische variant van dit probleem, waarbij geen enkele klant aanvraag op voorhand is gekend, is voor het eerst beschreven door Bertsimas & Van Ryzin (1989). In dit probleem, dat bestudeerd wordt in deze thesis, dienen een aantal reparateurs of monteurs langs te gaan bij klanten voor een inspectie of reparatie van een machine. Typische voorbeelden van

dergelijke machines zijn kopieermachines, drankautomaten, en liften. Slechts een gedeelte van de klanten die bezocht worden is op voorhand gekend. De klanten die niet op voorhand bekend zijn maar in de loop van de dag vragen of er een monteur kan langskomen zijn de dynamische klanten. Door het relatieve aantal dynamische klanten (de graad van dynamisme) aan te passen en te kijken naar de gevolgen hiervan op de afgelegde afstand, kan de relatie tussen deze twee onderzocht en beschreven worden. Tevens kan de grootte van het klantengebied, en het aantal beschikbare monteurs aangepast worden. Door verschillende scenario's met andere waarden voor deze drie parameters te simuleren en hun respectievelijke afgelegde afstanden te onderzoeken kan de invloed van deze parameters op de afgelegde afstand en op elkaar in kaart gebracht worden. De waargenomen veranderingen in de afgelegde afstand bieden dan dus zicht op de invloed van de graad van dynamisme, het aantal beschikbare voertuigen, en de geografische spreiding van het klantenbestand.

1.4. Verdere opbouw

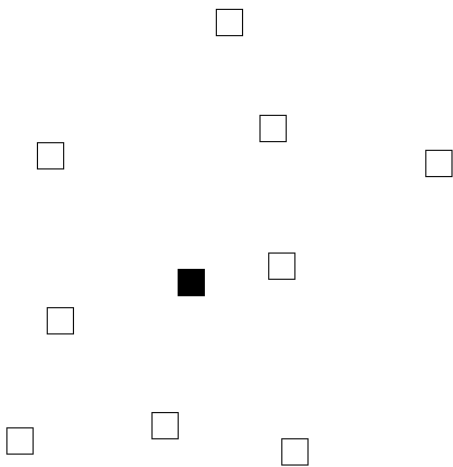
Deze masterproef wordt als volgt opgebouwd. In het tweede hoofdstuk wordt de volledige literatuurstudie weergegeven. Hier wordt eerst het statisch rittenplanningssysteem beschreven waarna overgegaan wordt op het dynamisch rittenplanningsprobleem. De verschillen tussen beide soorten problemen worden besproken waarna enkele voorbeelden van dynamische rittenplanningsproblemen volgen. De verschillende maatstaven van dynamisme worden uitgelegd en de mogelijke oorzaken. Dit hoofdstuk sluit af met de oplossingsmethoden voor dynamische rittenplanningsproblemen. Het derde hoofdstuk begint met de uitleg over de simulatie en enkele voorbeelden ter verduidelijking van de werking van het programma. Dit hoofdstuk bevat tevens de analyse van de resultaten van de simulatie. Vervolgens worden de tekortkomingen van de simulatie behandeld en ten slotte volgen nog enkele linken met de realiteit. In het vierde en laatste hoofdstuk van deze masterproef worden de conclusies weergegeven en tevens enkele voorstellen voor verder onderzoek.

2. Literatuurstudie

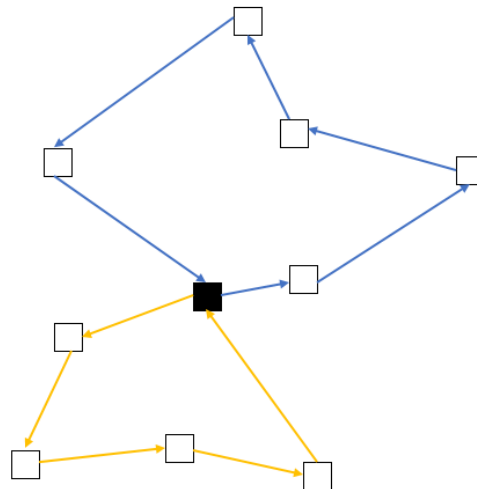
2.1. Het rittenplanningsprobleem

Het Traveling Salesman Problem (TSP) (Flood, 1956) is het meest fundamentele en meest bestudeerde routeringsprobleem. Het TSP bestaat uit een verkoper die een bepaald aantal steden moet bezoeken en vervolgens dient terug te keren naar de stad waar hij vertrokken is. Het doel van dit probleem is de route te vinden die de totale afgelegde afstand van de verkoper minimaliseert.

Het rittenplanningsprobleem (in het Engels Vehicle Routing Problem, VRP) is een generalisatie van het TSP en is in 1959 voor het eerst door Dantzig en Ramser (1959) geïntroduceerd. Het rittenplanningsprobleem is een optimalisatieprobleem waarbij naar optimale ritten gezocht wordt. De gegevens in een rittenplanningsprobleem bestaan uit een aantal klanten die bezocht dienen te worden en een aantal voertuigen die vertrekkende vanuit een depot deze klanten moeten bezoeken. De oplossing van een rittenplanningsprobleem bestaat uit het vinden van een set routes voor de voertuigen zodat alle klanten precies eenmaal bezocht worden, en de totale kosten hieraan verbonden geminimaliseerd worden (Pillac et al., 2013).



Figuur 1: Een depot met klanten



Figuur 2: Uitgestippelde ritten

Het rittenplanningsprobleem kan via grafentheorie duidelijk voorgesteld worden. Laat $G = (V, A)$ een complete graaf zijn met $V = \{0, 1, \dots, n\}$ de set van punten en A de set van verbindingen tussen deze punten, de takken. Punten $j = 1, \dots, n$ komen overeen met de klanten, elk met een gekende positieve vraag d_j , en punt 0 representeert het depot. In figuur 1 worden de klanten voorgesteld door witte

vierkanten, het zwarte vierkant stelt het depot voor. Een niet-negatieve kost, c_{ij} , wordt geassocieerd met elke tak $(i, j) \in A$ en geeft de kost weer om van punt i naar punt j te gaan. Indien de waardes van de kosten voldoen aan $c_{ij} = c_{ji}$ voor alle $i, j \in V$ dan is het een symmetrisch rittenplanningsprobleem. Indien deze voorwaarde niet voldaan is, betreft het een asymmetrisch rittenplanningsprobleem. In veel praktische gevallen gaat de driehoeksongelijkheid, $c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}$ voor alle $i, j, k \in V$ op en is het dus niet interessant om af te wijken van de directe route tussen twee punten. Het rittenplanningsprobleem heeft als doel het vinden van een verzameling van k ritten, die elk overeenkomen met de rit van een voertuig, met minimale totale kost. In figuur 2 worden twee uitgestippelde ritten getoond. De totale kost is de som van alle kosten die behoren tot de ritten. De oplossing is zo gedefinieerd dat:

- i) Elke rit vertrekt vanuit het depot;
- ii) Elke klant wordt door exact één rit bezocht;
- iii) De som van de vraag van de klanten overschrijdt de capaciteit, C , van het voertuig niet.

Dit is de klassieke versie van het rittenplanningsprobleem, namelijk het Capacitated VRP (Toth &Vigo, 1998). De leveringen dienen te gebeuren door een set identieke voertuigen die zich allemaal in het centrale depot bevinden. Enkel de capaciteitsbeperkingen van de voertuigen worden in dit basismodel in rekening gebracht.

In de literatuur zijn zeer veel varianten van het rittenplanningsprobleem terug te vinden. Een eerste variant op het klassieke rittenplanningsprobleem is het rittenplanningsprobleem met tijdsvensters. Alle beperkingen van het rittenplanningsprobleem met capaciteitsbeperkingen zijn nog steeds geldig. Daarnaast wordt voor alle klanten een tijdsinterval gedefinieerd. Alle klanten dienen binnen hun respectievelijke tijdsinterval bediend te worden., met andere woorden een levering mag niet meer op eender welk moment gebeuren maar enkel in het aangegeven tijdsinterval. Zowel een laattijdige als een vroegtijdige levering zijn niet toegestaan (Toth &Vigo, 2001). Branke et al. (2005) onderzoeken op welke manier dynamische klantenaanvragen best behandeld kunnen worden bij een dynamisch rittenplanningsprobleem met tijdsvensters.

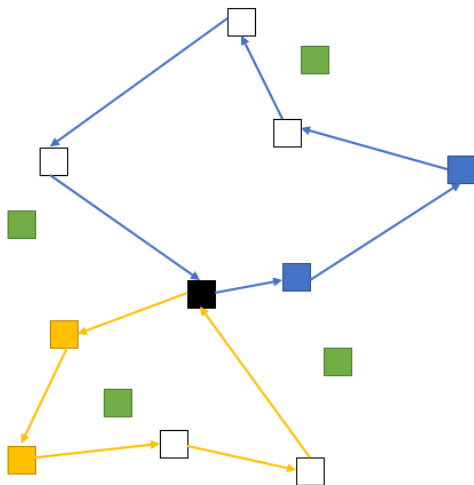
Een andere variant op het rittenplanningsprobleem met capaciteitsbeperkingen is het rittenplanningsprobleem met afhaling. Hierbij moet bij elke klant ofwel goederen geleverd worden ofwel goederen afgehaald worden (Toth &Vigo, 2001). Een klant waarbij goederen afgehaald dienen te worden, kan pas bediend worden nadat alle klanten die beleverd moeten worden van die bepaalde route bediend zijn. Als het gaat om een symmetrisch rittenplanningsprobleem met afhaling dan is de totale vraag voor het depot 0. Er worden in dat geval evenveel goederen geleverd als opgehaald. Een asymmetrische rittenplanningsprobleem met afhaling kan ook bestaan, in dit geval kan de totale vraag die het depot moet voldoen zowel negatief als positief zijn.

Op al deze bovenstaande varianten bestaan er nog meerdere uitbreidingen (Lahyani et al., 2014)., maar de hierboven beschreven varianten zijn de meest bekende en meest bestudeerde (Eksioglu et al., 2009). Het is interessant om te onderzoeken wat de effecten op het oplossen van bovenstaande rittenplanningsproblemen zijn wanneer omgeschakeld wordt van een statisch, twee-fase-systeem (eerst

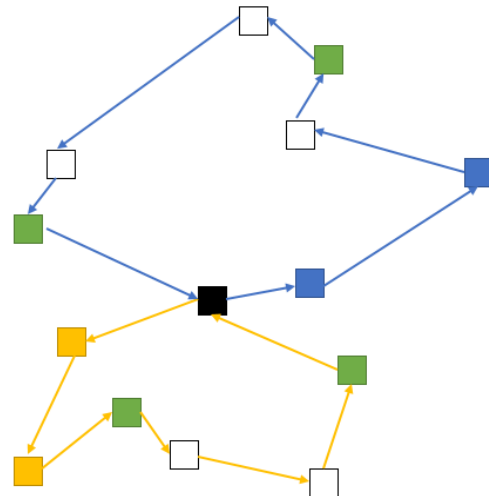
planning en dan uitvoering) naar een dynamisch proces waarbij de planning en uitvoering elkaar overlappen.

2.2. Het dynamisch rittenplanningsprobleem

Een dynamisch rittenplanningsprobleem is een rittenplanningsprobleem waarbij niet alle benodigde gegevens voor het uitstippelen van de ritten beschikbaar zijn op het moment dat het planningsproces begint, en de relevante informatie kan veranderen nadat de eerste ritten berekend zijn (Larsen, 2000). Psaraftis (1988) beschouwt een rittenplanningsprobleem als dynamisch wanneer de output geen set van routes is maar eerder een beleid dat beschrijft hoe de routes moeten evolueren in functie van de input die over de tijd evolueert. Hiermee laat hij blijken dat het dynamische karakter van de input van een rittenplanningsprobleem een zeer grote invloed heeft op de oplossing ervan. Een set van routes kan niet meer als eindoplossing beschouwd worden. Een manier voor het inplannen van in real-time toekomstige orders kan wel als algemene eindoplossing beschouwd worden. Een set van routes kan de eindoplossing zijn enkel zolang er geen nieuwe orders binnen komen.



Figuur 3: Nieuwe orders tijdens de uitvoer van de ritten



Figuur 4: De nieuwe orders ingepland

In de literatuur wordt het onderscheid gemaakt tussen volledig dynamische rittenplanningsproblemen en partieel dynamische rittenplanningsproblemen. Compleet dynamische rittenplanningsproblemen zijn rittenplanningsproblemen die geen enkele rit kunnen inplannen. Alle informatie wordt tijdens de uitvoer zelf onthuld, er kan geen enkele vorm van planning op voorhand gebeuren. Voorbeelden van dergelijke gevallen zijn de dringende oproepen van ambulance, politie, of brandweer (Ghiani et al, 2003). Partieel

dynamisch rittenplanningsproblemen zijn problemen die reeds een gedeelte van de te volbrengen leveringen op voorhand beschikbaar hebben en deze dus kunnen inplannen (Bent et al, 2004). In figuur 3 is een voorbeeld van een dergelijke situatie. De groene vierkanten representeren klanten die een order plaatsen tijdens de uitvoer van de tot dan toe ingeplande ritten. Tijdens de uitvoer van de ritten komen er nieuwe aanvragen binnen en deze moeten dan op een efficiënte manier ingepland worden. Figuur 4 toont aan op welke manier de nieuwe orders ingepland kunnen worden in de ritten. Er zijn ook nog andere vormen van dynamisme, deze komen aan bod in sectie 2.6. waar de verschillende oorzaken van dynamisme besproken worden.

2.3. Verschillen tussen statische en dynamische rittenplanningsproblemen

Er zijn verschillende elementen die een dynamisch rittenplanningsprobleem onderscheiden van een statisch rittenplanningsprobleem en het noodzakelijk maken om andere oplossingsmethoden te zoeken voor deze dynamische rittenplanningsproblemen. Twaalf van deze verschillen worden besproken door Psaraftis (1988). Sommige van de verschillen zijn onderling gerelateerd. Niet alle verschillen zijn even voor de hand liggend. In de volgende paragrafen worden deze verschillen besproken.

(1) De tijdsdimensie is essentieel

Een eerste verschil tussen statische rittenplanningsproblemen en dynamische rittenplanningsproblemen bestaat uit de relevantie van de tijdsdimensie. In een statisch rittenplanningsprobleem is de tijdsdimensie niet altijd belangrijk. Vaak wordt de tijd verondersteld proportioneel te zijn met de afstand die afgelegd dient te worden en moet deze daarom niet expliciet in rekening genomen worden. Bij dynamische rittenplanningsproblemen daarentegen dient de tijdsdimensie wel altijd expliciet in rekening genomen te worden, omdat op elk moment in de tijd de locaties van de vloot voertuigen bekend moeten zijn, en zeker wanneer een nieuw klantenorder binnenkomt.

(2) Het probleem kan een ongedefinieerd einde bezitten

Een tweede verschil zit in het feit dat een dynamisch rittenplanningsprobleem een planningsproces is met een ongedefinieerd einde, terwijl het einde van een statisch rittenplanningsprobleem, als alle klanten bezocht zijn, gekend is zodra de routes zijn berekend.

(3) Toekomstige informatie kan onzeker of onbekend zijn

In een dynamisch rittenplanningsprobleem is de informatie over de verre toekomst onzekerder dan informatie over de nabije toekomst, dit omdat de informatie over de verre toekomst nog kan veranderen over de loop van de tijd: orders kunnen wegvallen, aangepast worden, of er kunnen orders bij komen.

In een rittenplanningsprobleem ligt alle informatie vast en daar is er dus geen verschil in kwaliteit tussen informatie over de nabije toekomst en informatie over de verre toekomst.

(4) Gebeurtenissen in de nabije toekomst zijn belangrijker dan gebeurtenissen in de verre toekomst

In een statisch rittenplanningsprobleem is er geen verschil tussen de verre toekomst en de nabije toekomst, bij een dynamisch rittenplanningsprobleem is er wel een verschil. Dit verschil zorgt er voor dat in een dynamisch rittenplanningsprobleem meer belang gehecht dient te worden aan gebeurtenissen in de nabije toekomst dan aan gebeurtenissen in de verre toekomst. Voor een rittenplanningsprobleem maakt het wederom niet uit of een klant in het begin, in het midden, of op het einde van de route ingepland ligt omdat hier de informatie vaststaat.

(5) Een informatie update mechanisme is noodzakelijk

Bij dynamische rittenplanningsproblemen is er de noodzaak voor een informatie update mechanisme. Indien er geen mogelijkheid is tot het updaten van de gegevens is een dynamische oplossingsmethode onhaalbaar aangezien de nieuw vrijgekomen informatie niet gebruikt kan worden.

(6) Herverdeling en herordening kan noodzakelijk zijn

Bij dynamische rittenplanningsproblemen is er een noodzaak om de klanten te kunnen herverdelen over de voertuigen, en een herordening van de volgorde waarin de klanten bezocht moeten worden, moet kunnen plaatsvinden. Dit kan nodig zijn wanneer een nieuw order ingepland dient te worden tussen reeds geplande orderuitvoeringen. In een statisch rittenplanningsprobleem is hier geen nood aan omdat alle orders voor het planningsproces vast liggen en niet meer veranderen gedurende de uitvoer van de planning.

(7) Snellere verwerkingstijd is noodzakelijk

Een ander verschil heeft betrekking op de berekeningstijd. Een rittenplanningsprobleem kan berekend worden zodra alle gegevens verzameld zijn en mag indien naar de optimale oplossing gezocht wordt vaak enkele uren berekeningstijd nemen, omdat de planning bijvoorbeeld de dag op voorhand gebeurt. In een dynamische omgeving is die mogelijkheid er niet, hier dient de planner in enkele minuten, of seconden zelfs, een nieuwe set routes te verkrijgen.

(8) Het onbeperkt uitstellen van een order is essentieel

Het uitstellen van het vervullen van een bepaald klantenorder, omdat deze geografisch gezien ten opzichte van de andere klanten in een zeer ongunstige positie ligt, kan bij dynamische rittenplanningsproblemen nodig zijn om op die manier ongewenste orders uit te stellen. In extreme gevallen kan dit leiden tot een klantenorder dat steeds uitgesteld wordt. Deze uitzichtloze situatie kan via tijdslimieten opgeheven worden.

(9) Tijdsbeperkingen kunnen anders zijn

De beperkingen van een dynamisch rittenplanningsprobleem met betrekking tot de tijd zijn vaak zachte beperkingen in plaats van harde. Zachte beperkingen met betrekking tot de tijd zijn beperkingen die tegen een boete geschonden kunnen worden of beperkingen die onderhevig zijn aan updates en eventuele herziening. Een harde beperking is een beperking die onder geen enkele voorwaarde geschonden of herzien mag worden.

(10) Beperkte flexibiliteit van de vloot van voertuigen

Met betrekking tot de flexibiliteit van het aantal voertuigen waaruit de vloot kan bestaan, is de dynamisch rittenplanningsprobleem meer beperkt dan een statisch rittenplanningsprobleem. Bij een statisch rittenplanningsprobleem kan het interessant zijn om een extra voertuig te huren als blijkt dat de huidige routes sterk verbeterd zouden kunnen worden door het inschakelen van een extra voertuig. Bij een dynamisch rittenplanningsprobleem daarentegen is voor deze beslissing meestal geen tijd.

(11) Wachttijden kunnen een belangrijk aandachtspunt worden

Een andere situatie waarmee rekening dient gehouden te worden is dat bij een dynamisch rittenplanningsprobleem, wanneer de nieuwe aanvragen door klanten aan een zo snel tempo gebeurt dat de voertuigen niet kunnen volgen, er een oneindig lange wachttijd kan ontstaan waardoor het oplossen van dergelijke instanties alle voeling met de realiteit verliest.

(12) De doelfunctie kan anders zijn

Een belangrijk verschil bestaat ook nog uit de mogelijke verschillen in de doelfuncties. Bij een klassiek rittenplanningsprobleem bestaat de doelfunctie meestal uit het minimaliseren van de totale kosten verbonden aan de set van routes. Bij dynamische rittenplanningsproblemen moet er gestreefd worden naar het vinden van routes die de productiviteit maximaliseren omdat de totale kosten onmogelijk op voorhand berekend kunnen worden en dus ook niet geminimaliseerd kunnen worden. Helaas kunnen dergelijke doelfuncties vaak niet makkelijk door een algoritme opgelost worden en daarom wordt ook bij dynamische rittenplanningsproblemen meestal de doelfunctie van het statisch probleem gebruikt of licht aangepast (Psaraftis, 1988).

Naast deze verschillen heeft Psaraftis (1988) de kenmerken van de informatie in een rittenplanningsprobleem beschreven. De volgende vier kenmerken stelt hij voor:

1. Evolutie van informatie. Bij statische rittenplanningsproblemen verandert de informatie niet. In een dynamische omgeving daarentegen wordt sommige informatie pas na een bepaalde tijd verkregen of kunnen er gegevens wijzigen.
2. Kwaliteit van informatie. Gegevens kunnen ofwel; 1) deterministisch zijn, 2) voorspeld worden of 3) een bepaalde verdeling volgen. De kwaliteit van de informatie in een dynamisch rittenplanningsprobleem is goed voor korte termijn gebeurtenissen en verslechtert naarmate de tijd toeneemt.

3. Beschikbaarheid van informatie. Informatie kan lokaal of globaal zijn. Een voorbeeld van lokale gegevens is als een bestuurder te weten komt hoeveel goederen een klant daadwerkelijk nodig heeft. Een globaal systeem zou in dit voorbeeld kunnen bestaan uit een centrale manager die op elk moment kan zien hoeveel goederen de klant nog in voorraad heeft. Door de vooruitgang van de informatie- en communicatietechnologie stijgt de beschikbaarheid van informatie. Meer en meer worden gegevens globaal beschikbaar.
4. Verwerking van informatie. In een gecentraliseerd systeem wordt alle informatie verzameld en verwerkt door een centraal verwerkingsstation. In een gedecentraliseerd systeem kan sommige informatie bijvoorbeeld door de chauffeur verwerkt worden.

Ten slotte wordt ook het onderscheid tussen dynamisme in een probleem, een model, en de toepassing van een model gemaakt (Larsen, 2000).

1. Een probleem is dynamisch als een of meer van zijn parameters in functie van de tijd kunnen veranderen. Hiertoe behoren de problemen met dynamische gegevens die kunnen veranderen in de tijd en problemen met tijdsafhankelijke gegevens die op voorhand bekend zijn.
2. Een dynamisch model is een model dat expliciet de interactie van activiteiten overheen de tijd in rekening brengt.
3. Een toepassing van een model ten slotte kan ook dynamisch zijn. Dit is het geval als het model herhaaldelijk wordt opgelost telkens als er nieuwe informatie binnenkomt (Larsen, 2000).

2.4. Voorbeelden

In wat volgt zullen een aantal voorbeelden van praktijkgevallen beschreven worden waar dynamische routeplanning een belangrijke rol kan spelen.

Een eerste voorbeeld van toepassing van dynamische rittenplanning is bij het onderhoud van machines (Pillac et al., 2013). Als een bedrijf reparatie van een defecte machine aanbiedt binnen een contractueel vastgelegde termijn en daarnaast ook nog geplande onderhoudscontroles uitvoert kan het zijn dat wanneer een monteur onderweg is naar een onderhoudsbeurt van een bepaalde machine hij opeens een ander, pas binnengekomen klantenorder eerst moet gaan volbrengen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als een machine opeens defect is. De route van de monteur moet dan aangepast worden. Dit kan op elke moment gebeuren, zelfs tijdens het repareren van een eerder onverwachts defect. Typische voorbeelden van dergelijke gevallen zijn het repareren van kopieermachines, verwarmingssystemen, of liften.

Ook bij city logistics, het proces voor het optimaliseren van de logistiek en transport door private bedrijven binnen een stad, rekening houdende met het type verkeer en de verkeerscongestie, speelt dynamische rittenplanning een belangrijke rol. Via real-time informatie over de verkeerscongestie wordt

een optimale route berekend voor de situatie op dat moment in de tijd. Zo kan het zijn dat een leverancier tweemaal op dezelfde dag een pakket moet gaan bezorgen in een bepaalde straat maar dit doet volgens telkens een andere route. Wanneer de verkeerscongestie hoog is op bepaalde plaatsen is het interessanter om deze plaatsen te vermijden (Barcelo et al., 2007).

Nauw aansluitend bij de vorige toepassing is het bezorgen van online bestelde boodschappen (Pillac et al., 2013). Hierbij kunnen klanten op elk moment van de dag boodschappen bestellen en moeten dan een leveringsmoment kiezen uit een aantal mogelijkheden. Omdat op elk moment een nieuwe aanvraag kan binnenkomen moet de uitvoer van het proces vaak opnieuw berekend worden zodat alle orders voldaan kunnen worden. De beslissing om een afleveringsmoment als volzet te beschouwen dient te gebeuren door zowel huidige, gekende aanvragen, als mogelijke toekomstige aanvragen in rekening te brengen.

Ook personentransport, bijvoorbeeld gedeelde taxiriten, is gebaat bij het gebruik van dynamische rittenplanningsmethoden. Hier kunnen klantenorders op voorhand bekend zijn, als de klant een dag op voorhand een taxi reserveert, maar er kunnen ook directe klantenaanvragen ontstaan wanneer iemand meteen een taxi wenst te gebruiken. Deze moeten dan verwerkt worden samen met de reeds gereserveerde klantenaanvragen (Pillac et al., 2011).

Een ander domein met een zeer hoog dynamisme is het domein van de hulpverleners. De kwaliteit van de dienstverlening van hulpverleners, zoals de politie, de brandweer, en de ambulance, hangt in zeer grote mate af van de snelheid waarmee ze een aanvraag kunnen vervullen (Pillac et al., 2011). Bij de politie dienen bijvoorbeeld de posities van alle patrouillewagens op alle momenten gekend te zijn, om zo indien er een noodsituatie is de dichtstbijzijnde wagen meteen te kunnen contacteren en de aanvraag aan deze over te kunnen brengen.

Ook binnen een bedrijf zelf kunnen dynamische rittenplanningsproblemen zijn nut bewijzen. In industriële productiebedrijven kunnen robots op de productievloer ingezet worden om producten te halen uit het magazijn voor het personeel. Het personeel moet dan een order plaatsen en deze orders zijn vaak niet op voorhand gekende orders en dus dynamisch van karakter. Via een dynamisch rittenplanningssysteem worden de routes van de robots berekend om zo snel mogelijk de verschillende orders te voldoen (Psaraftis, 1995).

De distributie van verwarmingsolie is een andere sector die gebaat is bij onderzoek naar dynamische rittenplanningsprobleem. De geplande distributie van verwarmingsolie is gebaseerd op de graden-dagen. Dit is een simpele maat meting van de geaccumuleerde buitentemperatuur. De firma's gebruiken deze maat om een schatting te kunnen maken van de reeds verbruikte olie bij hun klanten. Wanneer een klant volgens het systeem bijna zonder olie komt te zitten, komt deze in een pool terecht van klanten die op levering wachten. Hoewel deze klanten beschouwd kunnen worden als statische klanten, wordt het rittenplanningsprobleem uiteindelijk vaak dynamisch omdat een deel van de klanten meer olie verbruikt zal hebben dan geschat, en dus nog niet op de lijst van verwachte leveringen stond. Er zijn verschillende redenen mogelijk die tot deze situatie kunnen leiden. Het weer kan bijvoorbeeld

plotseling omslaan waardoor het verbruik van veel klanten hoger komt te liggen juist voor dat een klant in de pool zou komen te zitten. Een andere reden voor onverwachte vraag kan gevormd worden door een verandering van het gedrag van de klant, iemand die voor een periode gasten ontvangt kan een deel van zijn huis aan het verwarmen zijn geweest dat anders geen verwarming nodig had en hierdoor ligt het verbruik van de klant hoger. Uit ervaring blijkt dat bij benadering 20% van de bezochte klanten per dag dynamische klanten zijn die gedurende de dag bellen en diezelfde dag nog beleverd willen worden (Larsen, 2000). Het feit dat de graden-dagen parameter geen precieze maatstaf is om het verbruik van de klanten in kaart te brengen zorgt er ook voor dat deze situatie een dynamische is in plaats van een statische. In dit voorbeeld zal de prijs van olie ook een grote invloed hebben op de hoeveelheid klanten die een order plaatsen.

2.5. Dynamisme in rittenplanningsproblemen

Zoals in paragraaf 2.2. reeds aangehaald kunnen de dynamische rittenplanningsproblemen opgedeeld worden in twee groepen. Namelijk de volledig dynamische rittenplanningsproblemen en de partieel dynamische rittenplanningsproblemen. Bij de volledig dynamische rittenplanningsproblemen zijn er geen op voorhand ingeplande orders, alle vraag komt op het moment van de uitvoer zelf binnen. Bij partieel dynamische rittenplanningsproblemen daarentegen is een deel van de route reeds op voorhand gepland. Deze partieel dynamische rittenplanningsproblemen kunnen verschillende hoeveelheden dynamisme bevatten die eigen zijn aan de praktische toepassingen ervan.

Dynamisme kan verschillende vormen aannemen. Nieuwe orders is een vorm van dynamisme maar ook de reistijden van bepaalde verbindingen tussenklanten, of het in panne vallen van bepaalde voertuigen kunnen oorzaken zijn van dynamisme. De verschillende vormen van dynamisme worden in sectie 2.6. nog verder besproken. Een taximaatschappij kan zowel dynamische klantenorders ontvangen, als een voertuig hebben dat ineens in panne valt, en klantenorders die wegvallen. De hoeveelheid dynamisme van een taxibedrijf dat korting geeft voor reservaties die een dag op voorhand gebeuren zal minder zijn dan bijvoorbeeld de hoeveelheid dynamisme van de hulpdiensten (een volledig dynamisch rittenplanningsprobleem). Maar ook tussen partieel dynamische rittenplanningsproblemen van hetzelfde type kunnen onderling verschillen bestaan in de mate waarin deze dynamisch zijn (Lund et al., 1996). Indien een bepaalde taximaatschappij ervoor kiest om geen korting te geven voor reservaties die op voorhand gebeuren zal deze met meer dynamisme rekening moeten houden dan zijn concurrent die de klanten wel aanspoort om hun orders op voorhand te plaatsen. Verschillende instanties van hetzelfde probleem kunnen dus een verschillende hoeveelheid dynamisme bezitten. Deze hoeveelheid dynamisme heeft dan enkel betrekking op dynamische klantenorders. Deze wordt gemeten via twee dimensies, de frequentie van veranderingen in de informatie en de urgentie van de aanvragen. De frequentie van veranderingen is het tempo waarmee nieuwe informatie beschikbaar wordt gemaakt en de urgentie van de nieuwe aanvragen heeft betrekking op de tijd toegestaan tussen het binnenkomen van een nieuwe

aanvraag en zijn verwachte servicetijd (Larsen, 2000). Uit deze twee dimensies kunnen drie maatstaven afgeleid worden die het dynamisme van een probleem in kaart brengen.

De eerste maatstaf is de graad van dynamisme δ . Deze is gedefinieerd door Lund et al. (1996) als de verhouding tussen het aantal dynamische aanvragen n_d en het totale aantal bestellingen n_{tot} : $\delta = \frac{n_d}{n_{tot}}$.

Omdat de tijd waarop een nieuw gegeven wordt onthuld ook belangrijk is, heeft Larsen (2000) de effectieve graad van dynamisme δ^e geïntroduceerd. Deze maatstaf kan geïnterpreteerd worden als het genormaliseerde gemiddelde van de bekendmakingstijden. Laat T de lengte van de planningshorizon zijn, \mathcal{R} de set van bestellingen, en t_i de bekendmakingstijd van bestelling $i \in \mathcal{R}$. Bestellingen die op voorhand bekend zijn hebben een bekendmakingstijd gelijk aan 0. De effectieve graad van dynamisme kan dan uitgedrukt worden als: $\delta^e = \frac{1}{n_{tot}} \sum_{i \in \mathcal{R}} \frac{t_i}{T}$.

De derde maatstaf is een uitbreiding van de tweede voor problemen met tijdsvensters (Larsen, 2000). Deze geeft het niveau van urgentie van de binnenkomende bestellingen weer. De reactietijd wordt hier gedefinieerd als het verschil tussen het moment van bekendmaking t_i en het einde van het overeenkomende toegelaten tijdsvenster l_i waarin de levering moet plaatsvinden. Hoe groter deze reactietijd, hoe meer mogelijkheid om de nieuwe orders in de reeds uitgestippelde route in te plannen. De effectieve graad van dynamisme is op de volgende manier uitgebreid: $\delta_{TW}^e = \frac{1}{n_{tot}} \sum_{i \in \mathcal{R}} \left(1 - \frac{l_i - t_i}{T}\right)$.

De graad van dynamisme zal zeker een rol spelen in de mate waarin een specifiek dynamische oplossingsmethode een meerwaarde kan bieden ten opzichte van een statische oplossingsmethode. Hoe dynamischer een bepaalde omgeving is, hoe minder geschikt de onaangepaste, statische oplossingsmethodes zullen zijn en hoe verder deze routes van de meest efficiënte routes zullen liggen.

2.6. Oorzaken van dynamisme

Bij een dynamisch rittenplanningsprobleem is niet alle informatie die relevant is voor de planning van de verschillende ritten op voorhand bekend bij de planner. Tevens kunnen gegevens veranderen nadat de initiële routes reeds geconstrueerd zijn. In de literatuur worden drie belangrijke bronnen van dynamische gegevens onderscheiden. De meest gebruikelijke bron van dynamisme wordt gevormd door nieuwe bestellingen van klanten tijdens de uitvoer van de initieel geplande routes. Een tweede bron wordt gevormd door de reistijden die afhankelijk zijn van de congestie van het verkeer. Op verschillende tijdstippen van de dag kan dezelfde route een heel verschillende verwachte reistijd hebben. Tijdens de spitsuren of in druk stadsverkeer kunnen voertuigen vaak minder vlot rijden. Een laatste bron van dynamisme komt voort uit het feit dat voertuigen pech kunnen krijgen en hierdoor tijdelijk niet meer operationeel kunnen zijn (Pillac et al., 2011).

In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de literatuur die handelt over dynamische rittenplanning. De opdeling wordt gemaakt naargelang de bron van dynamisme en bij de nieuwe klantenaanvragen wordt nog een onderscheid gemaakt tussen de literatuur die handelt over nieuwe aanvragen van diensten en nieuwe aanvragen die handelen over goederen.

2.6.1. Nieuwe klantenaanvragen als oorzaak van dynamisme

Eerst wordt gekeken naar de literatuur omtrent de nieuwe klantenaanvragen met betrekking tot diensten, hierna komt de literatuur die handelt over nieuwe aanvragen met betrekking tot goederen aan bod.

2.6.1.1. Nieuwe klantenaanvragen met betrekking tot diensten

Bijkomende bestellingen van klanten tijdens de uitvoer van de geplande routes zorgt voor een noodzaak om de routes van de voertuigen aan te passen en opnieuw te berekenen. Larsen et al. (2004) bestuderen een TSP met tijdsvensters waarbij klantenorders dynamisch binnenkomen en met verschillende graden van dynamisme. Zij trachten de laattijdigheid van deze orders te minimaliseren en meten de impact van deze doelstelling op de totale afgelegde afstand. Bertsimas et al. (1990) bestuderen een dynamisch en stochastisch model van een monteur die machines die uitvallen moet gaan herstellen. Het model kan gebruikt worden in situaties waar het doel is om de wachttijd op dienstverlening te minimaliseren in een stochastische en dynamische omgeving. Zij onderzoeken tevens de invloed van de congestie van het verkeer, dit onderzoek heeft dus meerdere bronnen van dynamisme. Beaudry et al. (2006) bestuderen een probleem waar veel grote ziekenhuizen mee te maken hebben, namelijk het transport van patiënten. In een groot ziekenhuis arriveren nieuwe aanvragen voor verplaatsingen van patiënten dynamisch en de oplossingsmethode van dit transportprobleem dient dus in staat te zijn deze op een efficiënte manier in te plannen.

2.6.1.2. Nieuwe klantenaanvragen met betrekking tot goederen

Hvattum et al. (2006) bestuderen een probleem dat betrekking heeft op het transport van goederen. Hun probleem is gebaseerd op een case van een van de grootste distributiebedrijven van Noorwegen. Het distributiebedrijf dient goederen op te halen bij klanten en deze naar een centraal depot te brengen waarna ze vanuit dit depot verder getransporteerd worden. De klanten kunnen op elk moment een order plaatsen en in de praktijk wordt de helft van de orders op voorhand geplaatst. De andere helft van de

orders zijn dus dynamisch omdat deze tijdens de uitvoer van de geplande routes binnenkomen. Ichoua et al. (2006) onderzoeken hoe informatie over mogelijke toekomstige aanvragen gebruikt kan worden om de prestaties van dynamische rittenplanningsproblemen te verbeteren. Zij managen een vloot van voertuigen gebaseerd op een strategie die rekening houdt met de probabilistische kennis van eventuele toekomstige klantenorders. Meer concreet maken zij gebruik van dummy-klanten in de geplande routes van de voertuigen. Deze dummy-klanten representeren de voorspelling van de vraag. Een andere paper van Hvattum et al. (2006) handelt ook over de planning van dynamische rittenplanningsproblemen. Zij bestuderen een case waarin goederen zowel geleverd als opgehaald dienen te worden. De leveringen kunnen op een statische manier ingepland worden, deze zijn de dag op voorhand reeds gekend. De klantenaanvragen van afhalingen daarentegen zijn niet op voorhand gekend. De klanten bellen gedurende de dag, deze gegevens zijn worden dus op dynamische wijze beschikbaar gemaakt.

2.6.2. De reistijden als oorzaak van dynamisme

Naast nieuwe klantenorders bestaan er nog andere bronnen van dynamisme. De reistijden van verschillende routes kan namelijk ook niet altijd op voorhand gekend zijn, of kan gedurende de uitvoer van de geplande ritten veranderen. Een bepaalde route kan, indien er bijvoorbeeld een ongeluk gebeurd is, een veel langere reistijd hebben dan normaal. Als hier niet op ingespeeld wordt kan het zeer lang duren voordat een voertuig bij de klanten aankomt. Chen et al. (2005) onderzoeken een dergelijke situatie. Zij bestuderen het probleem waarbij de reistijden van bepaalde routes tijdens de uitvoer van de planning kan veranderen. Het is dan noodzakelijk om de geplande route aan te kunnen passen aan de dynamisch verkregen gegevens. De situatie die zij bestuderen werkt met tijdsvensters voor de leveringen dus het is noodzakelijk om in te spelen op de veranderingen in reistijd van de verschillende routes. Een paper van Fleischmann et al. (2003) behandelt een rittenplanningsprobleem waarbij informatie beschikbaar is over de actuele reistijden van verschillende routes. Omdat klantenorders een tijdsvenster hebben waarbinnen de goederen geleverd moeten worden is het ook hier noodzakelijk dat de ritten gepland worden met informatie over de huidige reistijden van de mogelijk te volgen routes. Kok et al. (2012) onderzochten de impact van het vermijden van files. Zij onderzoeken hoe het vermijden van verwachte files kan leiden tot een daling van de kosten. Indien de files, die aanleiding geven tot kosten zoals laattijdige leveringen en extra personeelsaanwerving, vermeden worden, dalen de kosten verbonden aan het logistieke proces.

2.6.3. Het uitvallen van een voertuig als oorzaak van dynamisme

Een laatste bron van dynamisme wordt gevormd door het onverwachts uitvallen van een voertuig. Dit kan vele oorzaken hebben. Het voertuig kan betrokken zijn bij een ongeval, de bestuurder van het

voertuig kan verhinderd worden van verder te werken, of het voertuig kan pech hebben door slijtage of een defect aan het voertuig. Li et al. (2007) bestuderen rittenplanningsproblemen met tijdsvensters waarbij de voertuigen die instaan voor het transport van de goederen pech kunnen krijgen. Vanaf het moment dat een voertuig defect is moet het voertuig nagekeken worden en kan het de rest van de geplande rit niet meteen verder afmaken. Een andere paper die handelt over het uitvallen van voertuigen tijdens de uitvoer van de rittenplanning is die van Mu et al. (2010). Hierin wordt onderzocht hoe een nieuwe rittenplanning op een snelle manier bekomen kan worden wanneer een van de beschikbare voertuigen uitvalt.

2.7. Oplossingsmethoden voor dynamische rittenplanningsproblemen

Tussen het werk van Psaraftis (1980) en de late 1990 jaren is er weinig onderzoek gedaan naar dynamische rittenplanningsproblemen. Dit is echter veranderd sinds 2000. Vanaf 2000 is er veel meer onderzoek gebeurd naar dynamische rittenplanningsproblemen (Eksioglu et al., 2009). Door de toegenomen interesse zijn er meer oplossingsmethodes, specifiek voor dynamische rittenplanningsproblemen, bedacht. Deze komen voor in veel verschillende vormen, van simpele reeds bestaande algoritmes en lineaire optimalisatiemethodes tot specifiek voor dynamische problemen ontworpen strategieën (Pillac et al., 2010). In de volgende alinea's zullen enkele van de oplossingsmethoden voor dynamische rittenplanningsproblemen besproken worden. Vooral de specifiek voor dynamische problemen ontworpen heuristieken worden toegelicht. Voor een aanvullend overzicht van de oplossingsmethodes wordt verwezen naar de werken van Ghiani et al. (2003), Ichoua et al. (2006), Jaillet en Wagner (2008), Larsen et al. (2008), Psaraftis (1995), en Pillac et al. (2011).

2.7.1. Algoritmes

Larsen et al. (2002) deden onderzoek naar de effectiviteit van verschillende heuristieken op het oplossen van partieel dynamische rittenplanningsproblemen. Zij onderzochten vier verschillende heuristieken: *First Come First Serve (FCFS)*, *Stochastic Queue Median (SQM)*, *Nearest Neighbour (NN)*, en *Partitioning Policy (PART)*. In tabel 1 worden de algoritmes kort beschreven.

Tabel 1: Uitleg algoritmes

<i>FCFS</i>	Bij dit algoritme worden de klanten simpelweg bezocht in de volgorde dat de aanvragen binnenkomen bij de planner. Een speciale versie van dit algoritme wordt gevormd door het <i>SQM</i> -algoritme.
<i>SQM</i>	Het <i>SQM</i> algoritme is een modificatie van de <i>FCFS</i> regel. In dit geval rijdt een voertuig na het bedienen van een klant terug naar het centrale punt van de regio en wacht hier op een nieuwe aanvraag.
<i>NN</i>	Nadat een klant bezocht is vertrekt het voertuig naar de dichtstbijzijnde beschikbare klant.
<i>PART</i>	Hier wordt de regio verdeeld in een aantal kleinere regio's. In deze kleinere regio's wordt de vraag dan voldaan volgens het <i>FCFS</i> principe.

Larsen et al. (2002) genereren een aantal scenario's waarin zij dan de verschillende algoritmes gebruiken om de ritten te plannen. In hun studie presteert het *NN*-algoritme het best, het aantal afgelegde kilometers bij dit algoritme is kleiner dan het aantal afgelegde kilometers bij de andere algoritmes.

2.7.2. Lineaire optimalisatie

Lineaire optimalisatie is een andere oplossingsmethode die gebruikt wordt in onderzoek naar dynamische rittenplanningsproblemen. Yang et al. (2004) gebruikten twee verschillende optimalisatie strategieën om de klanten in hun onderzoek toe te wijzen aan de beschikbare voertuigen. Beide strategieën zijn gebaseerd op een lineair optimalisatieprobleem dat telkens als er een nieuwe klant binnenkomt opnieuw wordt opgelost. Dit model minimaliseert de kosten verbonden aan de ritten. Het enige verschil tussen de twee strategieën zit in het feit dat één strategie nog een opportuniteitskost voor klanten die ver van de andere klanten liggen in rekening brengt. Hierdoor kunnen in deze strategie klanten, die ver verwijderd van de andere klanten liggen, geweigerd worden.

2.7.3. Wacht strategieën

Bij deze heuristieken moet er beslist worden over hoe lang een voertuig zal wachten nadat een klant bezocht is alvorens het voertuig naar een nieuwe klant vertrekt. Mitrovic-Minic et al. (2004) toonde aan dat het in alle gevallen beter is om te wachten nadat een klant bezocht is. Direct naar de volgende klant vertrekken kan nooit tot een betere situatie leiden in termen van afgelegde afstand. Indien de klanten snel geholpen moeten worden kan het wel beter zijn om direct te vertrekken. Maar in termen van

afgelegde afstand zal dit nooit beter zijn dan te wachten. Tijdens het wachten kunnen namelijk nieuwe klanten binnenkomen en deze kunnen zich dichterbij bevinden dan de huidige dichtstbijzijnde klant. Indien er geen klanten bijkomen die dicht in de buurt zijn kan het voertuig na de wachtperiode gewoon vertrekken naar de oorspronkelijke (en huidige) dichtstbijzijnde klant.

2.7.4. Verplaatsing strategieën

Behalve het wachten voor of na het bezoeken van een klant kan een voertuig, wanneer het op een bepaald moment niets te doen heeft, verplaatst worden naar een strategische locatie. Het voertuig dient verplaatst te worden naar een regio waar de kans groot is dat er nieuwe aanvragen binnenkomen. Op die manier kunnen de binnenkomende oproepen zeer snel beantwoord worden. Er dienen voor deze heuristiek dan wel gegevens beschikbaar te zijn over deze kansverdelingen. Dit probleem is zeer belangrijk voor hulpverleners. Hulpverleners moeten zo snel mogelijk ter plekke kunnen zijn als er een nieuwe aanvraag binnenkomt. Gendreau et al. (2001) en Haghani en Yang (2007) bestudeerden problemen in deze context.

2.7.5. Het bufferen van de aanvragen

Pureza en Laporte (2008) hebben de methode van het bufferen van de aanvragen geïntroduceerd bij dynamische rittenplanningsproblemen. Het bestaat uit het nog niet toewijzen van bepaalde klanten aan voertuigen, maar deze in een buffer opslaan. Op deze manier kunnen meer dringende aanvragen sneller behandeld worden omdat de voertuigen nog beschikbaar zijn. Deze oplossingsmethode zorgt voor meer flexibiliteit in de dienstverlening naar de klant toe door de toekenning van bepaalde klanten aan bepaalde voertuigen tijdelijk uit te stellen.

3. Praktijkgedeelte

3.1. Inleiding praktijkgedeelte

In dit gedeelte van de thesis zal het praktijkgedeelte behandeld worden. Het praktijkgedeelte bestaat uit een simulatie van een dynamisch rittenplanningsprobleem. Het rittenplanningsprobleem dat bestudeerd wordt bestaat uit een aantal klanten die gedurende de dag bezocht dienen te worden door een aantal monteurs voor nazicht of reparatie van een machine. Dit probleem werd in de literatuurstudie in paragraaf 2.4. een eerste keer aangehaald. Dit rittenplanningsprobleem is onderzocht door Bertsimas & Van Ryzin (1989), evenals door Larsen et al. (2002), en Pillac et al. (2013). In de simulatie in deze thesis zal onderzocht worden wat de invloed is van de graad van dynamisme op de afgelegde afstand van de monteurs. Door statische klanten dynamisch te maken kan onderzocht worden wat de invloed hiervan is op de afgelegde afstand. Verschillende scenario's zullen gerund worden om resultaten te bekomen en die vervolgens te analyseren. De simulatie is geprogrammeerd in Java, de code zelf is niet opgenomen in deze thesis maar is op aanvraag beschikbaar. In de simulatie zullen naast de graad van dynamisme nog twee andere parameters aangepast kunnen worden. Het aantal beschikbare monteurs die de klanten kunnen bezoeken en de grootte van het gebied waarin de klanten kunnen voorkomen vormen de twee andere parameters. De invloed van deze parameters op de afgelegde afstand van de monteurs naargelang de graad van dynamisme toeneemt wordt ook onderzocht. In sectie 3.2. wordt de simulatie verder beschreven.

Na de beschrijving van de te simuleren omgeving volgt er een klein voorbeeld. Dit voorbeeld is een zeer vereenvoudigde versie van de simulatie maar dient enkel ter verduidelijking van de werking van de simulatie. In dit voorbeeld zullen ook reeds enkele parameters aangepast worden om duidelijk te maken op welke manier deze de resultaten kunnen beïnvloeden.

De analyse van de resultaten komt na het voorbeeld aan bod. In dit gedeelte wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de simulaties. Deze zullen tevens besproken worden en er zal gekeken worden naar de invloed van elk de verschillende parameters. De interactie tussen de verschillende parameters zal ook onderzocht worden.

Na de bespreking van de resultaten wordt de link met de realiteit gelegd. De mogelijkheden die deze gegevens bieden aan de praktijk zullen besproken worden. Ook zullen bijkomende manieren aangehaald worden die, met behulp van een simulatie zoals in deze thesis besproken, van belang kunnen zijn voor bedrijven die te maken hebben met dynamische klantenaanvragen. In dit gedeelte zullen dus enkele voordelen van het gebruik van een dergelijke simulatie voor de bedrijfswereld aan bod komen.

Daaropvolgend zullen de beperkingen en tekortkomingen van de simulatie besproken worden. Het is belangrijk deze mee te geven want indien er geen notie is van de vereenvoudigingen van de simulatie kunnen acties gebaseerd op de bekomen resultaten tot foute beslissingen leiden. Elke simulatie is genoodzaakt vereenvoudigingen van de werkelijkheid te maken, dat is in deze thesis dus ook het geval.

Aansluitend volgen enkele voorstellen met betrekking tot aanpassingen en mogelijkheden voor verder onderzoek alvorens wordt overgegaan op de conclusie.

3.2. Beschrijving van de simulatie

De simulatie die in deze thesis gebruikt wordt, behandelt een situatie waarin een aantal monteurs dienen langs te gaan bij klanten om een gepland nazicht van bepaalde machines te doen. In de loop van de dag kan het echter zijn dat klanten die geen nazicht gepland hadden toch een bezoek van een monteur wensen. Dit kan gebeuren omdat er in de loop van de dag bijvoorbeeld onverwachts iets mis is gegaan met een machine. Elke monteur begint dus aan zijn ronde zonder op voorhand te weten hoeveel klanten er die dag bezocht dienen te worden. Enkel de locatie van de huidige te bezoeken klant wordt door de planners meegedeeld aan de monteur. Wanneer de monteur klaar is bij een klant, laat deze dit weten aan de planner. De planner zoekt dan een nieuwe klant voor de monteur en dit wordt de nieuwe bestemming van de betreffende monteur. Nieuwe bestemmingen worden geselecteerd op basis van het *nearest neighbour* algoritme. Larsen et al. (2002) toonden aan dat dit een efficiënt algoritme was in een dynamische omgeving. Indien er op een bepaald moment geen klanten zijn dienen de monteurs terug te keren naar het centrale verzamelpunt. Er wordt verondersteld dat deze hier verder kunnen werken aan een andere taak totdat er een nieuwe aanvraag binnenkomt.

Er zijn andere situaties mogelijk die ook door deze simulatie beschreven kunnen worden. Verplegers kunnen zich bijvoorbeeld ook in deze situatie bevinden. Ze beginnen de dag bijvoorbeeld met een aantal geplande bezoeken bij mensen thuis, maar in de loop van de dag krijgen zij extra aangevraagde bezoeken binnen en dienen hun ronde dus aan te passen. In het vervolg van deze thesis zal echter uitgegaan worden van de situatie van de monteurs.

De simulatie zal steeds op een werkdag van 8 uur oftewel 480 minuten slaan. Zoals eerder reeds vermeld bestaat de te simuleren omgeving uit een aantal klanten, een aantal monteurs, en een centraal gelegen verzamelpunt. Deze verschillende onderdelen van de simulatie zullen nu verder besproken worden.

3.2.1. De klanten

De klanten hebben een aantal verschillende kenmerken. Een eerste is het nummer van de klant. Elke klant die in de simulatie aangemaakt wordt krijgt een uniek nummer mee om aan de hand van dit

nummer de verschillende klanten te kunnen identificeren. Naast een nummer krijgen de aangemaakte klanten ook een adres mee. Het adres zal bestaan uit een x- en y-coördinaat want de simulatie gebeurt in een Euclidisch vlak. Door de klanten elk twee coördinaten te geven wordt hun positie in het vlak dus bepaald. Een volgend kenmerk van de klanten betreft het feit of ze dynamisch zijn of niet. Een klant wiens aangevraagde bezoek niet gepland was is een dynamische klant. Een klant wiens bezoek wel op voorhand was gepland is een niet-dynamische of statische klant. Vervolgens krijgen alle klanten ook een tijdstip van aanvraag mee. Voor een statische klant is dit tijdstip gelijk aan nul. Een dynamische klant krijgt een tijdstip van aanvraag dat refereert naar het moment waarop deze klant zijn bezoek aanvraagt. Verder beginnen alle klanten de dag met een "onvoldaan" bezoek en wordt dit naar "voldaan" bezoek veranderd op het moment waarop de monteur bij de klant klaar is. Ten slotte hebben alle klanten ook een inspectietijd. Dit is de tijd die de monteur nodig heeft om het nazicht of klein onderhoud bij de klant te kunnen doen.

Al de klanten en hun kenmerken worden aangemaakt bij de start van een simulatie. Zo wordt het adres van een klant bepaald door twee willekeurige getallen te nemen tussen nul en het maximum van de lengte van de x- en y-as. Een bepaald percentage klanten wordt dynamisch gemaakt, dit aantal wordt op voorhand meegegeven en zal verder nog besproken worden. De dynamische klanten krijgen tevens een tijdstip van aanvraag mee dat verschillend is van nul. Ze krijgen een willekeurig getal tussen 0 en 420. Dit getal komt overeen met een aantal minuten. Zo komt 120 overeen met 120 minuten oftewel twee uur, wat in de simulatie betekent dat de klant twee uur na openingstijd belt naar het centrale planningsorgaan en een bezoek aanvraagt. De aanvragen kunnen tot maximum één uur voor sluitingstijd binnenkomen. Hierdoor krijgen ze een tijdstip van aanvraag mee dat maximum 420 kan bedragen in plaats van 480. De klanten krijgen elk ook een inspectietijd mee en deze wordt gesimuleerd door een willekeurig getal te nemen tussen vijf en twintig. Dit getal komt opnieuw overeen met een aantal minuten. De monteur heeft bij elke klant een aantal minuten nodig om zijn inspectie te kunnen voltooien en dit aantal wordt vastgelegd door de inspectietijd. Het aantal klanten wordt tijdens de verschillende simulaties constant gehouden en vastgelegd op 40.

3.2.2. De monteurs en het centrale verzamelpunt

De verschillende monteurs worden ook aangemaakt bij de start van elke simulatie. Deze krijgen net als de klanten een identificatienummer mee. De positie van de verschillende monteurs is ook van belang maar in tegenstelling tot de klanten hebben de monteurs geen vaste positie. Alle startposities van de monteurs zijn echter wel gelijk. Ze beginnen allemaal aan het centrale verzamelpunt. De positie van de monteurs verandert echter steeds naarmate zij zich verplaatsen over het Euclidisch vlak en de verschillende klanten bezoeken. De verschillende monteurs hebben ook telkens een bestemming nodig. Deze bestemming wordt gevormd door de positie van de klant die door het planningsorgaan aan de monteur wordt doorgegeven. Indien er geen nieuwe klanten zijn dienen de monteurs terug te keren naar het centrale verzamelpunt, dit wordt met andere woorden dan de bestemming van de monteur.

Nadat een monteur klaar is met zijn inspectieronde wordt de bestemming van de monteur terug op nul gezet, zodat deze van het planningsorgaan een nieuwe bestemming kan krijgen. Elke monteur beschikt over een voertuig om zich te kunnen verplaatsen van het centrale verzamelpunt naar de verschillende klanten. De kilometers die elke monteur aflegt in zijn voertuig worden ook bijgehouden omdat dit van belang is voor de analyse. Elke kilometer die gereden wordt komt namelijk overeen met een kost. In de analyse zal de nadruk liggen op de kosten verbonden aan de verplaatsingen van de verschillende monteurs.

Het centrale verzamelpunt krijgt een positie mee in het begin van elke simulatie. In tegenstelling tot de klanten wordt de positie van het verzamelpunt niet willekeurig bepaald. Het verzamelpunt zal zich steeds in het midden van het Euclidisch vlak bevinden, vandaar de naam centraal verzamelpunt. Als dit punt ook willekeurig zou worden bepaald zouden de resultaten in grote mate beïnvloed worden door de ligging van het verzamelpunt. Om dit te vermijden wordt dit punt steeds in het midden aangemaakt.

3.2.3. Het planningsproces

De planner krijgt de aanvragen van klanten binnen en dient de verschillende monteurs van bestemmingen te voorzien wanneer deze klaar zijn met hun inspectie. Om dit te kunnen doen heeft het planningsorgaan een algoritme nodig. In de simulatie zal uitgegaan worden van een eenvoudig algoritme. Het *nearest neighbour* algoritme zal aangewend worden om de klanten toe te wijzen aan de monteurs. Larsen et al. (2002) kwamen tot de conclusie dat dit algoritme het goed doet in dynamische omgevingen. Een andere reden voor het gebruik van dit algoritme is het feit dat dit een toegankelijk algoritme is om te programmeren in Java. Er zijn echter ook verschillende nadelen verbonden aan dit algoritme. Deze manier van klanten inplannen houdt namelijk geen rekening met de relatieve posities van de monteurs. Verdere tekortkomingen worden besproken in paragraaf 3.5. In de simulatie zal dit algoritme iedere minuut herhaald worden. Een eerste stap van het algoritme bestaat uit het vinden van een monteur die op dit moment (tijdens de huidige minuut) geen bestemming heeft. Elke monteur zal overlopen worden en wanneer het planningsorgaan ziet dat er iemand klaar is met een klant en dus geen nieuwe bestemming heeft wordt een nieuwe bestemming voor deze monteur gezocht. Er kunnen zich twee gevallen voordoen: ofwel zijn er nog klanten die niet bezocht zijn en reeds een bezoek hebben aangevraagd (de actieve klanten), ofwel zijn er op dit moment geen klanten meer die nog niet bezocht zijn en reeds een bezoek hebben aangevraagd (de passieve klanten). Indien er wel nog actieve klanten zijn berekent het planningsorgaan de afstand van de monteur zonder bestemming tot al de actieve klanten en wordt de nieuwe bestemming van de monteur de klant waar hij zich het dichtst bij bevindt. Indien er enkel passieve klanten zijn wordt de nieuwe bestemming van de monteur de positie van het centrale verzamelpunt. Een passieve klant kan gevormd worden door zowel een klant die reeds een aanvraag heeft ingediend én bezocht is, als door een klant die nog niet bezocht is én nog geen aanvraag heeft ingediend op het moment dat het planningsorgaan een nieuwe bestemming voor een monteur zoekt.

Nu de verschillende delen van de simulatie zijn besproken kan verder gegaan worden met een toelichting van de te onderzoeken resultaten. De resultaten die van belang zijn in deze thesis worden hieronder toegelicht.

3.2.4. Doelstelling

De doelstelling van deze simulatie is het effect van de verschillende parameters, die in sectie 3.2.5. verder beschreven worden, op de afgelegde afstand in een dynamische omgeving te onderzoeken. Wanneer in de analyse gesproken wordt over de afgelegde afstand, dan wordt hiermee de totale weg die alle monteurs samen op een dag hebben afgelegd bedoeld. De afgelegde afstand komt overeen met een aantal kilometers en ook met een tijdsduur. In de simulatie wordt er van uit gegaan dat het afleggen van één kilometer één minuut tijd in beslag neemt. Er wordt met andere woorden dus verondersteld dat de monteurs met een gemiddelde snelheid van 60 kilometer per uur rijden gedurende de hele dag. Een tijdsduur koppelen aan de afgelegde afstand is zeer belangrijk omdat de kosten die door te rijden gemaakt worden niet enkel betrekking hebben op de afstand. Vaak zijn de arbeidskosten zoals het loon van de bestuurder van grotere invloed op de kosten dan de louter afstand gerelateerde kosten zoals brandstof. In dit geval zijn er nog opportuiniteitskosten omdat elk moment dat de monteur onderweg is naar of van een klant deze niet in de centrale verzamelplaats kan werken. Om deze redenen zal dus de totale afgelegde afstand door alle monteurs samen bestudeerd worden. Omdat de afgelegde afstand en dus de tijd die de monteurs achter het stuur zitten zo belangrijk voor de kosten is, is het interessant om te gaan onderzoeken hoe deze beïnvloed wordt door verschillende variabelen.

3.2.5. De parameters

In deze thesis wordt onderzoek gedaan naar de invloed van drie verschillende parameters op de afgelegde afstand. Een eerste variabele die onderzocht zal worden is het percentage van dynamische klanten. Een andere variabele die aan bod komt is het aantal monteurs (en dus voertuigen) dat beschikbaar is voor de inspecties. Ten slotte vormt de grootte van het gebied waarin de klanten kunnen voorkomen een derde parameter die onderzocht zal worden. Deze drie parameters zullen nu nader toegelicht worden.

3.2.5.1. Het percentage dynamische klanten

Het percentage dynamische klanten is gelijk aan de graad van dynamisme. Hoe meer klanten dynamisch zijn, hoe groter de graad van dynamisme zal zijn. Tijdens de verschillende simulaties zal het percentage

van dynamische klanten variëren van 0% tot 100%, in stappen van 25%. Of, met andere woorden, de graad van dynamisme kan vijf verschillende waardes aannemen: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1.

De invulling van de verschillende graden van dynamisme in de simulatie zal per simulatie-instantie telkens op eenzelfde groep klanten gebeuren. Hiermee wordt bedoeld dat telkens als een simulatie wordt opgestart en er klanten gegenereerd worden deze eerst allemaal statisch zullen zijn. Na de eerste gesimuleerde dag voltooid is zal er een nieuwe dag worden gesimuleerd die bestaat uit dezelfde klanten maar nu zijn 25% van die klanten dynamisch. Dit gaat op deze manier door tot de laatste gesimuleerde dag waar alle klanten dynamisch zijn uitgevoerd is. Het is belangrijk om dezelfde set van klanten te gebruiken omdat dit de vergelijkbaarheid van de resultaten sterk vergroot. Wanneer dit niet het geval zou zijn, is de invloed van de posities van de klanten veel te groot. Want de afgelegde afstand wordt voor een groot deel bepaald door de posities van de klanten. Wanneer dus de verschillende graden van dynamisme ingevuld worden blijven de adressen, de posities, van de klanten dus hetzelfde. Ook belangrijk is dat klanten die in een vorige simulatie dynamisch waren, dit blijven tijdens de volgende te simuleren dagen. Indien dit niet zo zou zijn zou dit opnieuw een te grote invloed hebben op de te bekomen resultaten. Dit wordt verder nog verduidelijkt in het voorbeeld.

3.2.5.2. Het aantal monteurs

Het aantal monteurs zal ook een belangrijke rol spelen in de analyse en deze variabele zal dan ook verschillende waardes kunnen aannemen. De simulaties zullen telkens gebeuren met 5, 6, 7, of 8 monteurs.

Opnieuw blijven de klanten tijdens de simulatie-instanties dezelfde om de vergelijkbaarheid te kunnen vergroten. Niet enkel de klanten blijven hetzelfde maar ook de graad van dynamisme blijft hetzelfde tijdens de verschillende simulatie-instanties met telkens een ander aantal voertuigen.

3.2.5.3. De grootte van het gebied

Een derde variabele die invloed heeft op het resultaat en gedurende de simulatie verschillende waardes zal aannemen is de grootte van het gebied waarin de klanten kunnen liggen. Het gebied wordt door een eenvoudig vierkant gevormd dat de volgende mogelijke lengtes van zijde kan aannemen: 30 km, 40 km, 50 km, of 60 km. Er zit dus een zeer groot verschil tussen de verschillende oppervlaktes van het gebied. De oppervlaktes gaan namelijk van 900 km² tot 3600 km². Het grootste gebied is dus vier maal zo groot als het kleinste.

Tijdens de verschillende simulaties waarbij de grootte van het gebied zal worden aangepast kunnen de klanten in tegenstelling tot zoals bij de vorige twee parameters niet behouden worden. Wanneer de

klanten en dus de locaties van de klanten behouden zouden blijven bij verschillende simulatie-instanties met een andere oppervlakte zou er geen enkele invloed ondervonden worden op het resultaat. Om deze situatie te kunnen vermijden is het dus nodig om telkens nieuwe klanten te genereren bij de analyse van de invloed van de grootte van het gebied. Omdat elk van de verschillende situaties 100 keer gesimuleerd wordt zijn er genoeg resultaten om wel vergelijkingen te kunnen maken.

Hierna zal een klein voorbeeld beschreven worden waarbij de simulatie verder verduidelijkt zal worden. In het voorbeeld zullen er slechts acht klanten zijn en slechts twee monteurs.

3.3. Voorbeelden

3.3.1. Eerste voorbeeld

Om de simulatie verder te verduidelijken zal in deze paragraaf een kort voorbeeld besproken worden. Het voorbeeld zal betrekking hebben op een eenvoudige situatie waarbij er slechts acht klanten zijn en slechts twee monteurs. Het gebied zal bestaan uit een vierkant van 20 km op 20 km. Omdat het een zeer klein voorbeeld betreft zal er ook slechts over een periode van drie uur (of 180 min) worden gesimuleerd. In eerste instantie zullen alle klanten statisch zijn en vervolgens zal de graad van dynamisme verhoogd worden naar 0,50. Dit wil zeggen dat vijf van de tien klanten pas gedurende de dag een bezoek gaan aanvragen en deze op voorhand dus niet gekend gaan zijn. Het simulatieproces begint met het creëren van de verschillende instanties.

3.3.1.1. Het creëren van de instanties

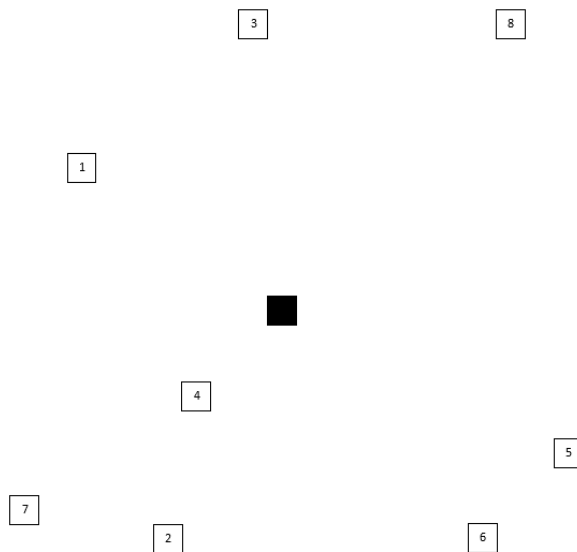
Ten eerste moeten de klanten gecreëerd worden. Voor de eerste simulatie-instantie zijn al de klanten statisch en moet er dus geen tijdstip van aanvraag toegekend worden. De gesimuleerde klanten krijgen allemaal een nummer, een adres (bestaande uit een x- en y-coördinaat), zijn al dan niet dynamisch, krijgen een tijdstip van aanvraag, een inspectietijd, en er wordt bijgehouden of ze reeds bezocht zijn of niet. Na het aanmaken van de klanten hebben ze de volgende waardes:

Tabel 2: Overzicht klanten voorbeeld 1

Naam	X	Y	Dynamisch?	Tijdstip Aanvraag	Inspectietijd	Voldaan?
Klant 1	3	15	Nee	0	11	Nee
Klant 2	6	2	Nee	0	10	Nee
Klant 3	9	20	Nee	0	15	Nee
Klant 4	7	7	Nee	0	19	Nee

Klant 5	20	5	Nee	0	18	Nee
Klant 6	17	2	Nee	0	8	Nee
Klant 7	1	3	Nee	0	7	Nee
Klant 8	18	20	Nee	0	19	Nee

Vervolgens wordt het centrale verzamelpunt aangemaakt op locatie (10,10). Hier starten tevens de twee monteurs met hun ronde. Als de simulatie start zal het planningsorgaan elke minuut kijken of er een monteur vrij is en deze een nieuwe klant geven, als er actieve klanten beschikbaar zijn. De beginsituatie wordt in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 5: Startsituatie van het eerste voorbeeld

3.3.1.2. De simulatie minuut voor minuut

Minuut 0

Het planningsorgaan controleert of monteur 1 bezig is. Dit is niet het geval. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur en berekent de afstand tot al de actieve klanten. Het selecteert de klant met de minimale afstand tot de monteur en geeft deze klant als nieuwe bestemming in bij de monteur. In dit geval betreft het klant 4. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 1. De afstand tot klant 4 bedraagt 4,24 km, over 4 min en 15 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 4 bedraagt de inspectietijd 19 minuten. In minuut 24 zal monteur 1 dus terug beschikbaar zijn.

Vervolgens controleert het planningsorgaan of monteur 2 bezig is. Dit is niet het geval. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur en berekent opnieuw de afstand tot al de

actieve klanten. Het selecteert dan wederom de klant met de minimale afstand tot de monteur en geeft deze klant als nieuwe bestemming in bij de monteur. In dit geval betreft het klant 1. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 2. De afstand tot klant 1 bedraagt 8,60 km, over 8 min en 36 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 1 bedraagt de inspectietijd 11 minuten. In minuut 19 zal monteur 2 dus terug beschikbaar zijn.

Minuut 1-18

Het planningsorgaan controleert of er een monteur vrij is maar dit is niet het geval.

Minuut 19

Het planningsorgaan controleert of monteur 1 bezig is. Dit is het geval. Monteur 2 is echter beschikbaar. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (3,15) de positie van de laatst bezochte klant) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. In dit geval is de minimale afstand gevonden op de route die leidt naar klant 3. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 2. De afstand tot klant 3 bedraagt 7,81 km, over 7 min en 48 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 3 bedraagt de inspectietijd 15 minuten. In minuut 42 (=19+7.81+15 afgerond naar boven) zal monteur 2 dus terug beschikbaar zijn.

Minuut 20-23

Het planningsorgaan controleert of er een monteur vrij is maar dit is niet het geval.

Minuut 24

Het planningsorgaan controleert of monteur 1 bezig is. Dit is niet het geval. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (7,7) de positie van de laatst bezochte klant) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. In dit geval is de minimale afstand gevonden op de route die leidt naar klant 2. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 1. De afstand tot klant 2 bedraagt 5,09 km, over 5 min en 5 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 2 bedraagt de inspectietijd 10 minuten. In minuut 40 (=24+5,09+10 afgerond naar boven) zal monteur 1 dus terug beschikbaar zijn. Het planningsorgaan controleert of monteur 2 beschikbaar is, deze is echter nog steeds bezig.

Minuut 25-39

Alle monteurs zijn bezig.

Minuut 40

Het planningsorgaan controleert of monteur 1 vrij is en dit is zo. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (6,2) de positie van de laatst bezochte klant) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. In dit geval is de minimale afstand gevonden op de route die leidt naar klant 7. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 1. De afstand tot klant 7 bedraagt 5,09 km, over

5 min en 5 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 7 bedraagt de inspectietijd 7 minuten. In minuut 53 zal monteur 1 dus terug beschikbaar zijn. Monteur 2 is nog niet beschikbaar.

Minuut 41

Geen van beide monteurs is beschikbaar.

Minuut 42

Monteur 1 is nog bezig bij een klant. Monteur 2 is echter vrij. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (9,20)) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. In dit geval is de minimale afstand gevonden op de route die leidt naar klant 8. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 2. De afstand tot klant 8 bedraagt 8 km, over 8 min zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 8 bedraagt de inspectietijd 19 minuten. In minuut 69 zal monteur 2 dus terug beschikbaar zijn.

Minuut 43-52

Beide monteurs zijn bezet.

Minuut 53

Monteur 1 is terug beschikbaar. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (1,3) de positie van de laatst bezochte klant) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. In dit geval is de minimale afstand gevonden op de route die leidt naar klant 6. Dit wordt de nieuwe bestemming van monteur 1. De afstand tot klant 6 bedraagt 16,03 km, over 16 min en 5 sec zal de monteur dus arriveren bij de klant. Daar aangekomen zal de monteur een inspectie doen. Bij klant 7 bedraagt de inspectietijd 7 minuten. In minuut 77 zal monteur 1 dus terug beschikbaar zijn. Het planningsorgaan controleert nog of monteur 2 vrij is maar dit is niet het geval.

Minuut 54-68

Geen van beide monteurs is beschikbaar.

Minuut 69

Monteur 1 is bezet. Monteur 2 is vrij. Het planningsorgaan neemt de huidige positie van de monteur (dit is positie (18,20)) en berekent de afstand tot al de actieve klanten. Er blijft nog slechts één actieve klant over, namelijk klant 5. Dit wordt automatisch de volgende te bezoeken klant. De afstand tot klant 5 bedraagt 15,13 km. Over 15 min en 7 sec zal monteur 2 arriveren bij klant 5. De inspectie die dan volgt zal 18 minuten in beslag nemen. Monteur 2 zal dus vrijkomen op tijdstip 103.

Minuut 70-76

Geen van beide monteurs is vrij.

Minuut 77

Monteur 1 is klaar met zijn klant. Omdat er geen actieve klanten zijn wordt de bestemming van monteur 1 het centrale verzamelpunt. De afstand tot het verzamelpunt vanuit zijn huidige positie bedraagt 10,63 km.

Minuut 78-102

Monteur 1 is steeds beschikbaar maar er komen geen actieve klanten bij aangezien alle klanten in dit voorbeeld statische klanten zijn.

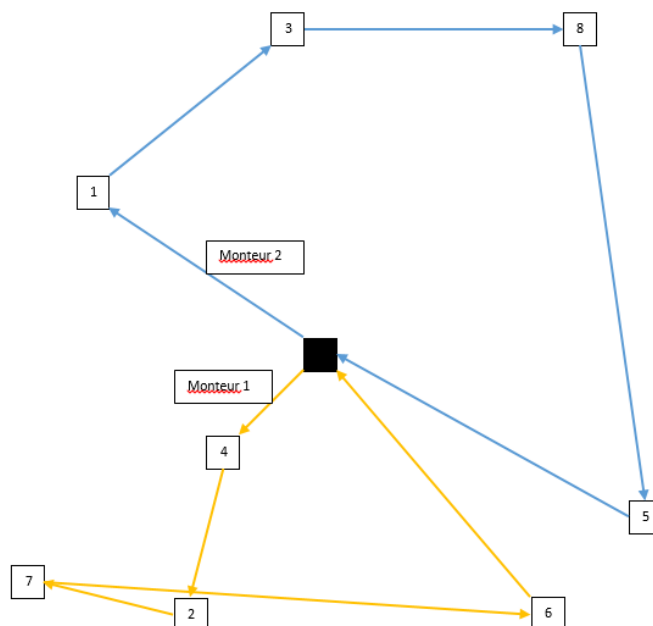
Minuut 103

Monteur 1 is vrij maar bevindt zich reeds in het centrale verzamelpunt. Monteur 2 is ook klaar met zijn klant en bevindt zich nog niet in het centrale verzamelpunt. Ook voor monteur 2 wordt dit de nieuwe bestemming. De afstand tot dit punt bedraagt 11,18 km.

Wanneer beide monteurs terug in het centrale verzamelpunt zijn en er geen actieve klanten meer zijn (of passieve die nog actief kunnen worden) kan deze simulatie stoppen.

3.3.1.3. Resultaten van het eerste voorbeeld

Monteur 1 heeft een totaal van 41,08 km afgelegd. Deze monteur heeft dus 41 minuten en 5 seconden doorgebracht in zijn voertuig. Monteur 2 heeft een totaal van 50,72 km afgelegd. Dit komt overeen met 50 minuten en 43 seconden. In totaal hebben ze dus 91,8 km afgelegd. Dit komt overeen met 1 uur 31 minuten en 48 seconden. In figuur 6 worden de ritten die de monteurs hebben afgelegd weergegeven.



Figuur 6: De ritten van de monteurs

3.3.2. Tweede voorbeeld

In het tweede voorbeeld zullen de helft van de klanten dynamische klanten worden. Hierdoor verandert de situatie en de invloed van deze verandering op het resultaat is wat er in deze thesis onderzocht wordt.

De klanten behouden zoals eerder reeds beschreven zoveel mogelijk variabelen. Dit is om de vergelijkbaarheid te vergroten. Indien er een geheel nieuwe set klanten gecreëerd zou worden zouden de resultaten te sterk beïnvloed worden door de nieuwe posities van deze klanten. In dit tweede voorbeeld worden dus vier willekeurige klanten dynamisch in plaats van statisch. Dan zal het proces van het toewijzen van de monteurs opnieuw plaatsvinden maar nu moet er rekening gehouden worden met het tijdstip van aanvraag van de dynamische klanten. Het tijdstip van aanvraag wordt gesimuleerd door een willekeurig getal te nemen tussen 0 en 120. Dit getal bepaalt dan de minuut waarop de klant zijn aanvraag bij het centrale planningsorgaan binnen dient. Omdat er bij dit voorbeeld drie uur gesimuleerd wordt kunnen de klanten wederom tot één uur voor het einde van de simulatie bestellingen plaatsen.

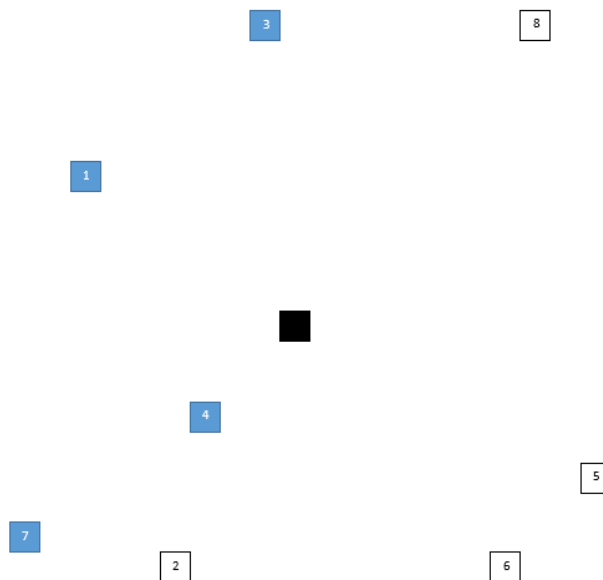
3.3.2.1. Het creëren van de instanties

De gegevens van de klanten worden opgehaald en vier willekeurige klanten worden dynamisch gemaakt. In dit geval betreft het klanten 1, 3, 4, en 7. Deze klanten moeten dan ook een tijdstip meekrijgen waarop zij contact opnemen met het planningsorgaan en hun aanvraag voor een bezoek indienen.

Tabel 3: Overzicht klanten voorbeeld 2

Naam	X	Y	Dynamisch?	Tijdstip Aanvraag	Inspectietijd	Voldaan?
Klant 1	3	15	Ja	98	11	Nee
Klant 2	6	2	Nee	0	10	Nee
Klant 3	9	20	Ja	12	15	Nee
Klant 4	7	7	Ja	50	19	Nee
Klant 5	20	5	Nee	0	18	Nee
Klant 6	17	2	Nee	0	8	Nee
Klant 7	1	3	Ja	113	7	Nee
Klant 8	18	20	Nee	0	19	Nee

Vervolgens wordt het centrale verzamelpunt opnieuw aangemaakt op locatie (10,10). Hier starten wederom de twee monteurs met hun ronde. De beginsituatie ziet er op vlak van monteurs en locatie van het verzamelpunt dus niet anders uit. Op het vlak van beschikbare klanten ziet de beginsituatie er echter wel anders uit. Enkel klanten 2, 5, 6, en 8 zijn in het begin reeds beschikbaar. De startsituatie is terug te vinden in figuur 7. De klanten die bij de start van de simulatie nog niet actief zijn worden in het blauw weergegeven. Als de simulatie start zal de planner opnieuw elke minuut kijken of er een monteur vrij is en deze een nieuwe klant geven, als er actieve klanten beschikbaar zijn. Het verloop van dit tweede voorbeeld wordt in wat volgt in tabelvorm weergegeven.



Figuur 7: Beginsituatie van het tweede voorbeeld

Tabel 4: Voorbeeld 2 minuut voor minuut

<i>Minuut</i>	<i>Acties</i>
0	Monteur 1 vertrekt naar klant 2 (8,94 km); Monteur 2 vertrekt naar klant 6 (10,63 km)
1-11	Geen acties
12	Klant 3 wordt actief
13-18	Geen acties
19	Monteur 1 vertrekt naar klant 5 (14,31 km); Monteur 2 vertrekt naar klant 8 (18,02 km)
20-49	Geen acties
50	Klant 4 wordt actief
51	Geen acties
52	Monteur 1 vertrekt naar klant 4 (13,15 km)
53-56	Geen acties
57	Monteur 2 vertrekt naar klant 3 (9 km)

3.3.3. Vergelijking van de resultaten

Door 50% van de klanten dynamisch te maken stijgt de totale afgelegde afstand in dit voorbeeld met 39%. Dit voorbeeld toont aan dat het moment waarop een vraag bekend gemaakt wordt een zeer grote invloed kan hebben op de totaal afgelegde afstand. Dit is slechts een voorbeeld ter verduidelijking van de werking van de simulatie, hier kunnen geen conclusies uit getrokken worden. Wel toont het aan hoe het tijdstip waarop informatie van een probleem bekend gemaakt wordt een grote rol speelt in de oplossing ervan.

Na dit voorbeeld volgen de resultaten en analyse van de simulatie. Er zal eerst gekeken worden naar de invloed van de graad van dynamisme op de afgelegde afstand. Vervolgens zullen de resultaten die bekomen zijn door het aantal beschikbare monteurs te veranderen besproken worden. Ten slotte zal ook de invloed van de grootte van het gebied op de afgelegde afstand bestudeerd worden.

3.4. Analyse van de resultaten

In de vorige paragraaf werd aan de hand van een simpel voorbeeld de werking van het simulatieproces dat in deze analyse gebruikt zal worden geschetst. Het simulatieproces verschilt op een paar vlakken echter met dat van het voorbeeld. Een eerste verschil is het aantal klanten. Nu worden er telkens 40 klanten gecreëerd in plaats van acht. Een tweede verschil is dat er meerdere parameters zijn die zullen veranderen. Niet enkel de graad van dynamisme neemt toe. De graad van dynamisme verandert trouwens ook in andere stappen. De graad van dynamisme zal gaan van 0 tot 1, in stappen van 0,25. Dit geeft vijf verschillende mogelijke waardes voor de graad van dynamisme. Het aantal monteurs dat beschikbaar is om de klanten te bezoeken zal tijdens de analyse ook variëren, gaande van vijf tot acht monteurs. Hier zijn dus vier verschillende mogelijke waardes mogelijk. Daarnaast zal tevens de oppervlakte van het gebied variëren. Ook hier zullen vier verschillende waardes mogelijk zijn. Namelijk 900 km²; 1600 km²; 2500 km²; en 3600 km².

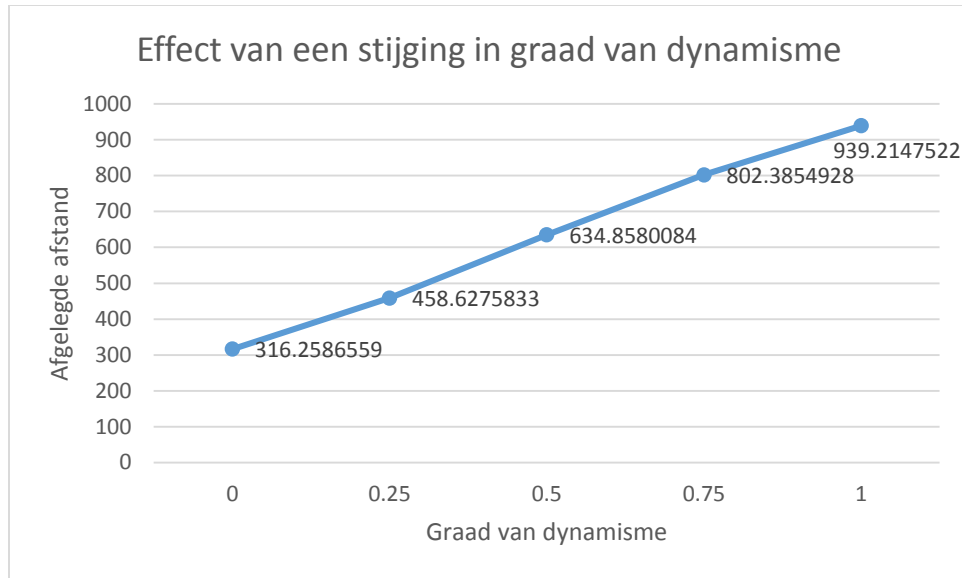
Dit alles zorgt voor $5 \cdot 4 \cdot 4 = 80$ verschillende combinaties van parameters. Alle 80 combinaties zullen door het simulatieprogramma gerund worden. Elke combinatie zal 100 maal herhaald worden om de vergelijkbaarheid te vergroten. De gemiddelde afgelegde afstand is het resultaat waarop de bespreking wordt gebaseerd. Deze wordt voor elk scenario berekend door het gemiddelde te nemen van de 100 herhalingen. Tevens zal de variatie in de resultaten onderzocht worden. Met behulp van betrouwbaarheidsintervallen wordt dan nagegaan of de verschillen in resultaat die bekomen zijn door de verschillende scenario's te vergelijken significant van elkaar verschillen. In wat volgt zal telkens eerst de afzonderlijke invloed van één parameter onderzocht worden. Eerst wordt de invloed van een stijging van de graad van dynamisme onderzocht, vervolgens de invloed van een toename in het aantal beschikbare monteurs en daarna de invloed van een toename in oppervlakte van het gebied op de

afgelegde afstand. Wanneer de individuele invloeden onderzocht worden zal steeds vertrokken worden vanuit hetzelfde basisscenario. Dit startscenario is het scenario waarbij alle klanten statisch zijn, er slechts vijf monteurs aanwezig zijn, en de oppervlakte van het gebied slechts 900 km² bedraagt.

Nadat alle individuele invloeden in kaart gebracht zijn zal onderzocht worden hoe de effecten van deze parameters met elkaar reageren. Zo zal gekeken worden wat de invloed is van een toename in dynamisme naarmate het aantal beschikbare monteurs stijgt of naarmate de oppervlakte van het gebied toeneemt. Hetzelfde geldt voor de andere twee parameters. Alle scenario's zullen vergeleken worden aan de hand van overzichtelijke grafieken. Maar eerst zal in de volgende paragrafen de individuele invloeden bestudeerd worden.

3.4.1. Effect van een stijging van de graad van dynamisme

In dit geval wordt uitgegaan van het startscenario dat zich afspeelt in een omgeving waar alle klanten statisch zijn, met slechts vijf monteurs die werkzaam zijn in een gebied van 900 km². Het gemiddelde van de totale afgelegde afstand over de honderd simulaties heen bedraagt in dit scenario 316,25 km. Dit wil zeggen dat elke monteur gemiddeld 1u en 3 min in de wagen zit. Wanneer de graad van dynamisme toeneemt tot 0,25 of, met andere woorden 25% van de klanten gaat pas op de dag zelf een bezoek aanvragen, dan stijgt de totale afgelegde afstand door alle monteurs samen tot 458,62 km. Dit komt overeen met een stijging van een halfuur per persoon per dag. Indien 50% van de klanten slechts de dag zelf een bezoek aanvraagt stijgt de totale afgelegde afstand tot 634,85 km, oftewel elke monteur zit 2u en 7min achter het stuur. Dit is reeds een verdubbeling van de duur ten opzichte van het scenario waarbij alle klanten statisch waren. Als de graad van dynamisme verder stijgt kan teruggevonden worden dat de totaal afgelegde afstand toeneemt tot 802,38 km. In dit geval zijn de monteurs elk gemiddeld 2u en 40min onderweg. Ten slotte wanneer alle klanten dynamisch zijn en er dus geen enkele aanvraag op voorhand gebeurt, stijgt de totaal afgelegde afstand tot 939,21 km. Hierbij brengt een monteur gemiddeld 3u en 7min per dag achter het stuur door. Het is indrukwekkend hoeveel invloed het tijdstip waarop informatie van een probleem bekendgemaakt wordt, heeft op de oplossing van het probleem. Er dient op gewezen te worden dat deze stijging van de afgelegde afstand, en dus stijging van de kosten, uitsluitend te wijten is aan het feit dat bepaalde informatie slechts later beschikbaar wordt gemaakt. De klanten blijven in de verschillende simulaties telkens dezelfde adressen behouden, enkel het moment van aanvraag wordt veranderd. Hierdoor worden de routes van de monteurs echter zo beïnvloed dat in het scenario met alleen maar dynamische klanten deze bijna driemaal zo veel tijd verliezen met rijden als in het scenario waarbij alle vraag op voorhand gekend is. Hieronder kan een grafiek worden teruggevonden die deze resultaten visueel weergeeft. Op de y-as wordt het totaal afgelegde kilometers door de vijf monteurs samen weergegeven. In de volgende alinea wordt dieper ingegaan op welke manier een stijging van de graad van dynamisme de totale afgelegde afstand beïnvloedt.

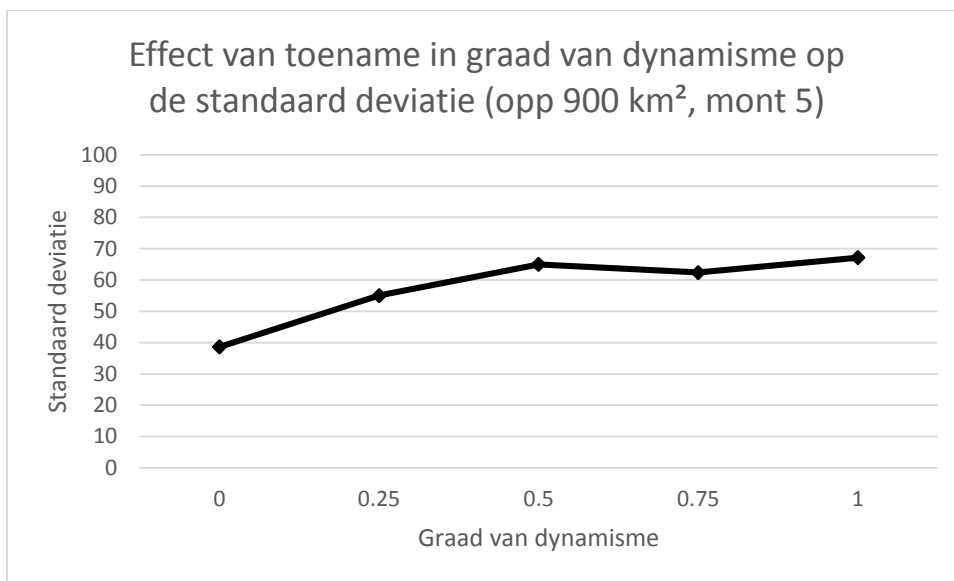


Figuur 9: Het effect van een stijging in graad van dynamisme op de afgelegde afstand

In het ideale geval zijn alle klanten die bezocht moeten worden reeds bekend voordat de monteurs naar hun eerste klant vertrekken. In dat geval kan de planner elke monteur naar de eerste klant van zijn respectievelijke ronde sturen. Op het moment dat een monteur klaar is met de inspectie vraagt deze een nieuwe klant aan bij de planner. De planner heeft zeer veel klanten om uit te kiezen aangezien alle klanten reeds bekend zijn. Door de grote hoeveelheid beschikbare klanten kan de planner een efficiënte keuze maken en hoeft de monteur slechts de kortste afstand die mogelijk is af te leggen naar zijn volgende klant. In het geval sommige klanten dynamisch zijn, en dus afgeweken wordt van de ideale situatie, beschikt de planner niet over de informatie van de klanten die nog niet actief zijn. Hierdoor kan hij deze niet in beschouwing nemen bij de keuze van een nieuwe klant voor een monteur. Het aantal klanten om uit te kiezen neemt af en hierdoor is de planner niet in staat om de optimale klant te kiezen, hij beschikt namelijk niet over alle klanten om uit te kiezen. De planner kan enkel een keuze maken uit de op dit moment in de tijd beschikbare klanten. In het extreme geval waar alle klanten dynamisch zijn, zal de planner in het begin van de dag geen enkele monteur kunnen laten vertrekken omdat er nog geen klanten zijn. Pas vanaf het moment dat de eerste klant binnenkomt kan de planner een eerste monteur laten vertrekken. In de scenario's met een dynamische graad groter dan nul zullen de routes dus niet zo goed zijn als de routes in het ideale geval. In die scenario's zullen monteurs af en toe ook terug naar het centrale verzamelpunt keren alvorens alle klanten van die dag bezocht zijn. Als er op een bepaald moment geen actieve klanten zijn zullen de monteurs moeten terugkeren naar het verzamelpunt. Hoe dynamischer een probleem hoe vaker dit zal voorkomen.

Vervolgens wordt de aandacht gericht op de variatie die in de resultaten van de simulatie terug te vinden is. Op de onderstaande grafiek is te zien hoe de standaard deviatie toeneemt wanneer de graad van dynamisme stijgt van 0 tot 0,5. Wanneer de graad van dynamisme nog verder toeneemt naar 0,75 en

naar 1 stijgt de standaard deviatie niet meer. Waarom de variatie niet verder toeneemt bij een verdere stijging van de graad van dynamisme is niet duidelijk.



Figuur 10: Het effect van een toename in de graad van dynamisme op de standaard deviatie (met opp 900 km² en mont 5)

Met behulp van de verschillende standaard deviaties kunnen nu de betrouwbaarheidsintervallen rond de gemiddeldes van de afgelegde afstand gecreëerd worden. Met deze betrouwbaarheidsintervallen kan dan getest worden of de waargenomen resultaten significant van elkaar verschillen. Er wordt gekozen voor een significantieniveau van 5%. Elk scenario wordt 100 keer (n=100) gesimuleerd, er zijn dus 99 vrijheidsgraden (n-1). Dit geeft de volgende t-waarde:

$$t_{n-1;1-\frac{\alpha}{2}} = t_{99;0,975} = 1,984$$

Met behulp van deze t-waarde kunnen de betrouwbaarheidsintervallen op de volgende manier gecreëerd worden:

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

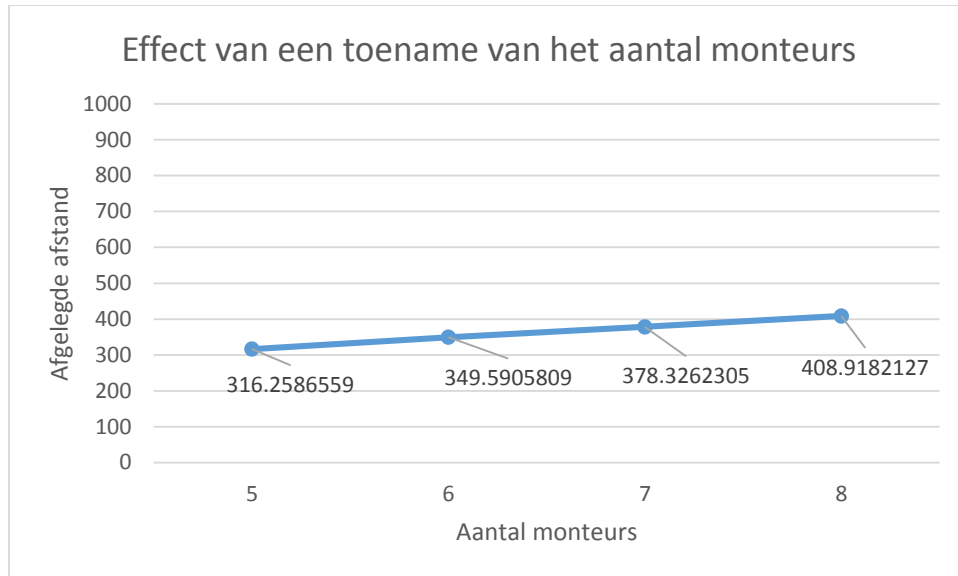
Waarbij $\bar{Z}_{(n)}$ de gemiddelde afgelegde afstand over de 100 replicaties van een bepaald scenario is. $\widehat{Var}(\bar{Z}_{(n)})$ is de variantie van de verdeling van de resultaten met betrekking tot een bepaald scenario. De betrouwbaarheidsintervallen in secties 3.4.2. en 3.4.3. worden op dezelfde manier berekend. Omdat geen enkele van de betrouwbaarheidsintervallen met elkaar overlapt zijn de verschillen in resultaat significant. Er is voor een α -waarde van 0.05 gekozen. Als de graad van dynamisme stijgt in stappen van 0,25 wordt de afgelegde afstand hier significant door beïnvloed.

Tabel 5: Betrouwbaarheidsintervallen voor stijgende graad van dynamisme

Graad van dynamisme	Totale afgelegde afstand	Standaard deviatie	Betrouwbaarheidsinterval
0	316,26	38,62	[308,59; 323,92]
0,25	458,63	55,02	[447,72; 469,55]
0,50	634,86	64,99	[621,96; 647,75]
0,75	802,39	62,39	[790,01; 814,76]
1	939,21	67,16	[925,89; 952,54]

3.4.2. Effect van een stijging in het aantal beschikbare monteurs

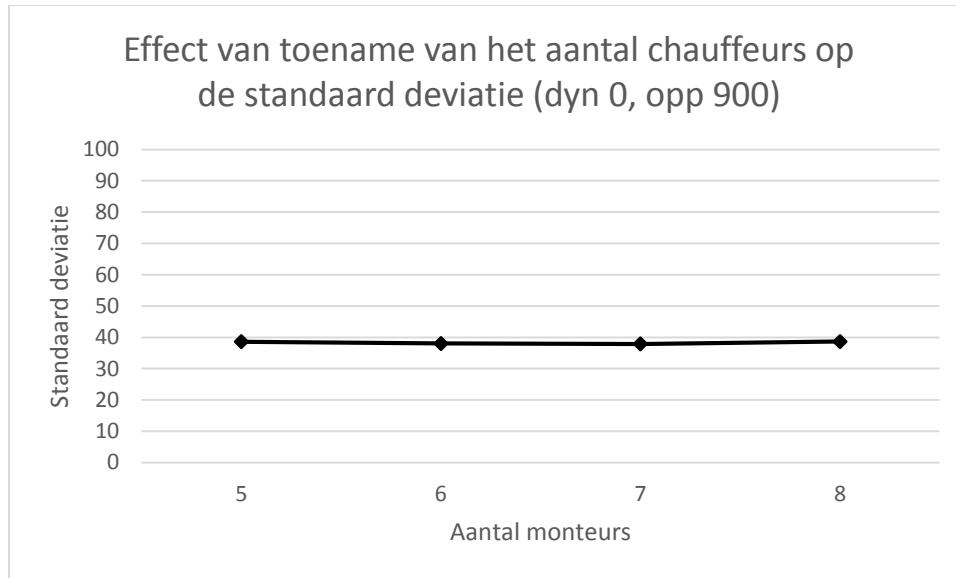
Een tweede parameter van de analyse die gesimuleerd wordt overheen verschillende simulaties is het aantal monteurs dat beschikbaar is om bij klanten langs te gaan. De invloed van het aantal monteurs op de afgelegde afstand wordt hier onderzocht. Opnieuw zal worden uitgegaan van het startscenario waarbij alle klanten statisch zijn en het gebied waarin de klanten kunnen liggen een oppervlakte van 900 km² bedraagt. De resultaten worden opnieuw grafisch weergegeven in een grafiek die hieronder kan worden teruggevonden. Zoals figuur 11 laat zien neemt bij een stijging van het aantal monteurs de totale afgelegde afstand steeds toe met ongeveer 30 km. Deze toename is veel minder uitgesproken dan de toename die gebeurde als gevolg van een stijging in de graad van dynamisme, hoewel deze effecten onderling moeilijk te vergelijken zijn. Een toename in het aantal beschikbare monteurs zorgt er ook voor dat de klanten vlotter geholpen kunnen worden. Dit resulteert in meer tevreden klanten wat ook een opbrengst is. Anderzijds is er de bijkomende arbeidskost van een extra monteur die ook als kost in rekening gebracht dient te worden. Het effect op totale afgelegde afstand is in dit geval echter toch zeer beperkt en zal niet snel de doorslaggevende reden worden in de beslissing om al dan niet een extra monteur aan te nemen. In de alinea hieronder wordt een mogelijke verklaring gegeven voor het feit dat de afgelegde afstand toeneemt bij een toenemend aantal monteurs.



Figuur 11: Het effect van een toename van het aantal monteurs op de totaal afgelegde afstand (met dyn 0 en opp 900 km²)

Een stijging van het aantal monteurs veroorzaakt een stijging van de totale afgelegde afstand. Een stijging van de capaciteit zorgt dus voor een daling van de efficiëntie. Een mogelijke verklaring voor dit fenomeen kan zijn dat door de stijging van het aantal monteurs er nu meer lussen gemaakt worden om de klanten te bezoeken. Stel dat er maar één monteur beschikbaar is om alle (statische) klanten te bezoeken. Deze zal vertrekken uit het verzamelpunt en, nadat alle klanten bezocht zijn, terugkeren naar het verzamelpunt. Alle klanten zijn in één lus bezocht. Stel nu dat er evenveel monteurs zijn als klanten, deze zullen elk vertrekken naar een klant en na het bezocht hebben van één klant terugkeren naar het depot. In dit geval zouden er evenveel lussen gemaakt zijn als dat er klanten zijn. Deze situatie zal leiden tot een zeer grote afgelegde afstand. Hoe meer lussen er dus gemaakt worden, hoe groter de afgelegde afstand zal zijn (hoewel er theoretisch situaties mogelijk zijn waar het maken van meerdere lussen niet tot een langere afstand zal leiden).

Ook hier wordt de variatie in de resultaten onder de loep genomen. De grafiek die de standaard deviaties laat zien voor de scenario's met een verschillend aantal monteurs kan in figuur 12 teruggevonden worden. De standaard deviatie verandert niet naarmate het aantal monteurs toeneemt.



Figuur 12: Effect van toename van het aantal chauffeurs op de standaard deviatie (dyn 0, opp 900)

Vervolgens worden opnieuw betrouwbaarheidsintervallen opgesteld rond de eerder verkregen resultaten. Deze kunnen in onderstaande tabel worden teruggevonden. De betrouwbaarheidsintervallen overlappen elkaar niet dus ook hier is sprake van significante verschillen tussen de scenario's.

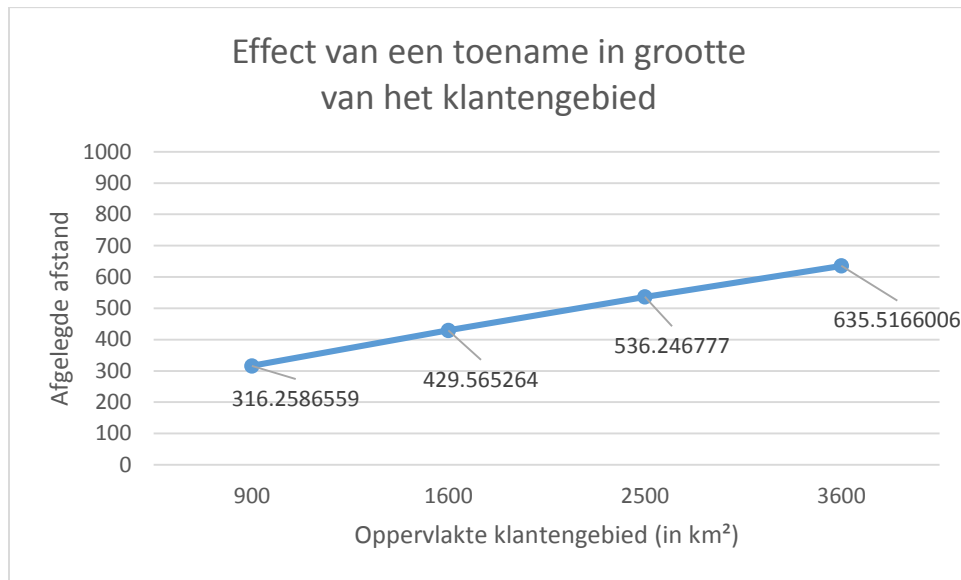
Tabel 6: Betrouwbaarheidsintervallen voor stijgend aantal monteurs

Aantal monteurs	Totale afgelegde afstand	Standaard deviatie	Betrouwbaarheidsinterval
5	316,26	38,62	[308,59; 323,92]
6	349,60	38,04	[342,05; 357,15]
7	378,33	37,89	[370,81; 385,85]
8	408,92	38,63	[401,26; 416,59]

3.4.3. Het effect van een toename in de grootte van het klantengebied

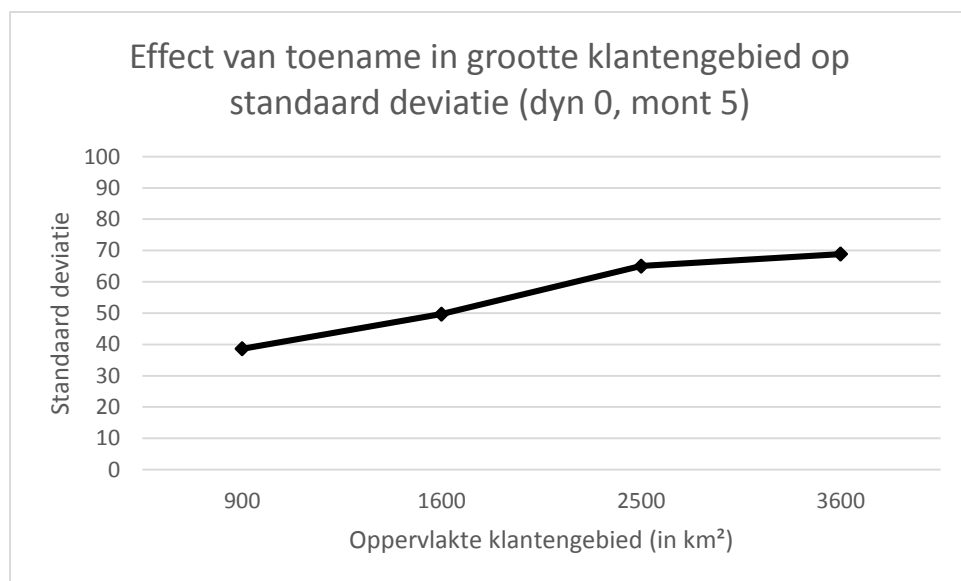
Vervolgens wordt onderzocht wat de gevolgen zijn van een toename in de oppervlakte van het gebied waarin de klanten voorkomen. Hier dient opgemerkt te worden dat de verschillende simulaties die vergeleken worden niet meer simulaties zijn waarbij het klantenbestand hetzelfde blijft. Hier worden telkens hele nieuwe sets van klanten aangemaakt. De adressen van klanten behouden in een steeds groter wordend gebied zou er toe leiden dat geen enkel verschil tussen de simulaties vast te stellen zou zijn. Opnieuw worden de resultaten in een grafiek gegoten om deze overzichtelijker te kunnen weergeven. De grafiek kan hieronder teruggevonden worden. De resultaten tonen aan dat een vergroting van het gebied voor eenzelfde aantal klanten een stijging van de totaal afgelegde afstand tot gevolg heeft. Dit is te verwachten. Het is interessant op te merken dat het grootste gebied een viervoud

is qua oppervlakte van het kleinste gebied. De totale afgelegde afstand is echter niet verviervoudigd wanneer van het kleinste naar het grootste gebied wordt overgegaan maar wel verdubbeld.



Figuur 13: Effect van een toename in grootte van het klantengebied (met dyn 0 en mont 5)

Ten slotte wordt ook hier gekeken naar de variatie in de gevonden resultaten. Op de onderstaande grafiek is te zien hoe de standaard deviatie toeneemt naarmate de oppervlakte van het gebied waarin de klanten kunnen voorkomen groter wordt. Het is logisch dat de variatie in de resultaten toeneemt want de klanten kunnen op meer mogelijke posities voorkomen.



Figuur 14: Effect van toename in grootte klantengebied op standaard deviatie (dyn 0, mont 5)

Vervolgens zullen ook hier deze standaard deviaties gebruikt worden om betrouwbaarheidsintervallen op te stellen rond de gemiddelde afgelegde afstand. In de tabel worden de betrouwbaarheidsintervallen weergegeven. Opnieuw overlappen de betrouwbaarheidsintervallen niet en kan dus geconcludeerd worden dat de afgelegde afstand significant toeneemt naarmate deze parameter, de grootte van het klantengebied, toeneemt.

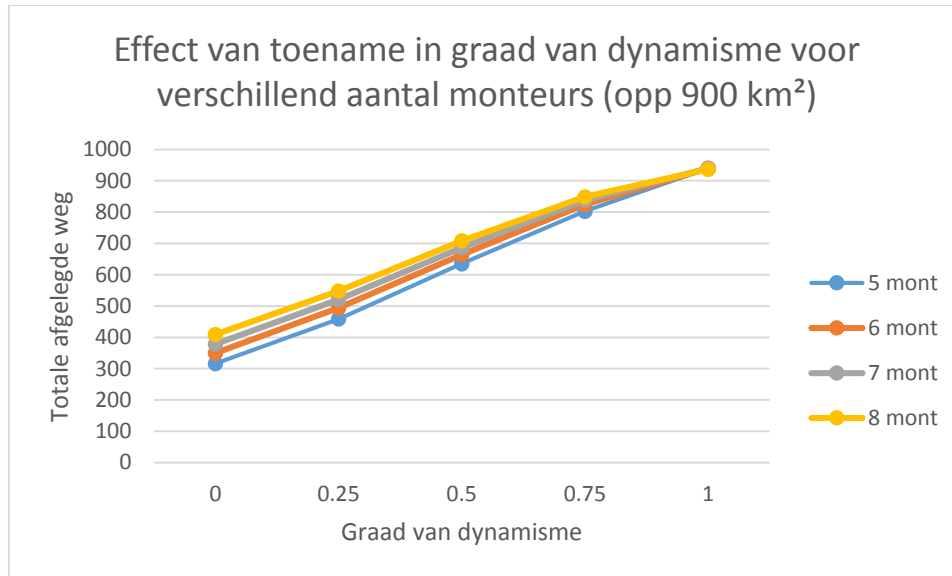
Tabel 7: Betrouwbaarheidsintervallen voor toenames in klantengebied

Oppervlakte klantengebied	Totale afgelegde afstand	Standaard deviatie	Betrouwbaarheidsinterval
900 km ²	316,26	38,62	[308,59; 323,92]
1600 km ²	429,57	49,69	[419,71; 439,43]
2500 km ²	536,25	65,05	[523,34; 549,16]
3600 km ²	635,52	68,85	[621,86; 649,18]

3.4.4. Het effect van een toename in de graad van dynamisme voor verschillende aantallen van monteurs.

Nu de individuele invloeden besproken zijn kan er overgegaan worden op de afhankelijkheden tussen de verschillende parameters. Als eerste zal opnieuw het effect van een stijging in de graad van dynamisme onderzocht worden. Nu zal echter gekeken worden naar hoe het effect van deze parameter verandert naarmate het aantal monteurs toeneemt.

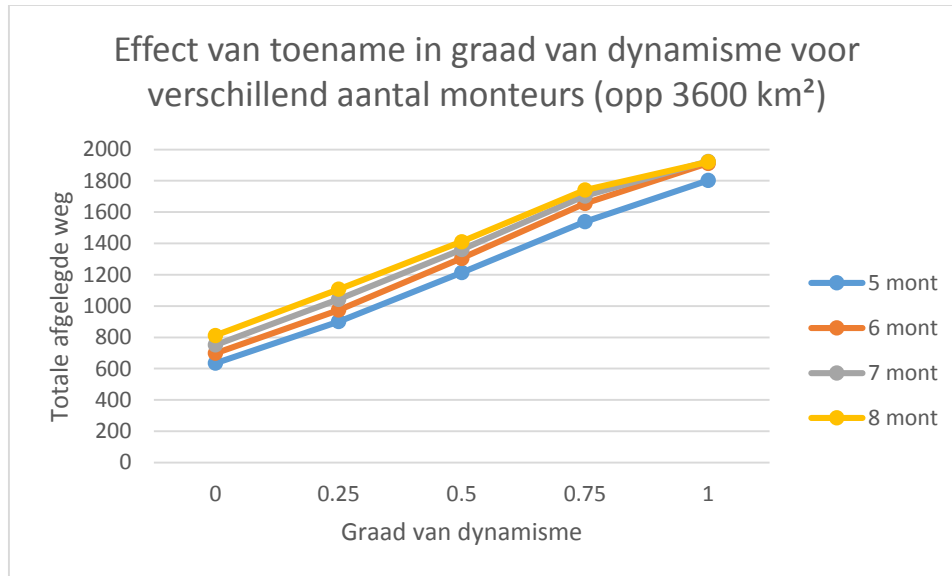
De resultaten worden in figuur 15 weergegeven. Er kan wederom worden vastgesteld dat naarmate de graad van dynamisme toeneemt de afgelegde afstand sterk toeneemt. Ook geldt dat voor een stijgend aantal monteurs de afgelegde afstand groter wordt, de grafieklijnen met een hoger aantal monteurs liggen hoger dan die met een lager aantal monteurs. Dit is in overeenstemming met de reeds eerder gevonden resultaten. Wanneer de graad van dynamisme toeneemt blijkt echter dat het verschil tussen de afgelegde afstanden tussen de scenario's met een verschillend aantal monteurs verkleint. Voor een volledig dynamische klantenbasis valt alle verschil zelfs weg tussen de scenario's met een verschillend aantal monteurs. Dit is zo omdat het nadeel dat door het toegenomen aantal monteurs veroorzaakt wordt door de statische klanten, niet door de dynamische klanten. Omdat er in al de scenario's met een oppervlakte van het klantengebied van 900 km² met een overcapaciteit gewerkt wordt zullen de scenario's met veel statische klanten meer nadeel ondervinden van een stijging in het aantal monteurs. Hoe meer monteurs er zijn hoe minder efficiënt deze gezamenlijk afstanden zullen afleggen om alle klanten te bezoeken. Dit is dezelfde redenering als hierboven. Wanneer alle klanten echter dynamisch zijn, zorgt een stijging van het aantal monteurs niet voor een stijging in afgelegde afstand. Dit is zo omdat niet alle monteurs meteen kunnen vertrekken, iedereen moet op de klanten wachten. Pas na een oproep kan een monteur vertrekken.



Figuur 15: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillend aantal monteurs (opp 900 km²)

Dit effect is hetzelfde voor zowel de scenario's met een oppervlakte van het klantengebied van 1600 km² als die met een oppervlakte van 2500 km². Deze grafieken kunnen in bijlage worden teruggevonden.

In de scenario's waar het klantengebied 3600 km² bedraagt is er wel een verschil. In dat geval heeft het scenario met 5 monteurs een voordeel ten opzichte van de andere scenario's. Het heeft dan, zoals in de beschrijving van de simulatie reeds vermeld, geen overcapaciteit meer. De bezetting van de beschikbare monteurs bedraagt gemiddeld 95%. Alle andere onderzochte scenario's in deze analyse hebben een bezetting die steeds lager is dan 85%. Door het gebrek aan overcapaciteit in dit ene scenario zijn de monteurs meer bezet. Hierdoor kan er meer informatie binnenkomen tijdens de bezet-tijden van de verschillende monteurs en zal de afgelegde afstand dus kleiner zijn omdat er relatief meer informatie beschikbaar is voor de planner. De grafiek van de scenario's met een oppervlakte van 3600 km² wordt in figuur 16 weergegeven. Deze grafiek toont aan dat door een goed evenwicht tussen het aantal klanten en het aantal monteurs, de afgelegde afstand lager zal zijn dan bij een overcapaciteit in een compleet dynamische omgeving.



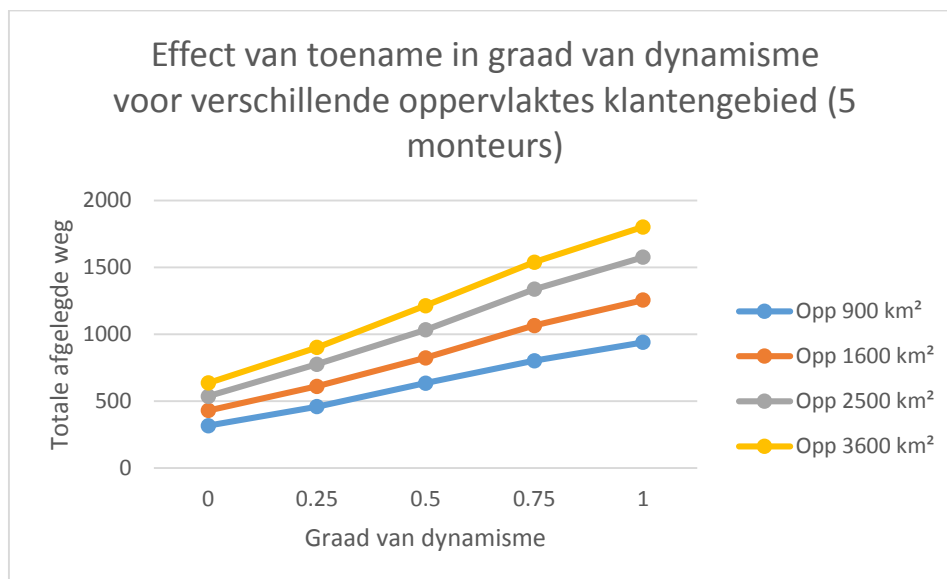
Figuur 16: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillend aantal monteurs (opp 3600 km²)

3.4.5. Het effect van een toename in de graad van dynamisme voor verschillende oppervlaktes van het klantengebied.

In deze paragraaf zal onderzocht worden wat de effecten van een stijging in de graad van dynamisme zijn, naarmate het gebied waarin er klanten kunnen voorkomen in grootte toeneemt. Voor de verschillende mogelijke scenario's waarbij er vijf monteurs aanwezig zijn, worden hieronder de resultaten weergegeven. De resultaten voor scenario's met een ander aantal monteurs geven een gelijkaardige grafiek weer. De grafieken gevormd door die scenario's kunnen in de bijlage worden teruggevonden.

Op de grafiek is duidelijk te zien dat naarmate de graad van dynamisme stijgt, het verschil in afgelegde afstand tussen de scenario's met een verschillende oppervlakte van het klantengebied toeneemt. Dit is te wijten aan het feit dat de afgelegde afstand in de scenario's met een grotere oppervlakte van het klantengebied sneller toeneemt naarmate de hoeveelheid dynamische klanten toeneemt dan de scenario's met een kleinere oppervlakte van het klantengebied. De grafiek toont met andere woorden aan dat de invloed van een stijging in graad van dynamisme sterker wordt naarmate de oppervlakte van het klantengebied toeneemt. Een stijging van de graad van dynamisme is in deze simulatie niets anders dan het pas later beschikbaar maken van informatie. Indien deze informatie reeds eerder beschikbaar was hadden klanten efficiënter ingepland kunnen worden. De grafiek geeft weer dat het negatieve effect van deze laattijdige beschikbaarheid van informatie groter wordt in scenario's met grotere klantengebieden. De hoeveelheid informatie die pas later beschikbaar wordt gemaakt is telkens evenveel voor de scenario's met een verschillende grootte van klantengebied (0%; 25%; 50%; 75%; of 100%). Toch worden de gebieden met de grootste oppervlaktes zwaarder bestraft dan de kleinere

gebieden. Dit impliceert dat de waarde verbonden aan informatie toeneemt naarmate de oppervlakte van het gebied toeneemt. De straf voor het slechts laattijdig binnenkrijgen van de bestellingen is dus groter naarmate de oppervlakte van het gebied groter is. Dit is logisch omdat in een groter gebied de klanten meer mogelijke posities hebben om voor te komen.



Figuur 17: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillende oppervlaktes klantengebied (5 monteurs)

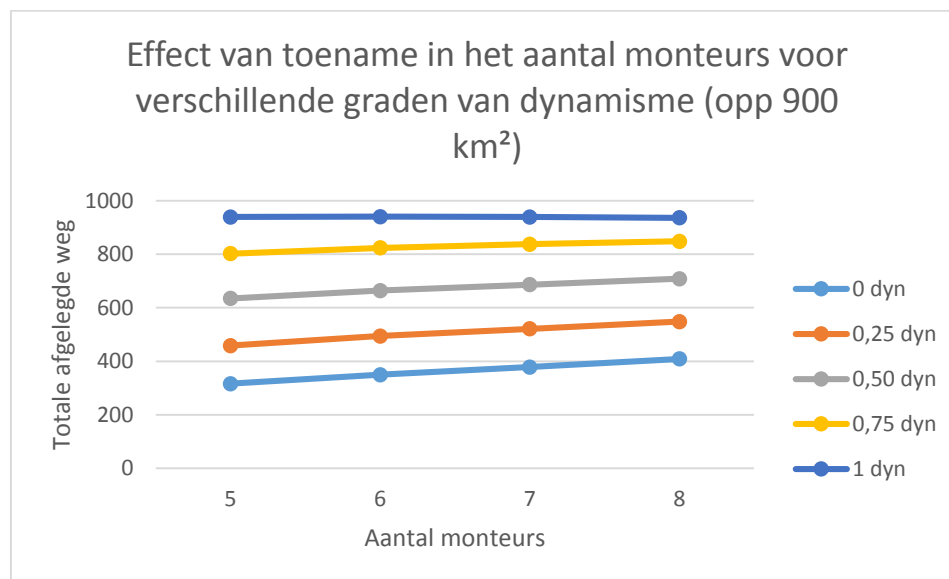
3.4.6. Het effect van een toename in het aantal monteurs voor verschillende graden van dynamisme.

In deze paragraaf zal de aandacht gericht worden op de effecten die veroorzaakt worden door een stijging in aantal beschikbare monteurs. Wederom wordt hier niet enkel naar de afzonderlijke invloed gekeken maar ook naar hoe deze invloed varieert afhankelijk van de waarden van de andere parameters, namelijk de graad van dynamisme en de oppervlakte van het klantengebied. Eerst wordt hier de invloed van de verschillende graden van dynamisme op het effect van het aantal monteurs besproken.

De resultaten kunnen worden teruggevonden in onderstaande grafiek. Het valt op dat naarmate de graad van dynamisme stijgt, het effect van een stijging in het aantal monteurs daalt. Hoe hoger de graad van dynamisme, hoe kleiner het effect van een verandering in het aantal beschikbare monteurs. Een mogelijke verklaring hiervoor is het feit dat hoe meer informatie op voorhand beschikbaar is, hoe meer monteurs naar een klant kunnen vertrekken en zelf een lus beginnen maken. Hoe meer afzonderlijke lussen er gemaakt worden, hoe hoger de totale afgelegde afstand zal zijn (opnieuw, er zijn theoretische situaties mogelijk waar het maken van meerdere lussen niet tot een grotere afgelegde

afstand zal leiden). Naarmate er meer informatie is die pas later op de dag wordt vrijgegeven zullen de lussen die gevormd worden door de monteur kleiner zijn. De klanten die later op de dag een aanvraag binnenbrengen zullen op een even efficiënte manier bezocht worden omdat de monteurs dan vaker vanuit het centraal punt vertrekken.

Het meest opvallende is de donkerblauwe lijn, die de resultaten geeft van de scenario's waar alle klanten dynamisch zijn. In een gebied van 900 km², waar alle klanten dynamisch zijn, heeft het aantal beschikbare monteurs geen invloed op de totaal afgelegde afstand. Dit komt omdat er met een nodige overcapaciteit gewerkt is. De monteurs kunnen niet allemaal tegelijk beginnen en daarom worden er geen extra kilometers gereden door het extra aan monteurs. De lijn met de felste stijging is die waar de graad van dynamisme 0 is, oftewel die waar alle klanten statisch zijn. Hier kunnen alle monteurs beginnen te werken en zijn zoals bij de bespreking van het individuele effect van de monteurs er meer monteurs die elk een eigen ronde doen.



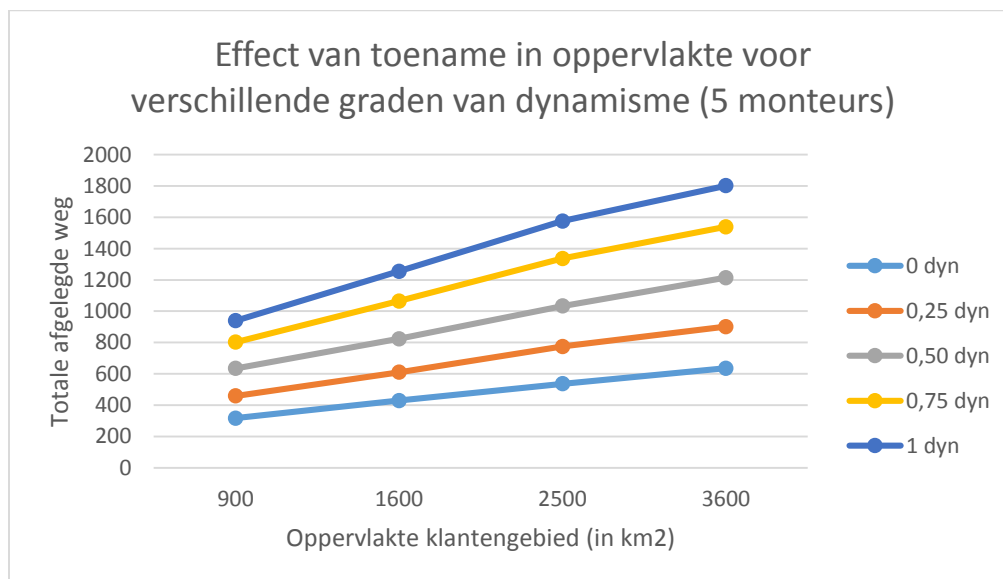
Figuur 18: Effect van toename in het aantal monteurs voor verschillende graden van dynamisme (opp 900 km²)

Dezelfde resultaten worden bekomen bij gebieden met een grotere oppervlakte van het klantengebied, deze grafieken kunnen in de bijlage worden teruggevonden. Enkel bij het grootste gebied is het scenario waar alle klanten dynamisch zijn en er slechts vijf monteurs beschikbaar wordt er minder afstand afgelegd. Dit is opnieuw omdat dit scenario op volle capaciteit werkt. De monteurs hebben wanneer ze klaar zijn met een inspectieronde dus relatief meer informatie beschikbaar. Ook deze grafiek wordt in de bijlage weergegeven, een duidelijke afwijking van de andere grafieken is hier zichtbaar.

3.4.7. Het effect van een toename in de oppervlakte van het klantengebied voor verschillende graden van dynamisme.

Ten slotte zal in deze paragraaf de laatste parameter, de grootte van het klantengebied, verder worden onderzocht. Eerst zal gekeken worden naar de invloed die de graad van dynamisme heeft op het effect van een verandering van het klantengebied. Daarna wordt het effect van de grootte van het klantengebied naarmate het aantal beschikbare monteurs varieert onder de loep genomen.

In onderstaande grafiek is te zien hoe het effect van een toename in de grootte van het klantengebied sterker wordt naarmate het aantal dynamische klanten toeneemt. Hoe hoger de graad van dynamisme, hoe steiler de bijhorende lijnen op de grafiek. Dit impliceert dat hoe hoger de graad van dynamisme is, hoe sterker de afgelegde afstand toeneemt bij een uitbreiding van het klantengebied. Dit is zoals eerder reeds vermeld door het feit dat aan de ene kant de klanten in een groter gebied een grotere spreiding hebben. De waarde van informatie over de klanten is dus groter in het grote gebied. Aan de andere kant is het zo dat hoe meer klanten dynamisch zijn hoe meer informatie pas laattijdig beschikbaar is. Hierdoor worden in scenario's met veel dynamisme dus grotere effecten waargenomen van de verandering in grootte van het gebied.



Figuur 19: Effect van toename in oppervlakte voor verschillende graden van dynamisme (5 monteurs)

Deze grafieken zijn voor de scenario's met 5, 6, 7, of 8 monteurs zeer gelijkaardig. De grafieken van de scenario's met de andere waarden van de parameter voor het beschikbare aantal monteurs kunnen in de bijlage worden teruggevonden.

3.5. Tekortkomingen van de simulatie

De simulatie die in deze thesis gebruikt is om de resultaten van het praktijkgedeelte te bekomen, is zeker en vast geen perfecte weergave van de realiteit. Er zijn een heel aantal assumpties gemaakt in deze simulatie. De vereenvoudigingen van de realiteit die gemaakt zijn waren enerzijds nodig om de moeilijkheidsgraad van het programmeren te beperken en anderzijds laten zij ook toe om te focussen op de invloeden van bepaalde uitgekozen parameters. De verschillende assumpties zullen in de hierop volgende alinea overlopen worden. Daarna komen ook nog enkele tekortkomingen van het gebruikte algoritme aan bod.

Een van de assumpties die gemaakt is in deze simulatie is dat de monteurs vanaf 9u totdat alle klanten bezocht zijn op elk moment beschikbaar zijn. Dit wil dus zeggen dat er geen pauzes voorzien zijn, en al het werk dat de monteurs op het centrale verzamelpunt doen kan op elk moment gestopt worden. De monteurs kunnen ook nooit pech krijgen, dit is een andere mogelijke oorzaak van dynamisme die hier niet bestudeerd is. Er wordt gewerkt met een constante snelheid van de voertuigen. In de simulatie wordt er van uitgegaan dat het mogelijk is om op elk moment van de dag 60 km/uur te rijden. Mogelijke files, nog een andere oorzaak van dynamisme, worden ook niet in rekening gebracht bij deze simulatie. Ook de afstanden tot de klanten worden op een zeer simpele manier geconstrueerd. Enkel de Euclidische afstand wordt berekend, op basis hiervan wordt gekeken welke klant het dichtst in de buurt is wanneer een monteur een nieuwe klant krijgt. Om het programmeren haalbaar te houden is ook de assumptie gemaakt dat monteur 1 telkens als eerste gekozen wordt wanneer er een nieuwe klant vrijkomt op een moment dat alle monteurs beschikbaar zijn. Dit is zo geprogrammeerd omdat de focus van het algoritme op het kiezen van de juiste klant ligt. De keuze van monteur wordt extreem vereenvoudigd. De planner selecteert namelijk de eerste monteur die niet bezet is, omdat de monteurs in volgorde worden afgelopen zal dit zeer vaak monteur 1 zijn. Dit kan in sommige gevallen tot slechte keuzes van de planner omdat deze niet alle monteurs in rekening brengt op het moment dat een nieuwe klant vrijkomt. Het is wel zo dat dit bij alle verschillende scenario's steeds op dezelfde manier gebeurt. Enkel de scenario's zonder dynamische klanten ondervinden geen nadeel van deze vereenvoudigde vorm van programmeren. De klanten zorgen ook nooit voor problemen, alle informatie die zij doorgeven is steeds correct. Dit zijn de voornaamste assumpties die gemaakt zijn in deze simulatie. In de volgende alinea worden verschillende tekortkomingen van het gebruikte algoritme besproken.

Het algoritme dat in de simulatie gebruikt werd is een zeer simpel algoritme. De werking ervan werd reeds besproken tijdens de uitleg van het algoritme. Hier zal ingegaan worden op enkele gebreken van dit algoritme. Een eerste grote tekortkoming ervan is dat het geen rekening houdt met de posities van alle monteurs. Op het moment dat een monteur klaar is bij een klant en er zijn onbezochte klanten aanwezig zal deze een nieuwe klant toegewezen krijgen. De planner gaat niet kijken of er al iemand in de buurt van die klant is en ook bijna terug beschikbaar is. Een ander vlak waarop dit algoritme tekortschiet is het feit dat het niet erg flexibel is. Wanneer een nieuwe klant is toegewezen aan een

monteur kan deze niet meer aangepast worden. De bestemming van de monteur wordt zelfs niet aangepast als er terwijl de monteur onderweg is naar die klant een nieuwe klant beschikbaar wordt gemaakt die nog dichter in de buurt is dan zijn huidige bestemming. Door de route te wijzigen in sommige van die gevallen zouden er kosten bespaard kunnen worden. Een ander zwak punt van de werking van deze simulatie is dat er niet vooruit wordt gedacht. Het kan voordelig zijn om te wachten met het bezoeken van bepaalde klanten. Dit kan verschillende redenen hebben. Een andere monteur kan in de buurt zijn en deze is dan beter geplaatst om die klant te bezoeken. Of de planner kan wachten met een monteur uit te sturen als er bijvoorbeeld slechts een beschikbare klant zou zijn. Wanneer er meerdere zijn kan de monteur meer klanten in een lus bezoeken wat leidt tot een kleinere afgelegde afstand. In de simulatie wordt er hier op geen enkele manier rekening mee gehouden. Nog een tekortkoming is dat alle monteurs altijd direct worden ingezet als ze beschikbaar zijn en er is nog een onbezochte klant. Als de planner bijvoorbeeld telkens eerst heel de dag van monteur 1 probeert vol te plannen en pas wanneer deze ziet dat er een tweede monteur nodig is ook monteur 2 in te zetten, dan zou dit kunnen leiden tot extra kostenbesparingen omdat er minder afstand door de monteurs overbrugd dient te worden. Dit waren enkele tekortkomingen van het algoritme die een grote invloed hebben op het resultaat.

3.6. Linken met de realiteit

Het nut van een theoretische analyse hangt vaak sterk af van de mogelijkheid om de gevonden inzichten toe te passen in de praktijk. Om duidelijk te maken op welke manier deze studie kan bijdragen tot het oplossen van praktische problemen worden hieronder enkele voorbeelden van gevallen waarin een dergelijke simulatie raad kan brengen beschreven.

Een eerste situatie waarbij een analyse zoals deze uitgevoerd in deze thesis van pas kan komen, is wanneer een bedrijf overweegt om klanten die vroeg een aanvraag indienen korting te geven. Zoals aangetoond in de analyse stijgen de kosten bij een stijging van de late aanvragers. Via simulatie kan een bedrijf zicht krijgen op de besparingen die gerealiseerd kunnen worden wanneer meer van hun klanten op voorhand zouden bestellen. Aan de hand van de resultaten uit een dergelijke analyse kan het bedrijf dan berekenen welke korting ze aan vroege aanvragers kunnen geven. Het omgekeerde kan ook gelden. Bedrijven kunnen ook een extra kost aanrekenen aan de klanten als deze op een laat tijdstip een aanvraag indienen. Via een vergelijking van verschillende mogelijke scenario's kunnen bedrijven achterhalen welke kosten veroorzaakt worden door de laattijdigheid van bestellingen en kunnen deze dan doorrekenen aan de klanten die aan de grond liggen van deze kosten. Late bestellers moeten dan als het ware een premium betalen. De simulatie die in deze thesis gebruikt is kan dan helpen in het bepalen van de grootte van dat bedrag.

Een bijkomende situatie waarin een dergelijke analyse kan helpen met het nemen van een beslissing is het geval waarin een bedrijf er over nadenkt om een extra voertuig aan te schaffen. De extra

opbrengsten kunnen voortkomen uit de mogelijkheid om aan extra vraag te kunnen voldoen. Mits de nodige aanpassingen kan met de simulatie van deze thesis, indien de parameters gekend zijn, berekend worden hoeveel extra klanten er kunnen bezocht worden gedurende een dag indien er een bijkomend voertuig wordt aangeschaft. De huidige simulatie leent zich hier niet makkelijk toe omdat deze van een vast aantal klanten uitgaat en hierop dan analyses doet om te kijken naar de verschillende resultaten die bekomen worden met de verschillende waardes van de parameters. Er mag niet uit het oog verloren worden dat niet enkel het aantal klanten van belang is. In een dynamische omgeving zoals in deze thesis, is de snelheid van het voldoen aan de vraag van de klant vaak ook van essentieel belang. Door een extra voertuig in te schakelen kan de reactiesnelheid van het bedrijf omhoog gedreven worden wat zal leiden tot meer tevreden klanten. Dit kan dan op zijn beurt leiden tot een stijging van de vraag door de klanten. Wanneer het aantal klanten en de andere parameters constant blijven en er een extra voertuig wordt ingeschakeld is het te verwachten dat de totale afgelegde afstand door alle voertuigen samen zal stijgen. Een inschatting van deze stijging van de kosten hieraan verbonden kan tevens gemaakt worden met behulp van de simulatie. De simulatie zal immers een schatting geven van de grootte van de stijging in afgelegde afstand. Het omgekeerde kan ook. Het kan voor een bedrijf interessant zijn om een voertuig te verkopen als het ziet dat de capaciteit niet ten volle benut wordt. Via simulatie kan berekend worden aan hoeveel aanvragen van klanten het bedrijf niet meer zal kunnen voldoen. Tevens kan de vermindering in afgelegde afstand berekend worden, deze vermindering in kosten vertaalt zich in een extra besparing. Naast een vermindering van de capaciteit zal de overgebleven capaciteit efficiënter ingezet kunnen worden. Wel dient het bedrijf in dit geval rekening te houden met het feit dat de reactiesnelheid zal dalen. Een factor die in een dynamische omgeving niet onbelangrijk is.

4. Conclusies en voorstellen voor verder onderzoek

4.1. Conclusies

In deze masterproef werd een literatuurstudie uitgevoerd omtrent dynamische rittenplanningsproblemen. Daarnaast werden ook de invloeden van drie verschillende parameters op de afgelegde afstand in een dynamisch rittenplanningsprobleem onderzocht. De drie parameters bestaan uit de graad van dynamisme, het aantal beschikbare monteurs, en de grootte van het gebied waarin de klanten kunnen voorkomen. De simulatie heeft interessante resultaten opgeleverd die duidelijk maakten welke invloed elk van de parameters op de afgelegde afstand heeft. In wat volgt worden de conclusies uit de literatuurstudie en de conclusies omtrent de verschillende effecten van de drie parameters besproken.

Literatuurstudie

Dynamische rittenplanningsproblemen worden door verschillende evoluties steeds meer relevant. Hierdoor is de wetenschappelijke interesse in deze problemen toegenomen. Het belangrijkste verschil tussen statische en dynamische rittenplanningsproblemen is dat bij een dynamisch rittenplanningsprobleem niet alle informatie op voorhand beschikbaar is. Gedurende de uitvoer van de ritten moet de bijkomende informatie verwerkt worden en dienen de ritten aangepast te worden. Er kunnen drie oorzaken van dynamisme onderscheiden worden, namelijk nieuwe klantenaanvragen, reistijden, en het uitvallen van voertuigen. Het dynamische karakter maakt het noodzakelijk statische oplossingsmethoden aan te passen. De oplossing van een dynamisch rittenplanningsprobleem kan niet bestaan uit een set van ritten aangezien deze aangepast moeten worden wanneer de beschikbare informatie verandert. De output van een dynamisch rittenplanningsprobleem is daarom eerder een beleid dat beschrijft hoe de ritten moeten evolueren in functie van de input die over de tijd verandert.

Graad van dynamisme

De belangrijkste parameter die in deze thesis aan bod is gekomen is de graad van dynamisme. Het effect van veranderingen in de graad van dynamisme op de afgelegde afstand van de monteurs werd door middel van een simulatie onder de loep genomen. Hieruit kan besloten worden dat de afgelegde afstand significant toeneemt naarmate de graad van dynamisme toeneemt.

Vervolgens werd ook de invloed van de graad van dynamisme onderzocht naarmate het aantal monteurs toenam. Het aantal beschikbare monteurs heeft weinig invloed op het effect van de graad van dynamisme, behalve wanneer de monteurs werken met een hoge bezettingsgraad. Het effect van een toename van de graad van dynamisme is groter in scenario's waar de monteurs een lage bezettingsgraad hebben.

De invloed van de graad van dynamisme werd ook onderzocht naarmate de oppervlakte van het gebied toenam. Hieruit bleek dat het effect van een stijging van de graad van dynamisme sterker wordt naarmate de oppervlakte van het klantengebied groter is.

Aantal beschikbare monteurs

De analyse van het individuele effect van het aantal monteurs op de afgelegde afstand toonde aan dat een stijging van het beschikbare aantal monteurs leidt tot een significante stijging in de afgelegde afstand.

Vervolgens werd onderzocht hoe dit effect verandert naarmate de klanten meer dynamischer worden. Hoe groter de graad van dynamisme, hoe kleiner de invloed van het aantal monteurs op de afgelegde afstand. Meer zelfs, indien alle klanten dynamisch zijn, heeft de hoeveelheid beschikbare monteurs geen effect op de afgelegde afstand. Dit is zo voor alle gevallen behalve als er een scenario is waar geen overcapaciteit aanwezig is. Indien er geen overcapaciteit aanwezig is leidt een stijging van het aantal monteurs (waardoor er nu dus wel overcapaciteit aanwezig is) tot een stijging van de afgelegde afstand.

De grootte van het klantengebied

Ten slotte werd ook de derde parameter onder de loep genomen. Ook hier had de parameter bij een stijging een negatieve invloed op de efficiëntie. Een toename van de grootte van het klantengebied zorgt voor een significante stijging in de afgelegde afstand.

De invloed van de graad van dynamisme op het effect van een stijging van de oppervlakte van het gebied werd vervolgens onderzocht. Hieruit kon besloten worden dat het effect van een toename in de grootte van het klantengebied sterker wordt naarmate het aantal dynamische klanten toeneemt.

Algemeen kunnen de volgende conclusies getrokken worden. Wanneer overgegaan wordt van een statisch op een dynamisch rittenplanningsprobleem heeft dit, in termen van maatstaven zoals de afgelegde afstand, een nadelig effect op de efficiëntie van de oplossing ervan. De invloed van het dynamisch worden van een probleem is echter uitgebreider. Wanneer een probleem van statisch naar dynamisch evolueert verandert dit ook de invloed van andere parameters van het probleem op de oplossing ervan. Deze veranderingen mogen niet uit het oog verloren worden. Een verandering van een parameter van een rittenplanningsprobleem kan in een dynamische omgeving namelijk grotere gevolgen hebben dan in een statische omgeving.

4.2. Voorstellen voor verder onderzoek

Door de verschillende evoluties, zoals het toegenomen belang van just-in-time logistiek en de opmars van de tijd gerelateerde beperkingen, is er een verhoogde interesse in dynamische transportmodellen en systemen waar de gegevens tijdsafhankelijk zijn. Deze toegenomen interesse heeft er voor gezorgd dat er meer onderzoek gedaan wordt naar de dynamische tegenhanger van het statisch rittenplanningsprobleem (Larsen, 2000). In deze masterproef is getracht een bijdrage te leveren aan het onderzoek van dynamische rittenplanningsproblemen. Door de invloeden die verschillende parameters hebben op de oplossing van dergelijke problemen te bestuderen zijn er verbanden gevonden die interessant kunnen zijn voor bedrijven die te maken hebben met een klantenbestand dat dynamischer wordt. Tijdens het tot stand brengen van de thesis zijn enkele andere mogelijke interessante manieren om dynamische rittenplanningsproblemen te bestuderen gevonden. Deze worden hieronder beschreven.

Een van de merkwaardigste bevindingen in de analyse was het feit dat wanneer de monteurs het druk hebben, het algoritme in staat is efficiëntere routes te genereren. Dit komt omdat de planner, wanneer een monteur een nieuwe klant kan bedienen, dan meer klanten heeft om uit te kiezen, zoals reeds toegelicht bij de bespreking van de resultaten. Naar dit evenwicht zou verder onderzoek gedaan kunnen worden omdat er hier sprake is van een win-win situatie voor de bedrijven. Ze moeten minder investeren in capaciteit, en door deze verlaagde capaciteit kan de rittenplanning efficiënter verlopen. Er zou onderzocht kunnen worden hoe de relatie tussen de bezettingsgraad van de voertuigen en de stijging van de efficiëntie precies in een zit. Vanaf welke bezettingsgraad neemt de efficiëntie toe? In welke mate neemt de efficiëntie toe? Er zou onderzocht kunnen worden wat voor een gegeven scenario de ideale bezettingsgraad van de beschikbare voertuigen is. Een te lage bezetting levert geen efficiëntiewinsten op, een te hoge bezetting kan echter ook niet ideaal zijn. Aangezien in sommige gevallen dan bijkomende klanten geweigerd dienen te worden.

Een andere interessante mogelijkheid voor verder onderzoek is de ontwikkeling van algoritmes die net als doel hebben om de capaciteit zo efficiënt mogelijk in te zetten. Volgens een mogelijk algoritme zouden bijvoorbeeld alle klanten ingepland kunnen worden bij monteur 1. Pas wanneer het niet meer haalbaar wordt voor monteur 1 om alle klanten die dag te bezoeken wordt monteur 2 ingezet. Dit gaat zo door tot alle klanten ingepland zijn. Op deze manier worden alle monteurs die dag optimaal bezet en dit zorgt dan voor een daling van de afgelegde afstand. Er moeten in zo'n scenario wel voldoende monteurs beschikbaar zijn, tevens moet het toegelaten zijn dat de klanten relatief lang wachten, omdat er pas een tweede monteur uitrijdt wanneer de eerste niet in staat is alle klanten van die dag te bezoeken.

Een analyse waarin onderzocht wordt wat het maximum aantal klanten is dat door een gegeven set van voertuigen kan bezocht worden in een dynamische omgeving is ook interessant. Zoals tijdens de linken met de praktijk reeds aangehaald kan door een aanpassing van de in deze thesis gebruikte simulatie

onderzocht worden hoeveel klanten de monteurs in een gegeven scenario maximaal kunnen bezoeken. Op deze manier kan er dus ook gekeken worden naar hoeveel klanten een bijkomende monteur extra zou kunnen bezoeken.

Referenties

- Barceló, J., Grzybowska, H., & Pardo, S. (2007). Vehicle routing and scheduling models, simulation and city logistics. In *Dynamic Fleet Management* (pp. 163-195). Springer US.
- Beaudry, A., Laporte, G., Melo, T., & Nickel, S. (2010). Dynamic transportation of patients in hospitals. *OR spectrum*, 32(1), 77-107.
- Bent, R. W., & Van Hentenryck, P. (2004). Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers. *Operations Research*, 52(6), 977-987.
- Bertsimas, D. J., & Van Ryzin, G. (1991). A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the Euclidean plane. *Operations Research*, 39(4), 601-615.
- Bertsimas, D., Van Ryzin, G., & Bertsimas, D. J. (1989). The dynamic traveling repairman problem. In *MIT Sloan School Working Paper*.
- Branke, J., Middendorf, M., Noeth, G., & Dessouky, M. (2005). Waiting strategies for dynamic vehicle routing. *Transportation science*, 39(3), 298-312.
- Chen, H. K., Hsueh, C. F., & Chang, M. S. (2006). The real-time time-dependent vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(5), 383-408.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- De Jaegere, N., Defraeye, M., & Van Nieuwenhuysse, I. (2014). The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *FEB Research Report KBI_1415*.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Fleischmann, B., Gnutzmann, S., & Sandvoß, E. (2004). Dynamic vehicle routing based on online traffic information. *Transportation science*, 38(4), 420-433.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel computing*, 27(12), 1641-1653.
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., & Musmanno, R. (2003). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1-11.
- Haghani, A., & Yang, S. (2007). Real-time emergency response fleet deployment: Concepts, systems, simulation & case studies. In *Dynamic fleet management* (pp. 133-162). Springer US.

- Hvattum, L. M., Løkketangen, A., & Laporte, G. (2006). Solving a dynamic and stochastic vehicle routing problem with a sample scenario hedging heuristic. *Transportation Science*, 40(4), 421-438.
- Hvattum, L. M., Løkketangen, A., & Laporte, G. (2007). A branch-and-regret heuristic for stochastic and dynamic vehicle routing problems. *Networks*, 49(4), 330-340.
- Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2006). Exploiting knowledge about future demands for real-time vehicle dispatching. *Transportation Science*, 40(2), 211-225.
- Jaillet, P., & Wagner, M. R. (2008). Online vehicle routing problems: A survey. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 221-237). Springer US.
- Kok, A. L., Hans, E. W., & Schutten, J. M. J. (2012). Vehicle routing under time-dependent travel times: the impact of congestion avoidance. *Computers & Operations Research*, 39(5), 910-918.
- Li, J. Q., Mirchandani, P. B., & Borenstein, D. (2009). Real-time vehicle rerouting problems with time windows. *European Journal of Operational Research*, 194(3), 711-727.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1-14.
- Larsen, A. (2000). *The dynamic vehicle routing problem* (Doctoral dissertation, Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark).
- Larsen, A., Madsen, O. B. G. D., & Solomon, M. (2002). Partially dynamic vehicle routing-models and algorithms. *Journal of the Operational research Society*, 637-646.
- Larsen, A., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2004). The a priori dynamic traveling salesman problem with time windows. *Transportation Science*, 38(4), 459-472.
- Larsen, A., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2007). Classification of dynamic vehicle routing systems. In *Dynamic Fleet Management* (pp. 19-40). Springer US.
- Larsen, A., Madsen, O. B., & Solomon, M. M. (2008). Recent developments in dynamic vehicle routing systems. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 199-218). Springer US.
- Lund, K., Madsen, O.B.G., & Rygaard J.M. (1996). Vehicle routing problems with varying degrees of dynamism, Technical Report, IMM Institute of Mathematical Modelling.
- Mitrovic-Minic, S. and Laporte, G. (2004). Waiting strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(7):635-655.
- Mu, Q., Fu, Z., Lysgaard, J., & Eglese, R. (2011). Disruption management of the vehicle routing problem with vehicle breakdown. *Journal of the Operational Research Society*, 62(4), 742-749.

- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Pillac, V., Guéret, C., & Medaglia, A. (2011). Dynamic vehicle routing problems: state of the art and prospects. *Universidad de los Andes*, 5-6.
- Psaraftis, H. N. (1980). A dynamic programming solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem. *Transportation Science*, 14(2), 130-154.
- Psaraftis, H. N. (1988). Dynamic vehicle routing problems. *Vehicle routing: Methods and studies*, 16, 223-248.
- Psaraftis, H. N. (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61(1), 143-164.
- Pureza, V., & Laporte, G. (2008). Waiting and buffering strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(3), 165-176.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Siam.
- Yang, J., Jaillet, P., & Mahmassani, H. (2004). Real-time multivehicle truckload pickup and delivery problems. *Transportation Science*, 38(2), 135-148.

Lijst van tabellen

Tabel 1: Uitleg algoritmes	30
Tabel 2: Overzicht klanten voorbeeld 1	39
Tabel 3: Overzicht klanten voorbeeld 2	44
Tabel 4: Voorbeeld 2 minuut voor minuut	45
Tabel 5: Betrouwbaarheidsintervallen voor stijgende graad van dynamisme	51
Tabel 6: Betrouwbaarheidsintervallen voor stijgend aantal monteurs	53
Tabel 7: Betrouwbaarheidsintervallen voor toenames in klantengebied	55

Lijst van figuren

Figuur 1: Een depot met klanten.....	17
Figuur 2: Uitgestippelde ritten	17
Figuur 3: Nieuwe orders tijdens de uitvoer van de ritten	19
Figuur 4: De nieuwe orders ingepland.....	19
Figuur 5: Startsituatie van het eerste voorbeeld	40
Figuur 6: De ritten van de monteurs.....	43
Figuur 7: Beginsituatie van het tweede voorbeeld	45
Figuur 8: De nieuwe ritten van de monteurs.....	46
Figuur 9: Het effect van een stijging in graad van dynamisme op de afgelegde afstand	49
Figuur 10: Het effect van een toename in de graad van dynamisme op de standaard deviatie (met opp 900 km ² en mont 5).....	50
Figuur 11: Het effect van een toename van het aantal monteurs op de totaal afgelegde afstand (met dyn 0 en opp 900 km ²).....	52
Figuur 12: Effect van toename van het aantal chauffeurs op de standaard deviatie (dyn 0, opp 900)	53
Figuur 13: Effect van een toename in grootte van het klantengebied (met dyn 0 en mont 5).....	54
Figuur 14: Effect van toename in grootte klantengebied op standaard deviatie (dyn 0, mont 5)	54
Figuur 15: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillend aantal monteurs (opp 900 km ²)	56
Figuur 16: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillend aantal monteurs (opp 3600 km ²)	57
Figuur 17: Effect van toename in graad van dynamisme voor verschillende oppervlaktes klantengebied (5 monteurs).....	58
Figuur 18: Effect van toename in het aantal monteurs voor verschillende graden van dynamisme (opp 900 km ²)	59
Figuur 19: Effect van toename in oppervlakte voor verschillende graden van dynamisme (5 monteurs)	60

Bijlagen

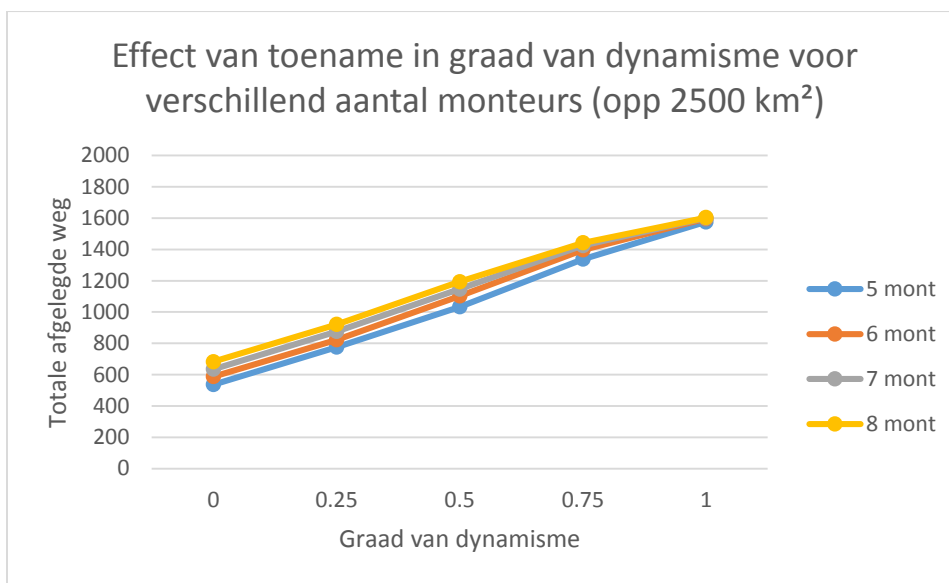
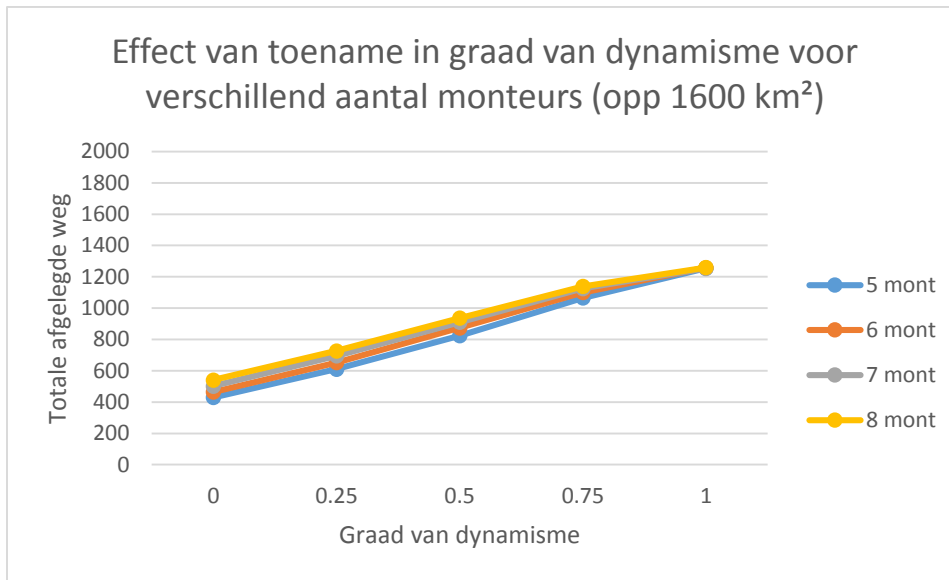
Bijlage 1: Totale afgelegde afstand (de gemiddeldes)

Totale afgelegde afstand					
		Opp: 900 km ²	Opp: 1600 km ²	Opp: 2500 km ²	Opp 3600 km ²
dyn 0	5 mont	316.2586559	429.565264	536.246777	635.5166006
	6 mont	349.5905809	464.0168874	587.3710059	698.1284266
	7 mont	378.3262305	501.8059102	634.2471125	751.3345289
	8 mont	408.9182127	541.3392124	682.6237711	811.7468902
dyn 0.25	5 mont	458.6275833	610.415128	775.0963335	901.083589
	6 mont	494.0532011	652.6795487	822.3960297	974.3141686
	7 mont	521.1557337	694.9976688	875.8361407	1042.925344
	8 mont	547.8276299	726.7283783	920.8903886	1107.545005
dyn 0.50	5 mont	634.8580084	823.5409789	1033.077674	1213.678564
	6 mont	664.0378367	874.1784128	1102.613501	1304.449931
	7 mont	686.5608534	909.350209	1146.047214	1360.394147
	8 mont	708.1219447	936.0112641	1193.476515	1410.701555
dyn 0.75	5 mont	802.3854928	1065.078861	1337.033315	1538.875732
	6 mont	824.0599286	1099.485592	1396.351637	1655.008945
	7 mont	837.5999623	1125.568916	1424.537105	1702.608918
	8 mont	848.3480491	1138.420692	1441.410677	1741.340654
dyn 1	5 mont	939.2147522	1255.293715	1575.793564	1801.857205
	6 mont	940.1868618	1258.650026	1596.13034	1911.119494
	7 mont	939.2257554	1253.962427	1599.908703	1924.303972
	8 mont	936.3960521	1258.995464	1602.846423	1920.348355

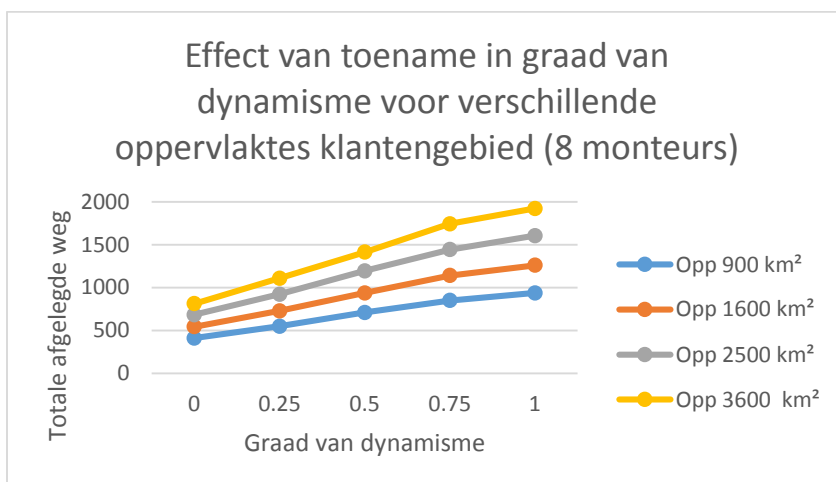
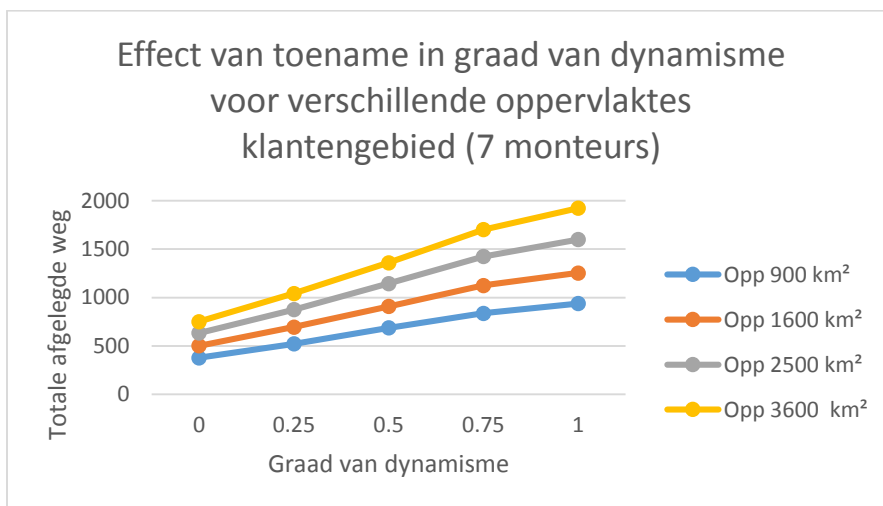
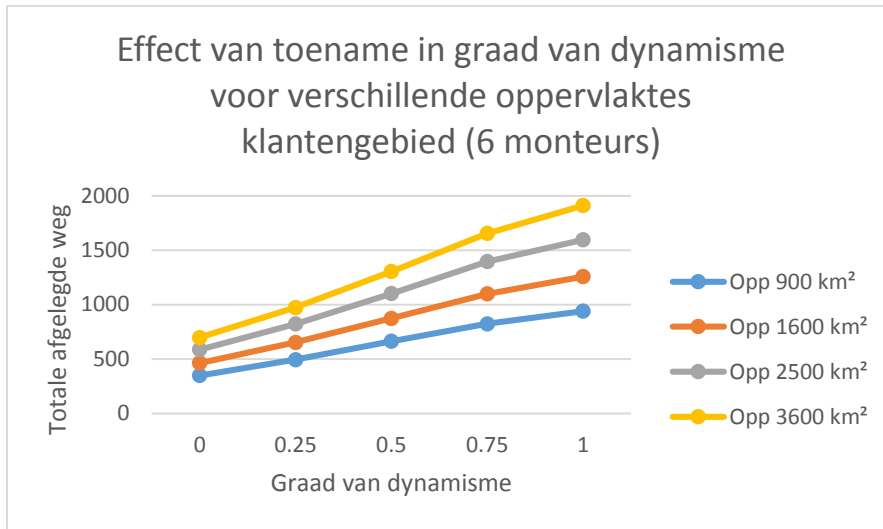
Bijlage 2: Standaard deviaties

Standaard deviatie					
		Opp: 900 km ²	Opp: 1600 km ²	Opp: 2500 km ²	Opp 3600 km ²
dyn 0	5 mont	38.62206	49.69493	65.05191	68.85284
	6 mont	38.03801	53.62654	65.02786	73.70579
	7 mont	37.88494	52.68941	67.22772	81.32624
	8 mont	38.63323	54.89052	71.18211	77.15246
dyn 0.25	5 mont	55.02022	61.43106	89.76432	113.2693
	6 mont	51.89482	64.36759	80.27918	108.9383
	7 mont	54.30198	67.01903	84.57107	109.7276
	8 mont	56.23813	70.46944	88.86195	111.8655
dyn 0.50	5 mont	64.98837	75.49151	103.556	130.2033
	6 mont	61.14622	79.58409	108.5434	135.2343
	7 mont	57.94534	82.86666	97.67371	128.1546
	8 mont	55.64889	85.3204	94.88278	140.3085
dyn 0.75	5 mont	62.38653	86.76196	126.507	136.2604
	6 mont	59.00078	85.95382	112.5533	135.549
	7 mont	58.54069	80.3581	106.6581	128.2514
	8 mont	58.27925	78.38172	101.9115	126.1732
dyn 1	5 mont	67.15758	77.18647	108.5313	121.4301
	6 mont	65.5964	75.0164	110.8153	123.2432
	7 mont	65.65425	78.21554	109.8269	126.5051
	8 mont	66.47081	76.71837	113.589	124.4969

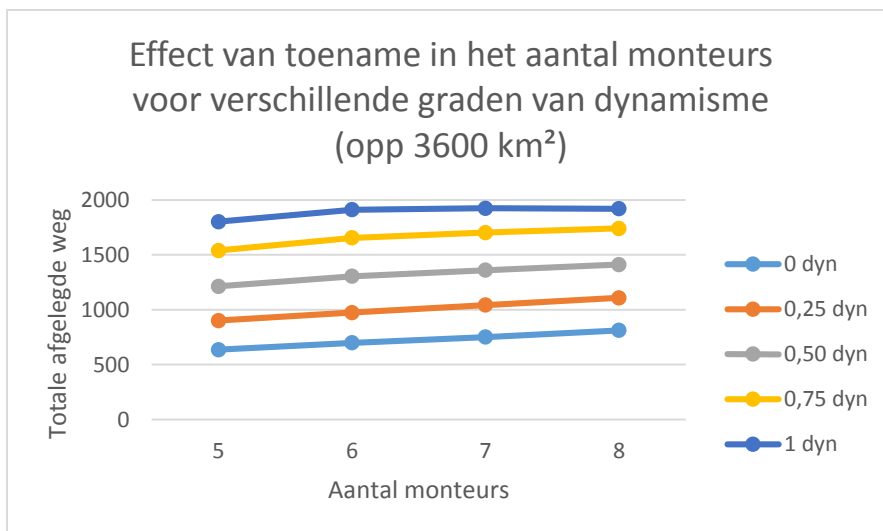
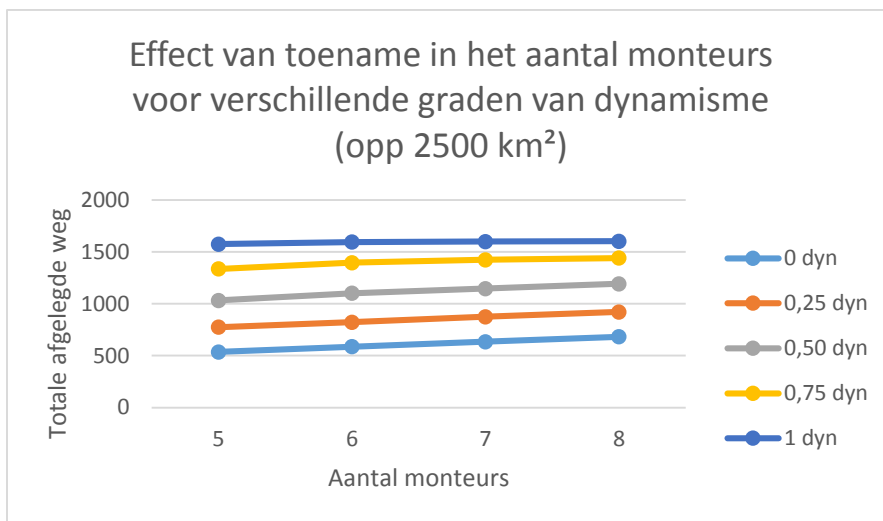
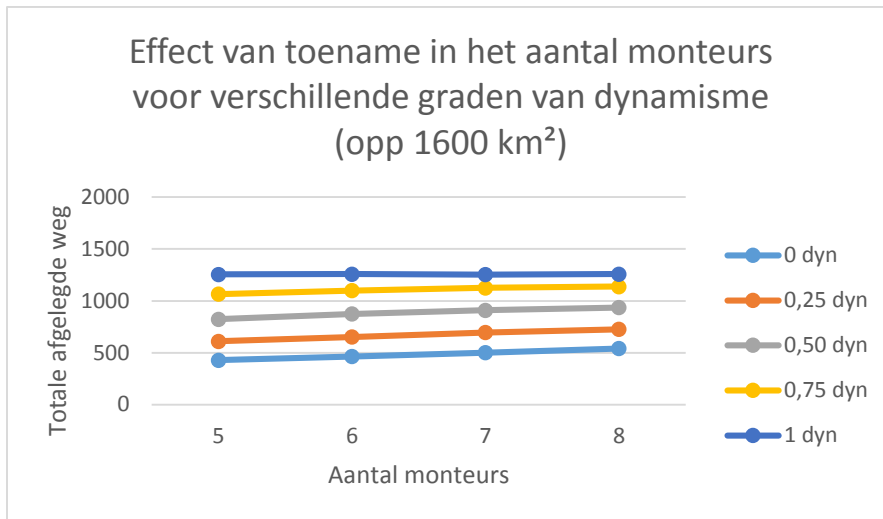
Bijlage 3: Effect van een toename in graad van dynamisme voor verschillend aantal monteurs



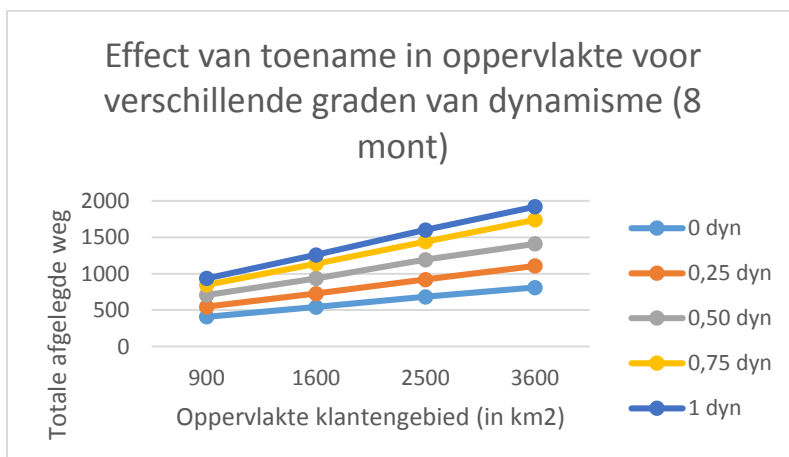
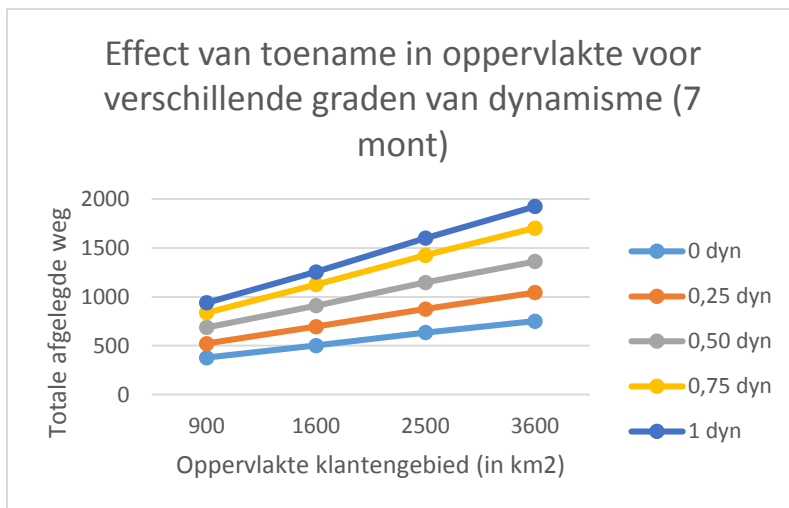
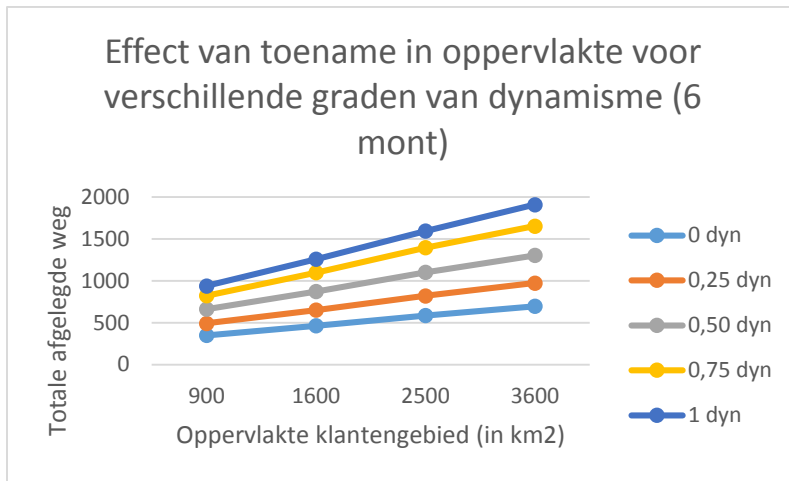
Bijlage 4: Effect van een toename in graad van dynamisme voor verschillende oppervlaktes klantengebied



Bijlage 5: Effect van toename in het aantal monteurs voor verschillende graden van dynamisme



Bijlage 6: Effect van toename in oppervlakte voor verschillende graden van dynamisme



Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Uitdagingen bij rittenplanning met dynamische klantenaanvragen

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

Jaar: **2015**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Houberechts, Thor

Datum: **24/08/2015**