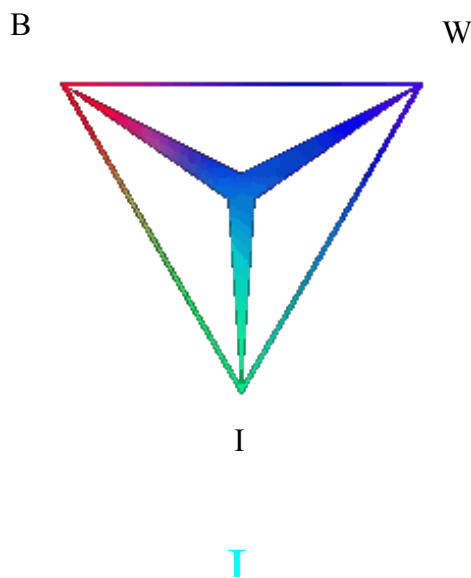


BWI-werkstuk:

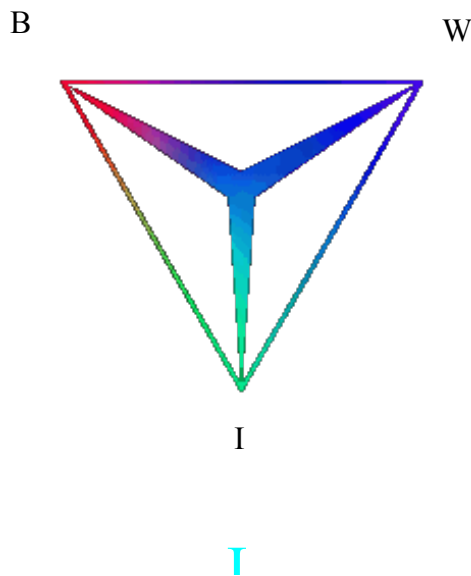
Strategieën bij routeplanning voor servicemonteurs



Auteur:
A.M. Dobber
november 2002

BWI-werkstuk:

Strategieën bij routeplanning voor servicemonteurs



Auteur:
A.M. Dobber
november 2002

Vrije Universiteit
Faculteit der Wiskunde en Informatica
Studierichting Bedrijfskunde & Informatica
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam

Voorwoord

Als één van de laatste onderdelen van de studie Bedrijfskunde & Informatica (BWI) aan de faculteit der Exacte wetenschappen van de vrije Universiteit te Amsterdam wordt het BWI-werkstuk geschreven. Dit werkstuk heeft tot doel een student op een heldere wijze een probleem te laten beschrijven, waarbij het resultaat bestemd is voor een deskundige manager. Het voor u liggende werkstuk is in het kader hiervan tot stand gekomen en handelt over de **strategieën bij routeplanning voor servicemonteurs**.

Routeplanning wordt toegepast bij ieder bedrijf, waarbij logistiek in de ruimste zin van het woord een essentieel onderdeel vormt van de dienstverlening. Routeplanning behelst het optimaal plannen van de te volgen routes, om zodoende zo min mogelijk kilometers af te leggen of de tijd, die nodig is om ieder punt te bezoeken, te minimaliseren. Ik zal me in het algemeen in dit werkstuk gaan richten op de bedrijven, die monteurs op pad sturen om apparaten te repareren.

De gegevens die in het werkstuk genoemd zijn, komen in sterke mate overeen met de realiteit. Mede door mijn ervaring op de afdeling consumentenbelangen bij Bosch-Siemens huishoud-elektro b.v. (BSH), heb ik met de inhoud van het werkstuk de werkelijkheid weten te representeren. Omdat bepaalde situaties voor ieder bedrijf verschillend zijn, is het niet mogelijk dat de resultaten en aanbevelingen uit dit werkstuk, van toepassing zijn voor alle reparatiebedrijven.

Bij de totstandkoming van dit werkstuk ben ik ondersteund door mijn begeleider Geert-Jan Franx. Een woord van dank gaat uit naar hem, omdat hij ervoor zorgde dat ik met een kritische blik naar mijn geschreven werk bleef kijken. Ook hebben de besprekingen die ik met hem voerde een uitermate positief effect gehad, omdat deze ervoor zorgde dat ik optimaler naar het vooropgestelde doel kon toewerken.

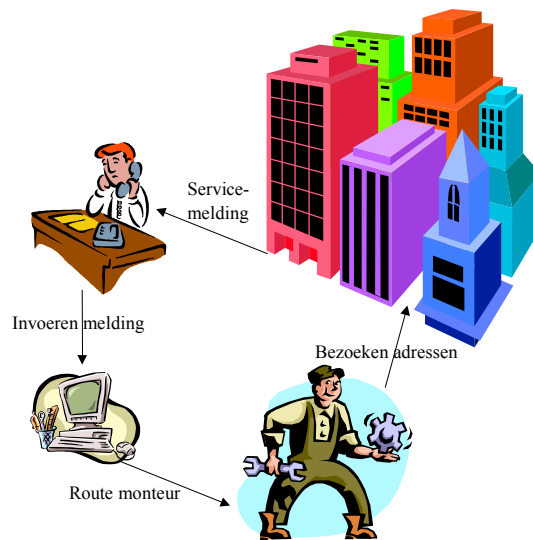
Menno Dobber

Amstelveen, november 2002

Samenvatting

Routeplanning behelst het optimaal plannen van de te volgen routes, om zodoende zo min mogelijk kilometers af te leggen of de tijd, die nodig is om ieder punt te bezoeken, te minimaliseren.

Het onderstaande figuur geeft weer hoe de procedure is die bij het onderzoek in dit werkstuk wordt gevolgd, wanneer er een servicemelding binnenkomt.



figuur 1: Procedure servicemelding bij dit onderzoek

Voordat er überhaupt iets gedaan kan worden door een servicebedrijf, zal er eerst een servicemelding binnen moeten komen. Wanneer iemand naar de afdeling aanname belt voor een servicemelding, dan wordt het telefoontje aangenomen. De afdeling aanname is bereikbaar van 9 uur 's ochtend tot 17 uur 's avonds. Door de medewerker aanname wordt het bezoek ingepland in de computer. Vervolgens berekent de computer de optimale route, die daarna wordt doorgestuurd naar de monteur. De monteur gaat dan de route langs en bezoekt de klanten.

Om de monteur voor deze situatie de beste route te laten rijden zijn verschillende strategieën uitgewerkt. Dat zijn de:

- **First in first out**
Deze strategie stuurt de monteur naar de langst wachtende klant.
- **Nearest customer**
De monteur krijgt iedere keer de klant die qua rijafstand het dichtst bij hem in de buurt is.
- **Shortest route at the beginning of the day**
Aan het begin van de dag wordt van de op dat moment wachtende klanten de kortste route uitgerekend voor de hele dag.
- **Shortest route after visiting a customer**

Na het bezoeken van een klant wordt de kortst mogelijke route voor de rest van de dag uitgerekend. Hiervoor worden alle op dat moment wachtende klanten genomen, inclusief de klanten die op die dag opgebeld hadden.

Wiskundig zijn er alleen met de eerste strategie berekeningen te doen. De andere methoden zijn wiskundig te ingewikkeld om er aan te rekenen. Om die reden zijn de verschillende strategieën gevalideerd door middel van simulaties.

Bij de twee meest geavanceerde strategieën is er aan te geven hoeveel stappen er vooruit gerekend moeten worden, oftewel hoeveel bezoeken er van te voren ingepland moeten worden. Dat wordt ook bij de laatste strategie gedaan. Bij die strategie wordt, wanneer een klant belt, de route opnieuw uitgerekend.

Een extra optie die ingevoerd is in het programma is die van de 48 uren contracten. In principe probeert de strategie bij inschakeling van die optie iedere klant binnen 48 uur te helpen. Die klanten krijgen prioriteit.

De verschillende strategieën zijn beoordeeld op basis van verschillende criteria. Dat zijn de gemiddelde afstand per dag die een monteur aflegt, gemiddelde wachtrijlengte op een dag, het gemiddeld aantal klanten dat geholpen wordt op een dag, de gemiddelde afstand die een monteur aflegt per klant, de gemiddelde tijd dat een monteur thuis is, het percentage klanten dat niet binnen 48 uur wordt geholpen en de gemiddelde wachttijd van de klant voordat de monteur bij de klant is.

De verschillende strategieën zijn ook beoordeeld op de verdeling van de rijafstanden, de wachtrijlengten en de wachttijden.

Op basis van de verschillende analyses kunnen we de conclusie trekken dat de strategie Shortest route after visiting customer, waarbij er 7 bezoeken vooruit worden gepland en waarbij er geen rekening gehouden wordt met de 48 uren klanten, de beste resultaten laat zien.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding en overzicht	7
Hoofdstuk 2 Routeplanning bij servicebedrijven	8
2.1 Wat is routeplanning?	8
2.2 Toepassing van routeplanning bij servicebedrijven in de realiteit	8
2.3 Vraagstukken routeplanning bij servicebureaus	9
2.4 Verschillen BSH en het onderzoek binnen dit werkstuk	10
2.5 Procedure bij een servicemelding bij het onderzoek	12
2.6 x uren contracten	13
2.7 Wiskundige verdelingen	13
Hoofdstuk 3 Strategieën optimale routeplanning	15
3.1 Inleiding strategieën	15
3.2 First In First Out	15
3.3 Nearest customer	15
3.4 Shortest route at day-begin	15
3.5 Shortest route after visiting customer	17
Hoofdstuk 4 Beschikbare wiskunde	19
4.1 Het verwachte aantal bezoeken per dag	19
4.2 M/G/n queue	20
4.3 Kortste route probleem	20
Hoofdstuk 5 Implementatie simulatieprogramma	21
5.1 Inleiding simulatieprogramma	21
5.2 Keuze parameters	21
5.3 Implementatie 48 uren contracten	22
5.4 Keuze programmeertaal	22
5.5 Invoer programma	23
5.6 Uitvoer programma	24
Hoofdstuk 6 Resultaten onderzoek strategieën	25
6.1 Type resultaten van simulaties	25
6.2 Evaluatie van de resultaten van de 1 ^e fase	25
6.3 Evaluatie van de resultaten van de 2 ^e fase	27
6.4 Evaluatie van de verdelingsresultaten bij de 2 ^e fase	30
6.5 Conclusie	31
Hoofdstuk 7 Mogelijkheden tot verder onderzoek	32
7.1 Verschil werkelijkheid en onderzoek	32
7.2 Meerdere monteurs	32
7.3 Beginpunt niet in midden gebied	32
7.4 Gebied geen cirkel	32
7.5 Snelheid serviceauto	33
7.6 Rechte wegen	33
7.7 Bevolkingsdichtheden	33
7.8 x aantal bezoeken per dag	33
7.9 Reparatielijd	33
7.10 Indicatielijd	34
7.11 Calamiteiten	34
7.12 Verdelingsonderzoek afhandelijd en reparatielijd	34
7.13 Verdelingsonderzoek telefoontjes	35
7.14 Monteurbezoeken ook 's nachts	35
7.15 Annuleren servicebezoek	35
Bibliografie	36
Bijlagen	37
Bijlage A De mogelijkheden van invoer	37
Bijlage B: 1e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning	40
Bijlage C: 2e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning	44

Hoofdstuk 1 Inleiding en overzicht

Op vakantie gaan is geen pretje. De meeste mensen gaan op vakantie om te luieren. Tenminste dat zeggen ze. Eenmaal op de plaats van bestemming aangekomen willen ze toch veel zien. Je kunt toch niet zeggen dat je op vakantie was naar Egypte of New York zonder dat je iets gezien hebt? Eenmaal gedoken in de diverse reisgidsen en informatieboekjes, kom je erachter dat er wel heel veel te doen is voor toeristen in het gebied waar jij je op dat moment bevindt. Op dat moment begint de ellende. Je wilt alles zien en doen in die paar dagen en je komt erachter dat je toch wel erg kort geboekt hebt. Dan maar optimaal plannen...

Er zijn een aantal plaatsen waar je zeker heen wilt. Het maakt je niet uit op welke dag van de vakantie je erheen gaat, als je er maar geweest bent. Op dat moment ga je de route plannen. Bij veel mensen gaat het daar mis. Met een biertje in de ene hand en een pen in de andere probeert men op te schrijven op welke dag men wat gaat doen. De meeste toeristen komen er dan achter dat er toch teveel leuke dingen zijn en dat de meeste plaatsen geschrapt moeten worden. Dat was eigenlijk helemaal niet nodig geweest. Wanneer men de optimale route had gevonden, dan had men wel alle plaatsen kunnen bezoeken; een kwestie van optimaal plannen. De meeste mensen komen dan weer terug in Nederland en vertellen wat ze allemaal gezien hebben. Ze vertellen er dan niet bij dat ze op die plaatsen niet echt geweest zijn, maar dat het zo stond in de vakantieboekjes.

Zo zijn er in de dagelijkse praktijk veel situaties die beter gepland hadden kunnen zijn. Tegenwoordig is het populair om op de vraag of het goed gaat, te antwoorden: 'Druk, druk en nog eens druk'. Had men echter alle werkzaamheden optimaal gepland, dan had iedereen veel meer tijd gehad om een normaal gesprek met elkaar te voeren.

Bij het onderzoek in dit werkstuk, zal er natuurlijk niet worden ingegaan op het optimaal plannen van vakantieactiviteiten. Er zijn echter tal van andere situaties, waarbij het principe van optimale routeplanning kan worden toegepast. Met name de routeplanning bij reparatiemonteurs zal onderzocht worden in dit werkstuk.

In dit werkstuk zal in hoofdstuk 2 allereerst behandeld worden wat routeplanning feitelijk is en welke vraagstukken er opkomen bij routeplanning. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 ingegaan worden op verschillende strategieën binnen routeplanning. Daarna zal de beschikbare wiskunde besproken worden, die betrekking heeft op routeplanning. Recente ontwikkelingen worden besproken in hoofdstuk 5. Om het onderzoek uit te voeren is een simulatieprogramma geschreven. Dat programma en de mogelijkheden ervan worden besproken in hoofdstuk 6. Vervolgens worden de resultaten en de conclusies & aanbevelingen behandeld. Als laatst zal er ingegaan worden op de mogelijkheden tot verder onderzoek. Bij het onderzoek is er tegen een aantal situaties aangelopen, die wellicht ook onderzocht kunnen worden. Veel van die situaties hebben betrekking op het beter benaderen van de realiteit.

De schrijver wenst de lezer veel leesplezier!

Hoofdstuk 2 Routeplanning bij servicebedrijven

2.1 Wat is routeplanning?

Routeplanning wordt toegepast bij ieder bedrijf, waarbij logistiek in de ruimste zin van het woord een essentieel onderdeel vormt van de dienstverlening. Routeplanning behelst het optimaal plannen van de te volgen routes, om zodoende zo min mogelijk kilometers af te leggen of de tijd, die nodig is om ieder punt te bezoeken, te minimaliseren.

Een voorbeeld routeplanning is de planning van de route van de postbode. Een postbode krijgt aan het begin van zijn dagdienst een aantal brieven en pakjes, die hij dient af te leveren bij het adres dat op de desbetreffende brief of pakje staat. De meeste postbodes hebben in hun hoofd een route zitten, die volgens eigen zeggen de kortste is. Met behulp van die route gaan ze de post uitsorteren, waarna ze hun route gaan lopen.

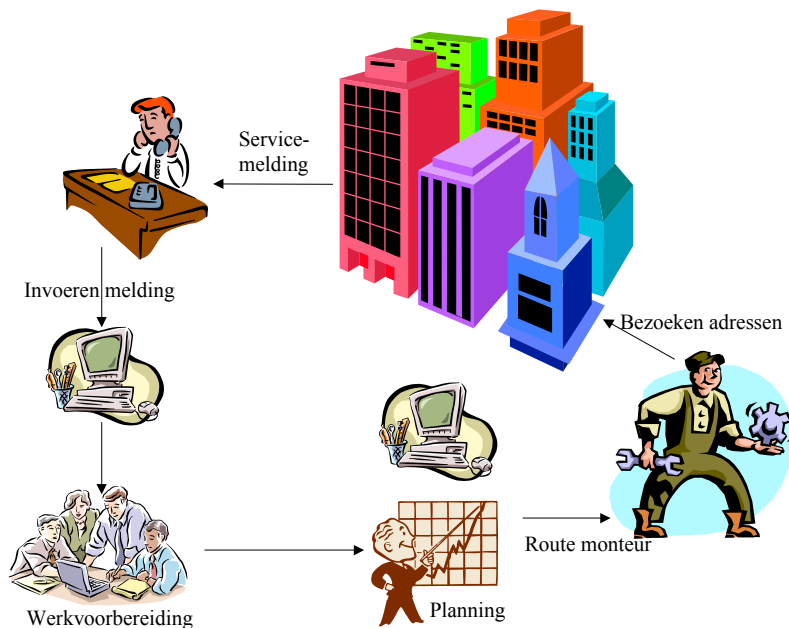
Een ander voorbeeld is de route van een heftruck in een magazijn. De medewerker van het magazijn, krijgt gedurende de dag een aantal pick-lists. Op zo'n pick-list staat precies hoeveel producten er van elk soort op de palet terecht moeten komen. De magazijnbediende weet op welke plaatsen ieder product ligt en rijdt naar die desbetreffende punten toe volgens een weg die volgens hem de kortste route is. Sommige grote opslagplaatsen in Nederland werken met pick-lists, waarop de kortste route vermeld staat.

Ik zal me in dit werkstuk gaan richten op de bedrijven, die monteurs op pad sturen om apparaten te repareren. De werkwijze is bij dit soort bedrijven als volgt. Ten eerste komen bij de serviceaanname van een servicebedrijf de telefoontjes binnen. Het is mogelijk dat aan de telefoon besloten wordt dat er een monteur langs gestuurd moet worden naar het adres van de beller. Wanneer dat wordt besloten, wordt aan de klant onder andere het adres en de servicemelding gevraagd en wordt er van de medewerker vaak verlangd dat hij/zij een datum noemt waarop de monteur langs komt. De klant hoeft vervolgens niet veel meer te doen, dan op de afgesproken datum aanwezig te zijn. Echter bij het servicebedrijf begint het proces pas.

2.2 Toepassing van routeplanning bij servicebedrijven in de realiteit

Wanneer de servicemelding en het adres genoteerd zijn, dan komt deze melding in een grote database. De afdeling werkvoorbereiding bekijkt de servicemeldingen en gaat op basis van eigen ervaring en met behulp van tekeningen van de apparaten analyseren wat de oorzaak van het defect kan zijn. Hierna wordt besloten welke onderdelen met de monteur meegestuurd worden. Als er bepaalde onderdelen besteld moeten worden, dan zal de reparatiedatum verplaatst worden. Ook wordt besloten of dit een reparatie is waar een 'technisch specialist' voor ingezet moet worden, of dat er een gemiddelde monteur naar toegestuurd kan worden. In iedere regio is er namelijk, binnen de groep van monteurs, door het bedrijf een technisch specialist gekozen. Dat is een monteur met jarenlange ervaring met reparaties van apparaten en met behoorlijke communicatieve vaardigheden. Deze monteur wordt dan ook vaak gestuurd naar klanten, waarbij al een aantal keer een monteur is langs geweest en waarbij het defect bleef terugkomen. De technisch specialist volgt naast de reguliere cursussen en opleidingen, ook nog extra cursussen en heeft daardoor meer vaardigheden en kennis.

Nadat besloten is wat voor een soort monteur naar de reparatie wordt gestuurd, komt de melding bij de afdeling planning binnen. De afdeling planning bepaalt op iedere dag de route van de monteur van de volgende werkdag. Iedere monteur krijgt 8 reparaties toegewezen, die in een bepaalde volgorde worden genoemd. Die volgorde geeft aan wat de route van de monteur is. Op het moment dat de route is vastgesteld, kan de klant eventueel informeren wat de indicatie is van het tijdstip waarop de monteur langs zal komen. Het hieronder staande figuur geeft de beschreven situatie weer.



figuur 1: Procedure servicemelding BSH

De hierboven beschreven situatie is van toepassing op servicebedrijven zoals BSH.

2.3 Vraagstukken routeplanning bij servicebureaus

Wanneer wordt gekeken naar de routeplanning binnen servicebedrijven, dan komt er een tweetal vraagstukken naar voren.

Ten eerste wil je dat de monteur zoveel mogelijk klanten bezoekt op een dag, binnen zijn werktijd. Echter van te voren is niet bekend hoe lang de monteur gaat doen over iedere reparatie. Zo kan het zijn dat op de ene dag de monteur acht klanten bezocht heeft om drie uur en dat een dag later de monteur de achtste klant pas bezoekt om zeven uur 's avonds.

Bij BSH heeft men ervoor gekozen om op iedere dag acht bezoeken in te plannen voor de monteur en dat het afhankelijk is van de bezoektijd, hoe laat de monteur thuis is. Het kwam dan ook wel eens voor dat een monteur na negen uur 's avonds pas thuis was. Wanneer de monteur echter al voor drie uur 's middags de laatste klant heeft bezocht, dan dient hij de afdeling planning te bellen, om nog een bezoek toegewezen te krijgen.

Ten tweede is er het vraagstuk van het voorruitplannen. Om tot een optimale route te komen moet er bij het invoeren van de serviceaanvraag al een calculatie worden gedaan. Op basis van die calculatie wordt er bepaald op welke dag de monteur het best langs kan komen om de reistijd te minimaliseren van de totale route. Echter wanneer er vooruit wordt gepland, dan kan het zijn dat er in de tijd tussen de servicemelding en het bezoeken van die desbetreffende klant, een andere servicemelding binnenkomt die volgens de optimale route ertussen zou moeten. Wanneer de desbetreffende dag al vol gepland is, dan zou er dus een andere afspraak verplaatst moeten worden, hetgeen wederom de nodige administratie en kosten met zich meebrengt. In de praktijk zal dat om deze reden niet uitvoerbaar zijn. Wel zou er gedacht kunnen worden aan een wachttijd voor de klant; de klant geeft zijn dagen op dat hij niet kan en dan krijgt de klant na een aantal dagen te horen op welke dag de monteur langskomt. Bij het servicebureau hebben ze dan meer mogelijkheden om de optimale route te benaderen. De vraag is echter hoe de klant het gaat ervaren dat hij al moet wachten voordat hij de bezoekdatum krijgt. Wanneer een klant echter de garantie heeft dat hij binnen afdoende tijd bezocht wordt, dan zal de klant daar weinig moeite mee hebben.

Bij BSH plannen ze de servicemeldingen in op de eerstvolgende dag, waarop een monteur uit dat gebied nog niet vol gepland is. De klant kan ook een andere dag opgeven als dag waarop de monteur langs kan komen. Zoals in de paragraaf hiervoor reeds is beschreven, berekent de afdeling Planning iedere dag de kortste route voor de eerst volgende werkdag. Er wordt dus geen rekening gehouden met klanten die van dag zouden kunnen wisselen om zo een optimale route te creëren. De geschatte tijd kan de klant opvragen, nadat de optimale route is berekend. Dit komt er in de praktijk op neer, dat de klant kan informeren naar het geschatte tijdstip om 16:00 uur op de werkdag ervoor.

2.4 Verschillen BSH en het onderzoek binnen dit werkstuk

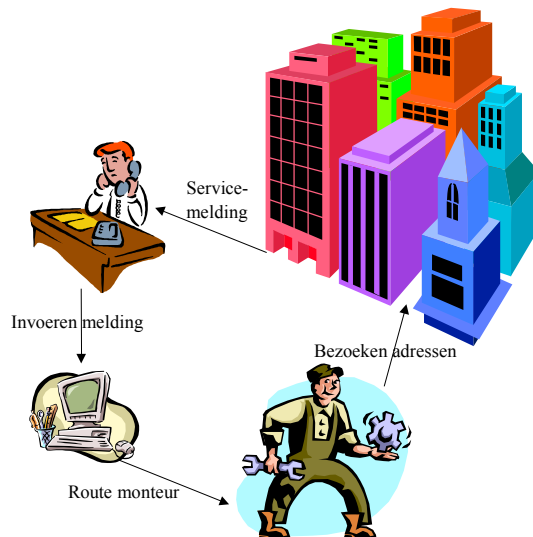
De manier waarop BSH de bezoeken inplant, is een manier die in de praktijk zeer goed implementeerbaar is. De klanten zijn tevreden dat ze meteen bij het telefoongesprek de datum krijgen te horen waarop de monteur langs gaat komen. Veel klanten vinden het ook niet erg dat ze pas aan het eind van de werkdag ervoor krijgen te horen hoe laat de monteur ongeveer langs gaat komen. Hierdoor is er voor BSH de mogelijkheid om de bezoeken op een redelijk efficiënte manier in te plannen. Echter wanneer men ook geen rekening hoeft te houden met het vasthouden van een datum voor een klant, dan kan de route efficiënter worden, maar de verbetering in efficiëntie blijft beperkt.

Er is daarom gekozen om de situatie van BSH niet te onderzoeken in dit werkstuk. Door de vele restricties die bij BSH op de route worden gelegd, zoals de vaststaande dagen, is er weinig verbetering te verwachten door het invoeren van nieuwe strategieën. Het is dan ook interessanter om algemenere situaties met weinig restricties te onderzoeken omdat daar grotere verschillen tussen verschillende strategieën optreden. Een andere reden is dat de situatie die we in dit onderzoek onderzoeken toepasbaar is voor een bredere klasse van bedrijven. De situatie voor BSH is vrij specifiek en niet vergelijkbaar met andere reparatiebedrijven. De resultaten van het algemenere onderzoek zijn nu ook toe te passen op verwarmingsreparatie bedrijven en bijvoorbeeld Douwe Egberts, met de koffieapparaten monteurs.

In dit werkstuk zal ik verschillende strategieën van routeplanning gaan onderzoeken. De klant krijgt bij al deze strategieën helaas niet tijdens het telefoongesprek te horen op welke datum de monteur de klant gaat bezoeken. Daar is bewust voor gekozen. Aan de ene kant omdat, zoals hierboven beschreven is, de route dan efficiënter kan worden bepaald. Aan de andere kant is dat gedaan om de monteur niet op een te laat of te vroeg tijdstip naar huis hoeven te sturen. De tijdsduur van een monteurbezoek kan erg verschillen. Bij een vast aantal bezoeken per dag, kan het zijn dat de monteur de ene dag veel eerder naar huis gaat dan de andere dag. In dit werkstuk is ervoor gekozen om de monteur naar huis te sturen, wanneer hij later dan 17:00 uur weggaat bij een klant. De volgende dag mag de monteur weer de volgende klant bezoeken. Hierdoor maken we de kans kleiner dat de monteur vaak tot 's avonds laat aan het werk is of dat hij veel te vroeg klaar is met werken. Voor de monteur is dit een groot voordeel, omdat het niet meer geheel voor zijn eigen risico is, hoe laat hij naar huis gaat. Ook zal de monteur zich niet gehaast voelen en zal zich meer gaan richten op de kwaliteit van de reparatie. Een nadeel is dat klant niet ruim van te voren weet wat de bezoekdatum van de monteur is. Voor klanten die aan het eind van de dag voorlopig gepland waren, kan het zijn dat die naar de volgende ochtend verschoven worden. Als die voorlopige datum aan de klant was meegedeeld dan is dat een ongewenste situatie zijn, omdat zij vaak een dag of een dagdeel vrij nemen om de monteur te ontvangen. Toch zijn de klanten vaak flexibel, omdat ze vaak iemand uit de buurt kunnen laten waarnemen of omdat ze vlak bij het werk wonen. Zo zijn er meerdere strategieën waarop de routeplanning kan worden uitgevoerd. Bij al deze strategieën is het belangrijk af te vragen wat de voor- en nadelen zijn voor zowel het personeel als de klanten. In het hoofdstuk 'Mogelijkheden tot verder onderzoek' is hierover meer informatie te vinden.

2.5 Procedure bij een servicemelding bij het onderzoek

Het onderstaande figuur geeft weer hoe de procedure is die bij het onderzoek in dit werkstuk wordt gevolgd, wanneer er een servicemelding binnenkomt.



figuur 2: Procedure servicemelding bij dit onderzoek

Voordat er überhaupt iets gedaan kan worden door een servicebedrijf, zal er eerst een servicemelding binnen moeten komen. Wanneer iemand naar de afdeling aanname belt voor een servicemelding, dan wordt het telefoontje aangenomen. De afdeling aanname is bereikbaar van 9 uur 's ochtend tot 17 uur 's avonds. Door de medewerker aanname wordt het bezoek ingepland in de computer. De klant krijgt op dat moment nog niet de definitieve datum en tijdstip te horen, wanneer de monteur langs gaat komen. Er kan wel een indicatie gegeven worden over het aantal dagen of uren dat de klant ongeveer dient te wachten.

Nadat de melding ingevoerd is, dan wordt de melding door het routeplanning programma ingepland. De monteur werkt van 9 uur 's ochtends totdat hij een bepaalde klant na 17 uur heeft afgehandeld. Dat betekent dus dat de werkdag van de monteur erop zit, wanneer hij na 17 uur klaar is met een klant. Als hij echter voor 17 uur klaar is met een bepaalde klant, dan dient hij weer een nieuwe klant te bezoeken. De monteur krijgt na het bezoeken van een klant, de gegevens van de volgende klant, die hij dient te bezoeken.

Eenmaal bij de klant aangekomen gaat de monteur de reparatie uitvoeren. Na een bepaalde tijd is de monteur klaar en gaat hij de reparatie 'afhandelen'. De monteur ruimt dan alles op, stelt de rekening op en int het geld bij de klant door middel van een contante betaling of door de ondertekening van een eenmalige incasso. Ook krijgt de monteur in de afhandeltijd via een systeem te horen wat het volgende te bezoeken adres is. De reparatietijd en de afhandeltijd vormen samen de totale reparatietijd.

2.6 x uurs contracten

Jarenlang hebben bedrijven in de servicemarkt de nadruk gelegd op het groeien in hun markt. De nadruk lag erop om steeds meer klanten te winnen. Dat is sommige bedrijven erg goed gelukt en het ging soms ten koste van de kwaliteit van de service. Omdat deze bedrijven nu een groot klantengebied hebben en omdat het groeipotentieel is afgenomen, zijn ze zich meer gaan richten op het behouden van hun huidige klanten. Klanten zijn door de toenemende concurrentie steeds meer eisen gaan stellen, omdat ze constateerden dat hun positie beter was geworden.

Een van die eisen is een snelle service. Klanten willen het liefst meteen geholpen worden, zodra zich een probleem voordoet. Bij de afdeling consumentenbelangen van BSH waar ik gewerkt heb, kreeg je bijvoorbeeld klanten aan de lijn, die zeiden dat ze gaarne met spoed behandeld zouden moeten worden, omdat *hun* apparaat het niet meer deed. Zij vergeten dan even dat iedere klant die belt naar de BSH service, belt omdat ze een defect apparaat hebben.

Om snellere service te bieden hebben bedrijven de volgende constructie bedacht. In de loop der jaren zijn de x uurs contracten ontwikkeld. Deze contracten geven aan dat de klant binnen x uren geholpen dient te worden. Bij de verkoop van een apparaat wordt dit ook als verkoopargument genoemd. Ook zal een klant met een defect apparaat, die snel geholpen wordt, erna wederom een apparaat van dat merk kopen.

Deze toepassing zien we vaak terug bij bedrijven, die ook bedrijven als klant hebben. Deze categorie klanten heeft vaak meer geld over voor service, maar wil dan ook snellere en betere service ontvangen. Bovendien zijn deze klanten vaak veertig uur per week aanwezig om de monteur op te vangen. Deze groep klanten hoeft dan ook niet van te voren te weten, wanneer de monteur precies langs komt, als het maar snel gebeurt.

2.7 Wiskundige verdelingen

De hieronder genoemde verdelingen worden gebruikt om de realiteit te simuleren. Er is vooraf geen onderzoek geweest om aan te tonen dat die verdelingen inderdaad de werkelijkheid benaderen. Hetgeen in deze paragraaf genoemd is berust dus op aannames.

De telefoontjes van de servicemeldingen komen van 9 uur 's ochtends tot 17 uur 's avonds binnen. We veronderstellen dat er op ieder dagdeel gemiddeld evenveel telefoontjes binnenkomen. Oftewel, als voorbeeld, dat de kans dat er 5 telefoontjes binnenkomen tussen 13 uur en 14 uur even groot is, als de kans dat er 5 binnenkomen tussen 16 en 17 uur. We veronderstellen tevens dat de tijd tussen twee telefoontjes exponentieel verdeeld is met een bepaalde parameter λ . Dat is een zeer realistische aanname. Zelfs wanneer de telefoontjes volgens een homogene verdeling verspreid zijn over een vast tijdsinterval, dan is de tijd tussen twee telefoontjes exponentieel verdeeld.

De coördinaten van het adres van de servicemelding is op de volgende manier verdeeld. We gaan er vanuit dat het startpunt en eindpunt van de dag van de monteur precies in het midden van het servicegebied is. Het servicegebied ligt dus als een cirkel om het beginpunt van de monteur. De grootte van het gebied is afhankelijk van één parameter en dat is de straal: R .

We gaan er vanuit dat de snelheid, waarmee de monteur rijdt om bij de plaats van bestemming te komen, constant is. We gaan dus niet uit van stremmingen enz. Deze snelheid is bepaald door een constante: S . Ook gaan we er vanuit dat de monteur via een rechte weg naar de plaats van bestemming gaat. Tussen twee willekeurige reparatiepunten loopt een rechte weg. We gaan dus uit van een optimale infrastructuur.

Vervolgens, wanneer de monteur op de plaats van bestemming komt, is de monteur een bepaalde tijd bezig met de reparatie. We veronderstellen dat de reparatietijd exponentieel verdeeld is met een bepaalde parameter μ . We hebben voor de exponentiële verdeling gekozen omdat die naar onze inzien de verdeling van de reparatietijd goed representeert. Kleine reparaties, als een reset of een aansluitfout, komen relatief vaak voor. De kans op een langer durende reparatie neemt exponentieel af.

Na de reparatie ‘handelt’ de monteur de reparatie af. De monteur ruimt dan alles op, stelt de rekening op en int het geld bij de klant door middel van een contante betaling of door de ondertekening van een eenmalige incasso. Ook krijgt de monteur in de afhandeltijd via een systeem te horen wat het volgende te bezoeken adres is. We gaan er vanuit dat de afhandeltijd homogeen verdeeld is tussen de parameters δ_{\min} en δ_{\max} .

Hoofdstuk 3 Strategieën optimale routeplanning

3.1 Inleiding strategieën

Uitgaande van de in hoofdstuk 2 genoemde voorwaarden zijn er een viertal strategieën opgesteld. Deze strategieën zijn te beoordelen op mate van doordachtheid. We proberen ook te achterhalen, hoe geavanceerd een strategie moet zijn om tot een optimaal resultaat te komen. We gaan onderzoeken of een zeer geavanceerde strategie daadwerkelijk beter is dan een minder geavanceerde strategie.

3.2 First In First Out

Deze strategie kunnen we aanmerken als de strategie die het minst geavanceerd is. Doch zijn er op het eerste gezicht een aantal voordelen aan deze strategie. Bij deze strategie worden de serviceaanvragen in een wachtrij gezet op volgorde van aanmelding. De servicemonteur gaat iedere keer naar de klant die het langst aan het wachten is op een bezoek. Een voordeel is, dat iedere klant op zijn beurt wordt geholpen. Het zal niet zo zijn dat de ene klant 20 uur staat te wachten op de monteur en de klant erna 40 uur. Een nadeel is de efficiëntheid van de route van de monteur. Het moge duidelijk zijn dat wanneer iemand uit het oosten uit het gebied belt, vervolgens iemand uit het westen en daarna weer iemand uit het oosten, dat de monteur beter de twee klanten uit het oosten eerst kan bezoeken en vervolgens de klant uit het westen. Bij de FIFO strategie zal de monteur van oost naar west moeten rijden en vervolgens weer terug.

3.3 Nearest customer

Iets geavanceerder dan de strategie FIFO, is de strategie van 'Nearest customer'. Bij deze strategie berekent het routeplanning programma welke klant uit de wachtrij het dichtst bijzijnd is. De monteur vertrekt 's morgens naar de klant die het dichtst bij het vertrekpunt woont, vervolgens rijdt hij naar de klant die daar weer het dichtst in de buurt woont en zo rijdt de monteur zijn route. Een voordeel is dat de monteur een veel efficiëntere route rijdt, dan bij de FIFO strategie. Een nadeel is echter dat klanten die aan de rand van het reparatiegebied wonen, erg lang moeten wachten, voordat de monteur langskomt. Ook hoeft het 'bezoeken van de dichtst bijzijnde klant', niet per definitie de meest efficiënte route op te leveren.

3.4 Shortest route at day-begin

Om met het laatst genoemde nadeel van de 'Nearest customer' strategie rekening te houden is de strategie 'Shortest route at day-begin' bedacht. Aan het begin van de dag wordt van de wachtende klanten een route samengesteld, die over de gehele dag genomen de kortste is. Bij die bepaling zullen alle klanten uit de wachtrij betrokken worden. Wanneer de monteur alle x klanten uit de vooraf berekende route bezocht heeft en het nog geen 17:00 uur is, dan zal de strategie verder werken volgens strategie 'Nearest customer', totdat de monteur naar huis mag, omdat het later dan 17:00 uur is.

Voorbeeld toepassing Shortest route at day-begin:

Op een willekeurige dag om 9 uur 's ochtends zitten er 4 klanten in de wachtrij. We werken nu met de strategie die 3 stappen (of bezoeken) van te voren berekent. Van alle klanten is bekend waar ze wonen. Het programma komt met de volgende route: 3,4,1. De monteur zal eerst naar klant 3 gaan, vervolgens zal hij klant 4 en daarna klant 1 bezoeken. Mocht hij voor 17:00 uur 's middags klaar zijn met klant 1, dan zal hij de op dat moment dichtstbijzijnde klant uit de wachtrij bezoeken. Daar zit klant 2 in en ook de klanten die op de desbetreffende dag gebeld hebben.

Het voordeel van deze strategie is, dat de monteur iedere dag de kortst mogelijke route rijdt, die aan het begin van de dag samen te stellen is. Een nadeel is wederom dat er klanten kunnen zijn, die aan de rand van het gebied wonen, die niet zo gauw bezocht worden. Het tweede nadeel is dat het kan zijn dat de monteur een route krijgt, die optimaal is voor x bezoeken op een dag. Echter wanneer de monteur lang doet over zijn eerste bezoeken, dan kan het zijn dat hij niet x , maar $x-1$ klanten bezoekt. Het is dan bovendien mogelijk dat er in het geval van $x-1$ klanten een geheel andere route efficiënter was. Het laatste nadeel is dat er niet geanticipeerd wordt op telefoontjes die tussentijds op een dag binnenkomen. Het kan zijn dat een klant bezocht wordt op een bepaalde dag en dat op diezelfde dag zijn buurman belt voor een servicebezoek, maar pas een aantal dagen bezocht wordt. Het moge duidelijk zijn dat er dan een betere route te vinden is.

Om op het laatst genoemde nadeel in te springen, gaan we binnen deze strategie onderzoeken hoever we van te voren dienen te plannen aan het begin van de dag. Aan het begin van iedere dag berekenen we een route met een vooraf opgegeven aantal klanten: x . Het is ook belangrijk om het verwachte aantal bezoeken per dag te berekenen, deze berekening staat in hoofdstuk 4 beschreven. Voor de situatie, dat het aantal in te plannen bezoeken aan het begin van de dag kleiner is dan het verwachte aantal bezoeken op die dag, wordt er de volgende berekening gedaan. Er wordt gezocht naar de kortste route vanaf het beginpunt, naar een aantal klanten, waarbij niet wordt uitgegaan dat de monteur erna weer naar het beginpunt dient te rijden.

Wiskundig gezien is de situatie als volgt:

$$E(\# \text{ in te plannen bezoeken}) = \mathbf{n} < E(\# \text{ bezoeken op dag}):$$

\mathbf{n} is het aantal klanten dat aan het begin van de dag wordt ingepland

$\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ zijn de x coördinaten van de klanten 1 tot en met n

$\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n$ zijn de y coördinaten van de klanten 1 tot en met n

(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) is de verzameling van de coördinaten van klanten die in de wachtrij staan

Dan minimaliseren we de volgende vergelijking:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2, \quad (x_i, y_i) \in (\mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

waarbij $x_0 = 0$ en $y_0 = 0$.

Wanneer het aantal in te plannen bezoeken aan het begin van de dag gelijk is aan het verwachte aantal bezoeken per dag, dan gaat men er wel vanuit dat de monteur aan het eind ook nog terug dient te rijden.

Wiskundig gezien is de situatie als volgt:

$$E(\# \text{ in te plannen bezoeken}) = \mathbf{n} = E(\# \text{ bezoeken op dag}):$$

\mathbf{n} is het aantal klanten dat aan het begin van de dag wordt ingepland

$\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ zijn de x coördinaten van de klanten 1 tot en met n

$\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n$ zijn de y coördinaten van de klanten 1 tot en met n

(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) is de verzameling van de coördinaten van klanten die in de wachtrij staan

Dan minimaliseren we de volgende vergelijking:

$$\sum_{i=1}^{n+1} (x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2, \quad (x_i, y_i) \in (\mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

waarbij $\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_{n+1} = 0$ en $\mathbf{y}_0, \mathbf{y}_{n+1} = 0$.

3.5 Shortest route after visiting customer

Om het nadeel, dat er te weinig wordt geanticipeerd op telefoontjes tijdens een dag, ongedaan te maken, is de strategie ‘Shortest route after visiting customer’ bedacht. Deze strategie berekent na het bezoeken van een klant iedere keer de gunstigste route voor de monteur voor het verdere verloop van de dag. Ook bij deze strategie hebben we te maken met het feit, dat we niet van tevoren weten hoeveel klanten een monteur zal gaan bezoeken op een dag.

De berekening van die kortste route zal op precies dezelfde manier gaan als bij de strategie ‘Shortest route at day-begin’, echter nu zal de kortste route na ieder bezoek worden berekend. Nadat een monteur een klant bezocht heeft, zullen alle wachtende klanten uit de queue plus de zojuist binnengekomen klanten in de berekening van de optimale route meegenomen worden. Ook bij deze strategie gaan we onderzoeken hoeveel toekomstige bezoeken er in de optimale route gepland moeten worden. Een nieuw punt is dat er bij de berekening rekening gehouden wordt met het nog verwachte aantal te bezoeken klanten op die dag. Wanneer het nog verwachte aantal te bezoeken klanten kleiner is dan het aantal klanten dat vooruit berekend dient te worden, dan wordt er bij de berekening van de route geen rekening gehouden met het feit dat de monteur aan het eind van de dag weer terugrijdt naar het eindpunt. Wanneer de verwachting van het aantal nog te bezoeken klanten gelijk is aan het aantal klanten dat vooruit berekend wordt, dan wordt er wel rekening gehouden met het terugrijden van de monteur. Ook wiskundig ziet het er ongeveer hetzelfde uit als bij de vorige strategie, met het verschil dat we niet te maken hebben met het verwachte aantal bezoeken op een dag, maar met het verwachte aantal *nog* te bezoeken klanten op die dag.

Het handige van deze methode is dat de verwachting van het nog te bezoeken klanten na ieder bezoek wordt aangepast. Wanneer een reparatie bij een klant langer duurde dan verwacht, dan wordt de verwachting van het aantal nog te bezoeken klanten na het bezoek van die klant naar beneden bijgesteld. Ook wordt die verwachting naar boven bijgesteld wanneer een reparatie bij een klant korter dan verwacht duurde.

Voortdurend wisselt bij deze strategie de route van de monteur. In principe kan de route na ieder bezoek veranderd worden, wanneer er bijvoorbeeld een klant opbelt die beter in de route past. Dat is dan ook een nadeel van deze strategie. De klanten kunnen nergens op rekenen. Het kan zijn dat aan het begin van de dag wordt besloten dat klant 14 als vierde geholpen gaat worden op de desbetreffende dag. Echter, na 2 bezoeken belt er een andere klant op die ervoor zorgt dat de optimale route nu niet meer langs klant 14 gaat. Het kan dan zijn dat die klant pas dagen erna wordt bezocht, omdat er een tijdje geen optimale route langs klant 14 gaat.

Toch vinden we deze strategie interessant om te onderzoeken omdat deze strategie richting de optimale strategie gaat. Wanneer er minder restricties op de route zijn, dan zal de route beter worden.

Hoofdstuk 4 Beschikbare wiskunde

4.1 Het verwachte aantal bezoeken per dag

Voordat we het verwachte aantal bezoeken per dag gaan berekenen, berekenen we eerst de verwachte tijd die de monteur kwijt is aan een machine.

Wiskundig gezien geldt het volgende:

$$E(\text{tijd per klant}) = E(\text{rijtijd}) + E(\text{reparatietijd}) + E(\text{afhandeltijd})$$

Met behulp van de strategieën uit hoofdstuk 3, proberen we de verwachting van de rijtijd te minimaliseren, door een zo optimaal mogelijke route te kiezen voor de monteur. We gaan er vanuit, dat we geen invloed hebben op de verwachting van de reparatietijd en de verwachting van de afhandeltijd, als we invloed uitoefenen op de route.

We weten dat het volgende geldt:

$$E(\text{reparatietijd}) = \frac{1}{\mu}$$

$$E(\text{afhandeltijd}) = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2}$$

We kunnen nu voor strategie 1 (FIFO), de verwachte rijtijd berekenen. Dat doen we met behulp van de verwachte reisafstand.

$$E(\text{reisafstand}) = \frac{\int_{-c}^{+c} \int_{-c}^{+c} \int_{-c}^{+c} \int_{-c}^{+c} \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} dx_1 dx_2 dy_1 dy_2}{\pi^2 c^4} \quad \begin{array}{l} \text{voor } (x_1 + x_2)^2 \leq c \\ \text{en } (y_1 + y_2)^2 \leq c \end{array}$$

Waarbij geldt:

c = straal van het servicegebied

En voor de verwachte rijtijd geldt het volgende:

$$E(\text{rijtijd}) = E(\text{reisafstand}) / E(\text{gemiddelde snelheid serviceauto}) = E(\text{reisafstand})/S$$

Omdat het niet gemakkelijk is om de hierboven staande integraal uit te rekenen, doen we voor het bepalen van de verwachte rijtijd een korte simulatie, waarna we het gemiddeld aantal bezoeken per dag kunnen schatten.

Bij de strategieën uit paragraaf 3.3 tot en met 3.5 is het niet mogelijk een integraal op te stellen, omdat de verwachting van de rijafstand afhankelijk is van de hoeveelheid mensen in de queue. Wanneer er meer mensen in de queue zitten, dan heeft de strategie de keuze uit meerdere adressen, waardoor de te berijden route efficiënter is. Hierdoor neemt de verwachte rijafstand af.

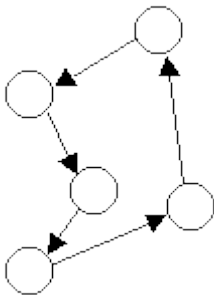
4.2 M/G/n queue

Wanneer we strategie 1 (FIFO) bekijken, dan kunnen we vaststellen, dat de telefoontjes binnenkomen volgens een Poisson proces. De servicemeldingen worden afgehandeld volgens een ander proces, waar niet direct een bepaalde verdeling aan te koppelen is. We kunnen wel melden dat de verdeling van G een combinatie is van de verdelingen van de rijtijd, de afhandeltijd en de reparatietijd. Vervolgens constateren we dat er n monteurs in dienst kunnen zijn, die de servicemeldingen afhandelen. Bij strategie 1 hebben we dus te maken met een M/G/n queue. We zien echter dat de verdeling van G niet gemakkelijk te bepalen is, omdat we voor het bepalen van de reisafstand een ingewikkelde integraal moeten uitrekenen.

Bij strategie 2 tot en met 4, kunnen we niet direct zeggen dat we te maken hebben met een M/G/n queue, omdat bij die strategieën de verdeling van G verandert naar mate er meer of minder servicemeldingen in de queue zitten.

4.3 Kortste route probleem

Bij strategie 3 en 4 hebben we te maken met het kortste route probleem. Er zijn verschillende manieren om de kortste route te berekenen. In het hieronder staande figuur 2 kan men zien wat de kortste route is door al de vijf punten. Bij vijf punten is het nog makkelijk te zien of te berekenen, maar naarmate er meer punten in de route zijn, wordt de berekening ingewikkelder.



figuur 3: Kortste route berekenen

Allereerst is er het algoritme van Prim en het algoritme van Dijkstra om het kortste paden probleem op te lossen¹. Met behulp van deze algoritmes kunnen we met de computer het kortste pad berekenen. Het kan echter ook met behulp van recursie. Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van deze laatste methode. Daar is voor gekozen, omdat die methode het gemakkelijkst te implementeren is in een computerprogramma².

¹ Zie: Bibliografie

² Zie: Bibliografie

Hoofdstuk 5 Implementatie simulatieprogramma

5.1 Inleiding simulatieprogramma

We zagen in hoofdstuk 4 dat de situatie bij strategie 1 (FIFO) te benaderen is met een M/G/n queue. Echter omdat de verdeling van G , zoals we zagen bij 4.2, niet gemakkelijk te bepalen is gaan we de situatie simuleren en beoordelen met behulp van een simulatieprogramma.

Bij strategie 2 tot en met 4 is het niet mogelijk om een vaste verdeling te bepalen voor G . Daarom gaan we ook die situatie onderzoeken met behulp van een simulatieprogramma.

5.2 Keuze parameters

Allereerst maken we de keuze om de situatie van één monteur te onderzoeken, oftewel de situatie $n=1$. De situatie van één monteur is al dermate ingewikkeld en bovendien al interessant genoeg om representatieve resultaten te krijgen. Wanneer we te maken zouden hebben met meerdere monteurs, dan zouden de resultaten hetzelfde zijn, mits iedere monteur zijn eigen gebied heeft. In de realiteit zien we dat monteurs een overlappend gebied hebben, of dat er meerdere monteur in hetzelfde gebied werkzaam zijn. We zien dat er dan sprake is van een flexibel gebied van de monteur. Dan zijn de resultaten van één monteur niet meer direct te vergelijken met de resultaten van meerdere monteurs. Toch geeft de situatie met één monteur een goed beeld van de effecten van verschillende strategieën.

De tweede keuze is de keuze van λ , het verwachte aantal telefoontjes per uur dat er binnenkomt. Aangezien de keuze hiervan geheel afhankelijk is van de situatie is het niet mogelijk om hiervoor een voor iedere situatie representatieve waarde te kiezen. In ons simulatieprogramma hebben we gekozen voor $\lambda = 1$.

Ook de waarden voor R , de straal van het servicegebied, μ , het verwachte aantal reparaties per uur exclusief de rijtijd en afhandeltijd, is geheel afhankelijk van de situatie. Voor R hebben we 50 km gekozen en voor μ de waarde 1.2.

De waarde van S , de snelheid van de monteur, hebben we bij de eerste simulaties op 100 km/uur gezet. Bij latere simulaties hebben we voor 50 km/uur gekozen, omdat dat een reëlere waarde is. Bij de nieuwe waarde is rekening gehouden met afstanden die in de stad worden afgelegd en ook met stremmingen door stoplichten, opstoppingen en files op de snelweg. Bij de resultaten is aangegeven met welke waarde van S er gewerkt is.

Voor de waarden van δ_{\min} en δ_{\max} , de minimale en de maximale afhandeltijd, is gekozen voor respectievelijk 3 en 6 minuten.

Om de waarde van x , het aantal uren dat een klant maximaal mag wachten, te kiezen is er nadere analyse nodig. Allereerst zien we in de realiteit dat bedrijven tegenwoordig zich in hun contracten richten naar een behandeltijd van 4 uur. Een ander punt wat in onze analyse speelt is dat wij graag strategie 1 tot en met 4 allemaal onderling willen vergelijken. Strategie 3 berekent aan het begin van de dag een route voor diezelfde dag. Bij die strategie is het nauwelijks mogelijk om rekening te houden met een behandeltijd van minder dan 24 uur. Telefoontjes die dan tijdens die dag binnenkomen zouden dan volgens het 24 uren contract diezelfde dag nog behandeld moeten worden. Dat is echter niet mogelijk omdat aan het begin van de dag de planning echter al bekend is. Om toch alle strategieën met elkaar te vergelijken is bij ons onderzoek gekozen voor een behandeltijd van 48 uur. Oftewel, het streven is er om zoveel mogelijk klanten binnen 48 uur te behandelen.

5.3 Implementatie 48 uren contracten

Bij het gebruik maken van de 48 uren contracten, gaat het routeplanning systeem proberen om het aantal klanten dat pas na 48 uur wordt behandeld te minimaliseren. Die mogelijkheid is er alleen bij strategie 3 en 4, omdat bij die strategieën invloed is uit te oefenen op de te volgen route. Bij strategie 1 en 2 wordt de route volledig bepaald door de strategie en is er geen invloed op uit te oefenen door het simulatieprogramma. Hierbij is gekozen voor de gemakkelijkste manier van implementeren. Het programma doet het op de volgende manier. Bij het bepalen van de route, gaat het programma kijken welke klanten al meer dan 24 uur (meer dan een dag) aan het wachten zijn. Deze klanten krijgen prioriteit bij het berekenen van de route.

Als er meer klanten in de route kunnen worden opgenomen, dan er prioriteitsklanten zijn, dan worden in ieder geval de prioriteitsklanten opgenomen in de route. Vervolgens wordt de route aangevuld met klanten die samen voor een optimale route kiezen.

Als er meer prioriteitsklanten zijn dan er in de route opgenomen kunnen worden, dan gaat het programma uit de verzameling van prioriteitsklanten een optimale route samenstellen. Er mag dan redelijkerwijs vanuit gegaan worden, dat dan sommige klanten niet binnen de 48 uur behandeld worden. Het is dan ook relevant om te onderzoeken hoeveel klanten er niet binnen 48 uur geholpen kunnen worden.

5.4 Keuze programmeertaal

Om het simulatieprogramma te implementeren is ervoor gekozen om dit te doen in de programmeertaal C++. De voordelen zijn daarvoor aanwezig. Allereerst is C++ een redelijk gemakkelijke taal, die ook onderwezen is binnen de studie BWI. Ook is C++ een optimale taal om simulaties mee uit te voeren, omdat deze taal efficiënt omspringt met de capaciteit aan intern geheugen. Het programma probeert het interne geheugen zo min mogelijk te belasten, waardoor de simulaties sneller uitgevoerd worden.

Om die redenen is voor C++ gekozen als taal om het simulatieprogramma in te schrijven. Echter na het implementeren van strategie 1, ontstonden een aantal niet begrijpbare foutmeldingen, die nauwelijks op te lossen bleken.

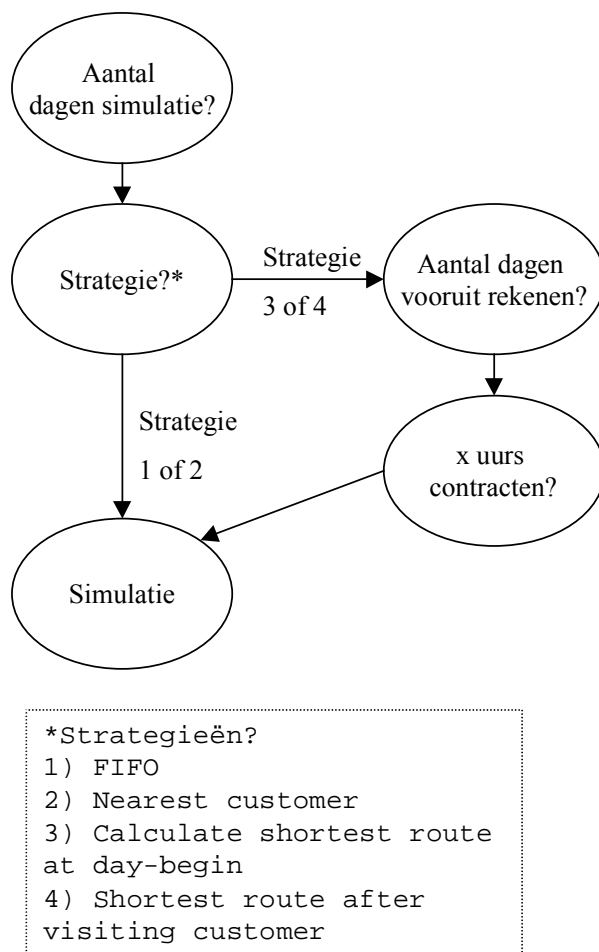
Op dat moment is ervoor gekozen om JAVA te gebruiken als taal voor het simulatieprogramma. Deze taal gaat echter veel minder efficiënt om met het interne geheugen, waardoor het langer duurt voordat de simulatie klaar is. In JAVA waren de oorzaken van foutmeldingen gemakkelijker te achterhalen, waardoor het programma sneller geïmplementeerd was.

5.5 Invoer programma

Om betrouwbaardere resultaten te krijgen van het simulatieprogramma is ervoor gekozen om voor iedere mogelijkheid 10 keer de simulatie uit te voeren en vervolgens de resultaten te middelen.

De parameters die in de paragrafen hiervoor zijn genoemd zijn niet direct door de onderzoeker te veranderen. In principe staan die parameters vast en worden ze niet opgevraagd bij het begin van de simulatie.

Parameters waar de onderzoeker bij het gebruik van het programma wel directe invloed op heeft zijn te zien in het hieronder staande figuur 3.



figuur 4: Overzicht invoer programma

5.6 Uitvoer programma

De uitvoer van het programma wordt in vier verschillende soorten bestanden opgeslagen. Allereerst worden natuurlijk de uiteindelijke resultaten opgeslagen in het bestand results.txt. In results.txt wordt allereerst gemeld welke strategie is gebruikt om tot de desbetreffende resultaten te komen. Vervolgens staan er de volgende gegevens:

- Aantal keer dat de simulatie is uitgevoerd (bij het onderzoek in dit werkstuk altijd 10)
- Het aantal dagen dat iedere simulatie behelst
- Het aantal behandelde klanten, gemiddeld per simulatie
- De gemiddelde afstand die de monteur per dag afgelegd heeft over alle simulaties
- De gemiddelde wachtrijlengte aan het eind van iedere dag
- Het gemiddeld aantal klanten dat behandeld werd per dag
- De gemiddelde afstand die afgelegd is door de monteur om een klant te bezoeken
- De gemiddelde tijd dat de monteur thuiskomt
- Of er rekening gehouden is met de 48 uren contracten
- Het percentage klanten dat niet binnen 48 uur is geholpen
- De gemiddelde wachttijd per klant

Een ander bestand waar uitvoer heen geschreven wordt is: data.txt. Dit bestand wordt aangemaakt om te analyseren hoe men tot de uiteindelijke resultaten is gekomen. In dit bestand staat iedere gebeurtenis beschreven. Dat kan een telefoontje zijn die binnenkomt of een monteur die klaar is en een nieuwe klant toegewezen krijgt. Bij iedere gebeurtenis staan de volgende gegevens vermeld:

- De dag waarop de gebeurtenis plaatsvindt
- De tijd waarop de gebeurtenis plaatsvindt
- Het type gebeurtenis (een telefoontje of een monteur die klaar is)
- Hoeveel mensen er in de wachtrij staan na de gebeurtenis
- Wanneer de monteur klaar is met de laatste reparatie van de dag, dan staat er vermeld hoe laat de monteur thuis is
- Als de monteur een nieuwe klant toegewezen krijgt, dan staan de coördinaten van die klant vermeld
- Hoeveel dagen en uren de klant moest wachten op de monteur

Het derde soort uitvoer zijn de Matlab bestanden. Het programma maakt automatisch drie Matlab bestanden aan. Deze drie bestanden zijn op te starten in Matlab en geven grafieken over de verdelingen van de wachttijden, de wachtrijlengten en de reisafstanden. Deze grafieken kunnen ook gebruikt worden voor de verdere analyse.

Hoofdstuk 6 Resultaten onderzoek strategieën

6.1 Type resultaten van simulaties

Er zijn 2 fasen simulaties uitgevoerd. Bij de eerste fase maakten we bij iedere simulatie gebruik van een verschillende seed. Daardoor krijgt iedere simulatie, zelfs wanneer de parameters verschillend zijn, een andere situatie voorgeschoteld. Ook hebben we bij deze fase zoveel simulaties per mogelijkheid (zie bijlage A voor uitleg over de mogelijkheden) gedaan zodat het totaal niet meer dan een week zou duren voordat er resultaten zouden zijn. Bij de eerste fase zijn we ook uitgegaan van een gemiddelde rijsnelheid van de monteur van 100 km/uur.

Bij de 2^e fase simulaties hebben we de seed vastgehouden. Hierdoor konden we de verschillende resultaten beter vergelijken. Om dat te versterken hebben we het aantal dagen simulaties bij iedere mogelijkheid op 10 gezet. Op die manier krijgt dus iedere simulatie dezelfde en evenveel servicemeldingen te verwerken, waardoor de verschillende strategieën beter met elkaar zijn te vergelijken. Wanneer er meer dan 10 dagen gesimuleerd werden duurde het al meer dan een week voordat er resultaten waren. Het is dan wel de vraag of 10 dagen simuleren genoeg is om betrouwbare resultaten te krijgen. Vooral de eerste dag is de simulatie vooral bezig om de wachtrij qua omvang te stabiliseren; eigenlijk is die dag een opstartdag en daarom niet relevant voor ons onderzoek. Als gemiddelde rijsnelheid voor de monteur hebben we bij deze fase 50 km/uur gebruikt. Meer uitleg daarover staat in paragraaf 5.2.

We merken op dat voor de uiteindelijke conclusies de resultaten van de 2^e fase het meest interessant zijn. Die resultaten staan in paragraaf 6.3. De 1^e fase wordt gezien als fase waarin globaal wordt onderzocht welke mogelijkheden en strategieën relevant zijn voor verder onderzoek.

6.2 Evaluatie van de resultaten van de 1^e fase

De uitvoerresultaten staat evenals de uitleg erover in bijlage B. Alle conclusies die in deze paragraaf getrokken zijn, zijn afgeleid uit de gegevens van bijlage B.

Bij de 1^e fase van het onderzoek zien we dat bij de FIFO strategie de lengte van de queue explodeert. Er wordt geen evenwicht bereikt, oftewel er bellen meer mensen op voor een servicemelding dan dat er geholpen worden. We zien het resultaat daarvan direct terug in de gemiddelde wachttijd per klant, het in vergelijking met andere strategieën lager aantal afgehandelde klanten per dag, de wachtrijlengte en het percentage klanten dat niet binnen 48 uur wordt geholpen.

We zien bij de twee meest geavanceerde strategieën, de Shortest route at day-begin en de Shortest route after visiting customer, dat het rekening houden met de 48 uren contracten de volgende effecten met zich meebrengt. Het brengt allereerst een lichte verlaging in het percentage gefaalde 48 uren contracten. Ten tweede leidt het tot een lichte verlaging in het aantal klanten dat per dag wordt geholpen. Het heeft geen effect op de gemiddelde afstand die een monteur moet afleggen per klant. De hierboven staande effecten klinken op het eerste gezicht logisch, maar dat hoeven ze niet allemaal te zijn. We kunnen bij het eerst genoemde effect twee kanten op. Aan de ene kant kan het rekening houden met de x uren contracten leiden tot een verlaging van het faalpercentage, omdat er moeite gedaan wordt om zoveel mogelijk klanten binnen 48 uur te helpen. Aan de andere kant kan die voorkeur als nadeel gaan werken. Het kan namelijk zijn dat de routes die door de extra restrictie worden opgelegd stukken minder efficiënt zijn. Daardoor worden er minder klanten geholpen dan de situatie waarin geen rekening wordt gehouden met de 48 uren contracten. Als de wachtrij daardoor behoorlijk groter wordt, dan kan het uiteindelijk leiden tot een verlaging van het percentage klanten dat binnen 48 uur geholpen wordt en dus een hoger faalpercentage.

We zien bij de 'Shortest route at day-begin' strategie dat het nauwelijks uitmaakt of er aan het begin van de dag 1 bezoek vooruit wordt gepland of 2,3,4 of 5 bezoeken. Ook zien we dat de strategie 'Nearest customer' het even goed doet als de hierboven genoemde strategie. Dat is te verklaren uit het kleine verschil dat er tussen de verschillende strategieën zit, want zodra de bezoeken uit de dagplanning uitgevoerd zijn wordt er verder gewerkt volgens de 'Nearest customer' strategie.

Wanneer er 6 bezoeken vooruit gepland worden bij de 'Shortest route at day-begin' strategie, dan zien we dat de strategie een klein beetje efficiënter wordt dan de rest. De gemiddelde wachttijd zien we licht dalen. De strategie waarbij 7 bezoeken vooruit gepland worden heeft een veel lagere wachttijd dan wanneer er minder vooruit gepland wordt. Maar omdat er bij deze strategie minder simulaties zijn uitgevoerd is dat resultaat niet honderd procent betrouwbaar.

Bij de 'shortest route after visiting customer' strategie maakt het niets uit of de route voor 1,2 of 3 bezoeken vooruit wordt gerekend. Wanneer er 4 tot 5 reparaties vooruit gerekend worden, dan zien we dat wanneer er ook rekening gehouden wordt met de x uren contracten, dat de resultaten beter worden. Wanneer er geen rekening met de x uren contracten wordt gehouden, dan treden er nauwelijks verbeteringen op. We merken wel op dat de simulatie met 5 reparaties van te voren inplannen, slechts 3 keer gedraaid is, waardoor de resultaten niet helemaal te vergelijken zijn met de andere mogelijkheden. Wanneer 6 bezoeken vooruit worden gepland zien we wederom een sterke verbetering en bovendien maakt het niet meer uit of er rekening gehouden wordt met de contracten. De resultaten zien er hetzelfde uit. 7 bezoeken vooruit plannen en geen rekening wordt gehouden met de contracten is de beste strategie. Wordt er in dat geval wel rekening gehouden met de contracten dan doet die mogelijkheid het slechter dan wanneer er een bezoek minder wordt ingepland.

Op basis van de resultaten van de 1^e fase van het onderzoek zou de strategie 'shortest route at day-begin' het beste zijn. Dan dienen er wel 7 dagen vooruit gepland worden en dient er ook rekening gehouden worden met de x uren contracten. We merken hierbij wel op dat het kan zijn dat toevallig die strategie met weinig klanten aanbod te maken had waardoor die strategie het goed deed. De 2^e fase van het onderzoek zou daar meer uitsluitsel over kunnen geven.

6.3 Evaluatie van de resultaten van de 2^e fase

De uitvoerresultaten van deze fase staan vermeld in bijlage C. Van de resultaten zijn diverse grafieken getekend, waarvan een aantal ook in deze paragraaf staan. Ook bij deze fase van de simulatie was het niet mogelijk om iedere mogelijkheid 10 keer te simuleren. Wanneer een simulatie meer dan een week bezig was om resultaten te genereren, dan werd hij afgebroken en werden de tot dan toe verzamelde gegevens gebruikt.

Heel opvallend was dat de monteur bij deze fase veel later thuiskomt dan bij de 1^e fase. Dat komt mede doordat de gemiddelde snelheid van de auto nu op 50 km/uur gezet was. Daardoor duurt het langer voordat hij thuis is. Bovendien kan het zijn dat bij de gebruikte dataset relatief veel bezoeken zitten die ver van het huis van de monteur verwijderd zijn.

De mogelijkheid bij de strategie ‘shortest route at day-begin’, 5 stappen vooruit denken en wel rekening houden met de x uren contracten had naar aanleiding van de resultaten van de 1^e fase ook onderzocht moeten worden, omdat die mogelijkheid toch wel degelijk andere resultaten genereert dan de strategie die 6 stappen vooruit denkt. Toch gaan we er vanuit dat het weglaten van die mogelijkheid geen invloed heeft op de uiteindelijke conclusies.

Bij de strategie ‘Shortest route at day-begin’ zien we nu dat het vooruit rekenen van 7 stappen geen verbetering is ten opzichte van 6 stappen. De hieronder staande tabel geeft dat aan. De gemiddelde queuelength is wel lager bij 7 stappen, maar een belangrijk criterium, zoals gemiddelde afstand per klant, laat geen verbetering zien. En dat terwijl het bij de 1^e fase wel degelijk een verbetering leek. We merken wel op dat de mogelijkheid van 7 stappen slechts 3 simulaties heeft gehad. Ook hebben we alleen de resultaten vergeleken van de strategie die wel rekening hield met de x uren contracten.

Shortest route at day-begin						
#Stappen	Gemiddelde afstand/klant	Gemiddelde queuelength	Klanten per dag	Gemiddelde tijd thuis	Gefaalde contracten	Gemiddelde Wachtijd
6	196.86	9.2	7.0	19:20	10%	23uur
7	213.41	8.5	6.9	19:08	12%	23uur
Verbetering?	-	+	-	+	-	0

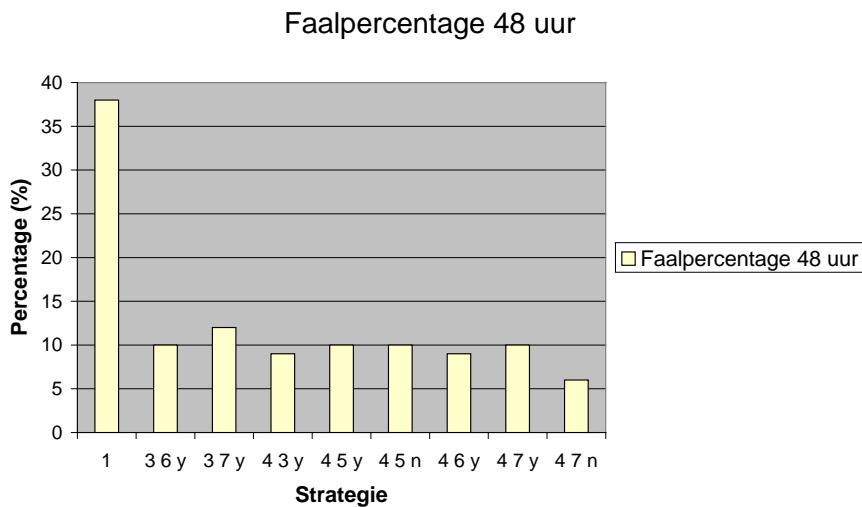
tabel 1: Verschillen tussen 6 en 7 stappen vooruit denken bij de Shortest route at day-begin

Bij de strategie ‘shortest route after visiting customer’, 5 stappen vooruit denken, maakt het weinig uit of er wel of geen rekening gehouden werd met de x uren contracten. Toch lijkt het erop dat het beter is om geen rekening te houden met de x uren contracten. Zie daarvoor de hieronder staande tabel. Alle gegevens uit de tabel staan ook in bijlage C.

Shortest route after visiting customer, 5 stappen vooruit denken						
Rekening met x uren contracten?	Gemiddelde afstand/klant	Gemiddelde queuelength	Klanten per dag	Gemiddelde tijd thuis	Gefaalde contracten	Gemiddelde Wachtijd
Ja	200.13	8.4	7.1	19:33	10%	21uur
Nee	195.85	8.7	7.0	19:04	10%	21uur
Verbetering?	+	-	+	+	0	0

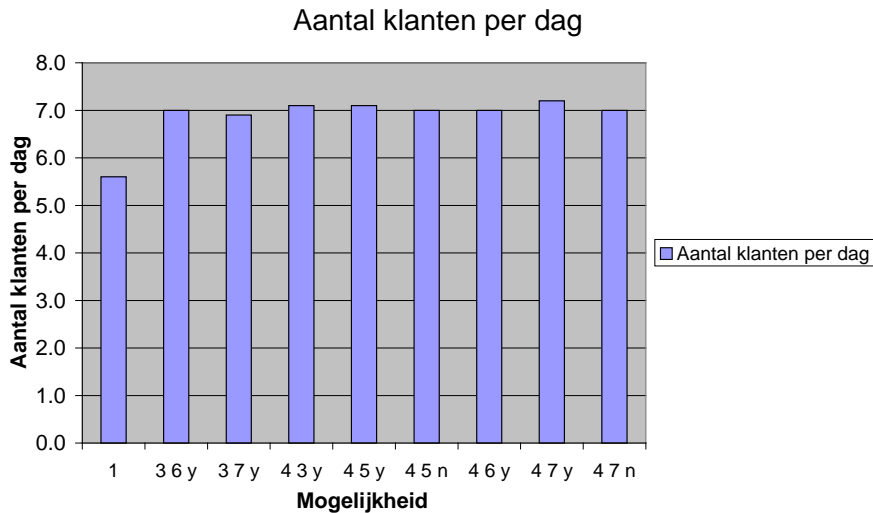
tabel 2: Verschillen tussen 6 en 7 stappen vooruit denken bij de Shortest route at day-begin

6 stappen vooruit denken levert bij deze strategie weinig significante verbeteringen op ten op zichte van 5 stappen vooruit denken (zie bijlage C). 7 stappen vooruit denken, waarbij rekening gehouden wordt met de x uren contracten lijkt op zijn beurt lichte verbeteringen op te leveren ten opzichte van de andere mogelijkheden. De mogelijkheid waarbij er geen rekening gehouden werd met de x uren contracten deed het wel beter dan de andere mogelijkheden. Vooral de monteur was iedere dag een stuk eerder thuis, de gemiddelde wachttijd per klant is bij die strategie het laagst (daarover staat hieronder meer informatie) en er waren meer klanten in 48 uur geholpen. Dat laatste staat in de histogram hieronder. We merken op dat in de hieronder staande grafieken de mogelijkheden worden gerepresenteerd zoals ze ingevoerd worden in het programma (zie paragraaf 5.5). Het eerste getal staat voor het type strategie, de tweede voor het aantal van te voren berekende stappen en de laatste of er rekening gehouden wordt met de x uren contracten.



figuur 5: Het percentage klanten dat niet binnen 48 uur geholpen is

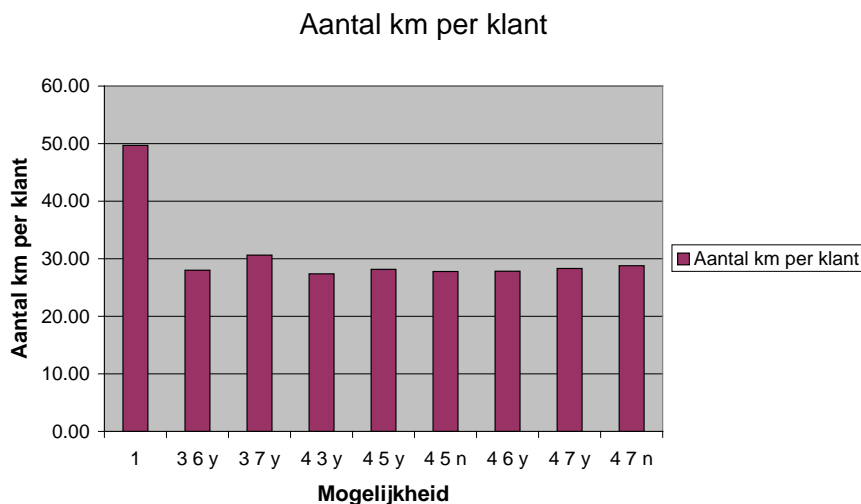
Om de kwaliteit van de verschillende mogelijkheden op een andere manier met elkaar te vergelijken kunnen we ook het aantal geholpen klanten per dag bekijken. We krijgen het volgende overzicht van de aantallen.



figuur 6: Het aantal geholpen klanten per dag voor verschillende mogelijkheden

We zien dan dat er nauwelijks verschillen zijn tussen de diverse strategieën. We zien echter wel dat de FIFO strategie behoorlijk wat minder klanten per dag helpt, dan de andere strategieën. De strategie Shortest route after visiting customer, waarbij er 7 stappen vooruit worden gedacht en waarbij er rekening gehouden wordt met de x uren contracten doet het volgens dit criterium het best. Die strategie behandelt gemiddeld 7.2 klanten per dag. We kunnen op basis van de resultaten van de hierboven staande grafiek nauwelijks conclusies trekken.

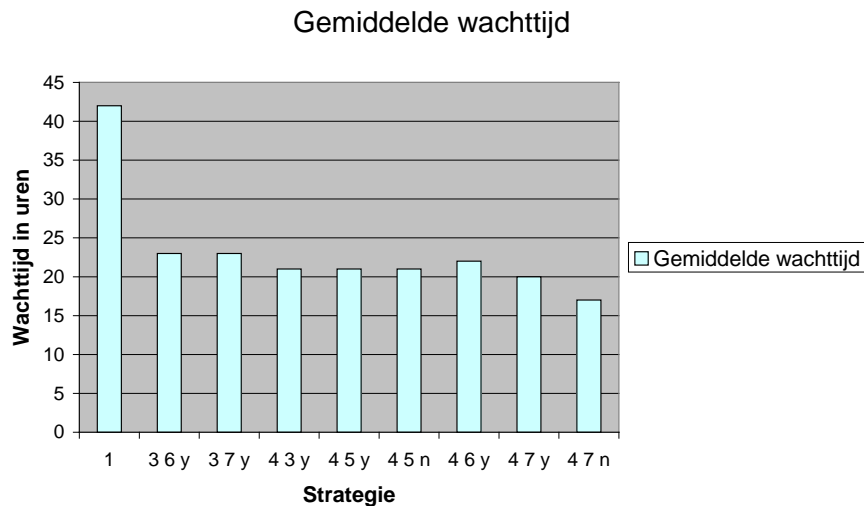
Een andere manier om de diverse strategieën te vergelijken is door te kijken naar het gemiddeld aantal afgelegde kilometers per klant. Dit criterium wegen we behoorlijk zwaar in de beoordeling van de verschillende strategieën. We krijgen het hieronder staande overzicht.



figuur 7: Gemiddeld aantal afgelegde km per klant

Op basis van het aantal afgelegde kilometers per klant is de strategie Shortest route after visiting customer, waarbij er 3 stappen vooruit worden gedacht en waarbij rekening gehouden wordt met de x uren contracten, het best. We merken op dat bij dit criterium de verschillen tussen de verschillende mogelijkheden ook niet groot genoeg zijn om er goede conclusies uit te trekken.

De laatste optie is om de gemiddelde wachttijd per klant te onderzoeken. Die gegevens staan hieronder.



figuur 8: Gemiddeld wachttijd per klant

Ook dan zien we dat de strategie Shortest route after visiting customer het beste resultaat laat zien. Vooral wanneer er geen rekening gehouden werd met de x uren contracten en wanneer er 7 stappen vooruit gedacht worden geeft deze strategie goede resultaten.

In het algemeen kunnen naar aanleiding van de 2e fase van het onderzoek melden dat het rekening houden met de x uren contracten geen positieve invloed heeft op de resultaten.

6.4 Evaluatie van de verdelingsresultaten bij de 2^e fase

In bijlage C staan ook resultaten over de verdelingen van de diverse onderzoekscriteria. Zo hebben we onderzocht wat de verdelingen zijn van de rijafstanden voor de monteur, de wachtrijlengten en van de wachttijden voor de klanten. We kunnen de volgende opmerkingen daarover maken. We merken ten eerste op dat het voor het overzicht beter was geweest om de meerdere verdelingen in één grafiek te plotten. Dat was helaas technisch niet mogelijk omdat Matlab de eis stelt dat twee vectoren, die in dezelfde grafiek geplott worden, evenveel elementen hebben. Dat laatste helaas niet van toepassing, omdat er per simulatie een verschillend aantal klanten geholpen zijn. Ook merken we op dat een andere schaling van de histogrammen voor meer overzicht zou zorgen. Een andere schaling voor de y-as zou kunnen zijn: aantallen klanten t.o.v. het totale aanbod van klanten.

De verdeling van de rijafstanden wordt beter naarmate er meer stappen vooruit worden gedacht. Dat verschijnsel zien we zowel bij de 3^e als bij de 4^e strategie. Ook zien we dat de verdelingen bij de 4^e strategie beter zijn als bij de 3^e strategie. De verdelingen voor de strategieën, waarbij geen rekening wordt gehouden met de x uurs contracten, zijn beter. Dezelfde conclusies kunnen we trekken bij de verdelingen van de wachtrijlengten.

Bij de verdelingen van de wachttijden kunnen we het volgende opmerken. We zien allereerst dat er wachttijden zijn die nooit voorkomen en dat er wachttijden zijn die vaak voorkomen. Dat heeft als gevolg dat er pieken ontstaan in de histogrammen. Die pieken ontstaan door de combinatie van de tijden waarop een monteur werkt en de tijden waarop de klant kan bellen. De monteur werkt van 9 uur 's ochtends tot en met de eerste klant die hij na 17 uur afrondt. Ook de telefoontjes komen binnen tussen 9 en 17 uur. Hieruit volgt automatisch dat een klant bijvoorbeeld nooit 10 uur zal moeten wachten. Hier zien we dat de strategie 'shortest route at day-begin' met 7 stappen vooruit denken veel beter is dan met minder stappen. Uit deze verdelingen kunnen we echter niet de conclusie trekken welke strategie van 3 en 4 beter is.

6.5 Conclusie

Aan de hand van de resultaten van de 2^e fase van het onderzoek kunnen we een aantal conclusies trekken. Allereerst was het achteraf toch wel relevant geweest om bij de meeste geavanceerde strategieën beide mogelijkheden (om wel of geen rekening te houden met de x uurs contracten) te onderzoeken. Bij de 2^e fase zijn toch wel degelijk andere resultaten gegenereerd dan men op basis van de 1^e fase zou verwachten. Bij de 1^e fase leek het namelijk alsof het nauwelijks uitmaakte of er wel of geen rekening werd gehouden met de x uurs contracten. Het had er alle schijn van dat het wel aan te raden was om rekening te houden met die contracten. Uit de tweede fase is het tegendeel gebleken.

Al met al kunnen we het volgende concluderen. De strategie 'Shortest route after visiting customer' is de beste strategie. Om de beste routes te verkrijgen dient er na iedere klant een optimale route berekend te worden, waarbij 7 stappen vooruit gedacht wordt. Het beste is het wanneer er geen rekening gehouden wordt met de x uurs contracten. Het blijkt paradoxaal genoeg dat er dan het vaakst aan de x uurs contracten wordt voldaan.

Hoofdstuk 7 Mogelijkheden tot verder onderzoek

7.1 Verschil werkelijkheid en onderzoek

Met het huidige simulatieprogramma wordt de realiteit op een redelijke wijze gerepresenteerd. Echter het programma zou tot betere resultaten komen, wanneer een aantal van de in dit hoofdstuk genoemde punten toegevoegd zouden worden. Die punten kunnen het verschil tussen de realiteit en het simulatieprogramma kleiner maken.

7.2 Meerdere monteurs

Bij het onderzoek is een simulatieprogramma geschreven, dat de situatie met één monteur simuleert. In de praktijk zien we dat bedrijven meer dan één monteur in dienst hebben. Wanneer bedrijven meerdere monteurs in dienst hebben, dan kunnen ze meer voordelen halen uit het inplannen van de route. Er kan namelijk gekozen worden om meer dan één monteur op een bepaald gebied te zetten. Het kan zijn dat in een bepaald gebied meer telefoontjes binnenkomen, dan dat er afgehandeld kan worden. In dat geval kun je een tweede monteur op dat gebied zetten, waardoor de wachtrij weer kan afnemen. Wanneer er op ieder gebied vast één monteur zit, dan zal zo iets niet gedaan worden. Ook bij de BSH, zijn de servicegebieden van de monteurs flexibel. Het kan zijn dat de monteur op de ene dag klanten in Weesp en Almere heeft en dat op de dag erna diezelfde monteur alleen klanten uit Almere en een andere monteur klanten uit Weesp heeft.

Ook is men in de realiteit flexibeler, doordat monteurs bijvoorbeeld tijdelijk kunnen overwerken, waardoor zij ook de wachtrijen binnen een bepaalde tijd kunnen terugdringen. Bovendien is er de mogelijkheid om tijdelijk andere bedrijven in te schakelen om de tijdelijke achterstand op te vangen.

7.3 Beginpunt niet in midden gebied

We hebben met behulp van het simulatieprogramma onderzocht hoe de situatie is wanneer de monteur precies in het midden van het gebied vertrekt. In de realiteit zal de monteur echter van huis vertrekken en dat punt zal zelden precies in het midden van het gebied zijn. Er zou onderzoek gedaan kunnen worden naar het effect op de resultaten, wanneer het beginpunt op een ander punt is.

7.4 Gebied geen cirkel

Bij ons onderzoek zijn we uitgegaan van een cirkelvormig servicegebied. We zouden ook onderzoek kunnen doen naar een vierkant gebied. Bij servicebedrijven zien we inderdaad ook dat zij hun totale servicegebied in kleinere vierkanten gebieden hebben opgedeeld. Het zou kunnen zijn dat de vorm van het gebied invloed heeft op de resultaten.

7.5 Snelheid serviceauto

Bij dit werkstuk zijn we uitgegaan van een constante snelheid van de serviceauto. Echter in de realiteit hebben we te maken met knelpunten op bepaalde tijdstippen op de dag. Ook rijdt de auto het ene moment op de snelweg en het andere moment over een stadsweg, waar hij veel langzamer rijdt. Het moge duidelijk zijn dat de auto geen constante snelheid rijdt en dat de invloed daarvan ook onderzocht kan worden.

7.6 Rechte wegen

Bij het onderzoek hebben we de te berijden afstand tussen twee punten bepaald door de hemelsbrede afstand te nemen. In de realiteit kan men zelden recht van de ene klant naar de andere rijden. Het is ook afhankelijk van de infrastructuur in het gebied, hoe recht de weg is naar de volgende klant. In het werkstuk is dat allemaal buiten beschouwing gelaten. Dat zorgt ervoor dat de gesimuleerde wachtrijen lager zijn dan in de realiteit met dezelfde andere omstandigheden.

7.7 Bevolkingsdichtheden

We zijn uitgegaan van een gelijke bevolkingsdichtheid over het gehele servicegebied. In de realiteit zien we echter dat de bevolkingsdichtheid in steden veel hoger ligt, dan op het platte land. Doordat we hier geen rekening mee hebben gehouden, zijn de wachtrijen hoger dan in de realiteit met dezelfde andere omstandigheden.

7.8 x aantal bezoeken per dag

Bij een aantal servicebedrijven in Nederland plant men een vast aantal bezoeken in per monteur. Bij BSH plant men bijvoorbeeld 8 bezoeken per dag per monteur in. Het zou nuttig kunnen zijn om die strategie te vergelijken met de strategie die we in dit werkstuk hanteren. De manier van inplannen van BSH zou ook nog redelijk snel geïmplementeerd kunnen worden.

7.9 Reparatielijd

De tijd die een monteur over een reparatie doet is afhankelijk van vele factoren. Zo is het type reparatie van invloed op de uiteindelijke reparatielijd. Daar heeft de monteur weinig invloed op. Ook zijn er een aantal factoren die de desbetreffende tijd beïnvloeden. De ervaring van de monteur kan invloed hebben op de reparatielijd. Zo zal een ervaren monteur veel sneller klaar zijn met een reparatie, dan een monteur die net begonnen is en nog nooit een apparaat in de realiteit heeft gerepareerd.

Ook kan de monteur in de realiteit vaart zetten achter reparaties, omdat de bezoeken ervoor te lang duurden. Daarom zullen de resultaten van de strategie 8 bezoeken per dag per monteur (zie 7.8) in de realiteit betere effecten hebben dan bij een simulatie. Dat komt omdat de monteur naar die acht bezoeken 'toewerkt'.

Monteurs hebben natuurlijk ook invloed op het verlengen van reparatiebezoeken. Dat zal voor de meeste monteurs nog gemakkelijker zijn, dan het verkorten van een bezoek. Monteurs willen graag op tijd naar huis en ze zullen bij de strategieën, die in dit werkstuk aan bod komen, het laatste bezoek gaan rekken. Wanneer de monteur om kwart voor vijf klaar denkt te zullen zijn met een klant, dan zal hij het bezoek proberen te rekken tot na vijf uur, waardoor hij niet nog een klant hoeft te bezoeken.

7.10 Indicatietijd

In de situatie die we gesimuleerd hebben weet de klant in principe niet wanneer de monteur langskomt. Dat zorgt ervoor dat de monteur zich niet aan tijden hoeft te houden en dat de route dus efficiënter berekend kan worden. Voor de klant kan dat een probleem zijn. Als hij niet weet hoe laat de monteur komt, dan zal hij al de tijd, totdat de monteur er is, aanwezig moeten zijn. Dat is voor zakelijke klanten vaak geen probleem, echter voor particuliere klanten is het handig wanneer zij een indicatietijd doorkrijgen. Er zou hiernaar onderzoek gedaan kunnen worden. Relevant is het om onderzoek te doen naar de effecten van die indicatietijd op de uiteindelijke resultaten.

7.11 Calamiteiten

In de realiteit kan er veel misgaan. Monteurs kunnen ziek raken of een aanrijding krijgen. Het kan zijn dat de monteur niet bereikbaar is of dat een monteur pech heeft, waardoor de reparaties niet uitgevoerd kunnen worden. In het simulatieprogramma is hier geen rekening mee gehouden. Er is de mogelijkheid om hier extra onderzoek naar te doen. In het programma zou men op twee manieren de calamiteiten kunnen simuleren. Men zou volgens een bepaald proces om de zoveel tijd een calamiteit van een bepaalde tijd kunnen laten voorkomen in het programma. Ook zouden de parameters hieraan kunnen worden aangepast. Men zou dan kunnen denken aan een verlaging van de gemiddelde snelheid van de serviceauto of een verlenging van de gemiddelde afhandeltijd.

7.12 Verdelingsonderzoek afhandeltijd en reparatietijd

Bij het onderzoek, dat we gedaan hebben in dit werkstuk, hebben we een aantal aannames gedaan over de verdelingen van de afhandeltijd en de reparatietijd. Het is relevant om eerst onderzoek te doen met gegevens van een bestaand bedrijf. Er is dan te onderzoeken of de verdelingen van de afhandeltijd en de reparatietijd inderdaad zo zijn als we aangenomen hadden. Ook zouden de parameters realistischer gekozen kunnen worden. In dit werkstuk hebben we een schatting gemaakt van de parameters. Met gegevens uit een bedrijf, kunnen we onderzoeken of die waarden van parameters inderdaad overeenkomen met de realiteit. Ook kan onderzocht worden of de verhoudingen tussen de waarden van die parameters ook overeenkomen met de realiteit.

7.13 Verdelingsonderzoek telefoontjes

Bij het onderzoek naar de verdeling van de telefoontjes is het volgende van belang. Ten eerste is het nuttig te onderzoeken met welk proces telefoontjes binnenkomen en wat de parameter is of parameters zijn van dat proces. Daarnaast is het zeer goed mogelijk dat er bepaalde tijdstippen op de dag zijn, waarop er meer telefoontjes binnenkomen, dan op andere tijdstippen. Er zou dan onderzoek gedaan kunnen worden naar de verdeling van de parameter λ over de gehele dag. Een ander punt dat onderzocht kan worden is de mogelijkheid van het 's nachts opbellen. Bij het onderzoek van dit werkstuk, is de situatie gesimuleerd dat de klanten alleen overdag kunnen bellen tussen 9 uur 's ochtends en 5 uur 's avonds om hun servicemelding door te geven. Ook zou de mogelijkheid van 's nachts opbellen of de mogelijkheid van het doorsturen van de servicemelding via internet onderzocht kunnen worden. Het zou in de toekomst ook mogelijk kunnen zijn, dat een apparaat uit zichzelf een seintje stuurt naar de servicedesk, wanneer er een defect wordt geconstateerd in het apparaat. Ook bij die mogelijkheid is het noodzakelijk dat die meldingen ook 's nachts worden aangenomen door een computer.

7.14 Monteurbezoeken ook 's nachts

Er zijn servicebedrijven die ook 's nachts moeten aantreden als er zich een defect voordoet aan een apparaat. Men moet hier denken aan apparaten die van groot belang zijn. Een voorbeeld zou een apparaat in een elektriciteitscentrale kunnen zijn. Het is de bedoeling dat de monteur dan eigenlijk meteen op de stoep staat zodra er zich een defect voordoet, waardoor de elektriciteitscentrale geen stroom kan leveren. Ook zou men kunnen denken aan een productieapparaat in een fabriek, dat ook 's nachts doordraait. Bij een defect hieraan zou ook zo snel mogelijk, en niet pas de volgende morgen, een reparateur langs moeten komen.

7.15 Annuleren servicebezoek

Bij veel servicebedrijven hebben ze te maken met klanten die annuleren. Het defect kan ineens verholpen zijn, doordat de machine even uitstond of doordat een externe factor verholpen is, zoals kortsluiting in het gedeelte waar de machine stond. Ook schakelen sommige klanten andere bedrijven in om de reparatie uit te voeren, omdat ze de prijzen te hoog vinden of omdat iemand anders het defect sneller kan verhelpen. Annuleringen zijn voor bedrijven zeer kostbaar omdat de kosten aanwezig zijn, terwijl er geen inkomsten zijn. De kosten worden gemaakt door het in dienst hebben van de medewerker die de klant te woord staat bij het inplannen. Daarna is de afdeling werkvoorbereiding bezig met het analyseren van de oorzaak van het probleem en vervolgens moet iemand het bezoek weer uit de planning halen. Voor het bedrijf is het nuttig om te achterhalen wat de oorzaak is van de annuleringen. Wanneer het aantal annuleringen afneemt, dan zijn de onnodige kosten ook lager.

Bij een annulering van een servicebezoek is er ook een ander aspect wat onderzocht moet worden. Het kan namelijk zijn dat een klant belt op de dag dat hij bezocht zou worden. Het moge duidelijk zijn dat wanneer een klant ineens uit de optimale route wordt gehaald, dat de route niet meer optimaal is. Er zou onderzoek gedaan kunnen worden naar het effect van de annuleringen op onder andere de gemiddelde rijtijd naar een klant.

Bibliografie

¹ Open Universiteit Nederland (1996) '*Combinatoriek, grafen- en getaltheorie*', Heerlen, blz 128-147.

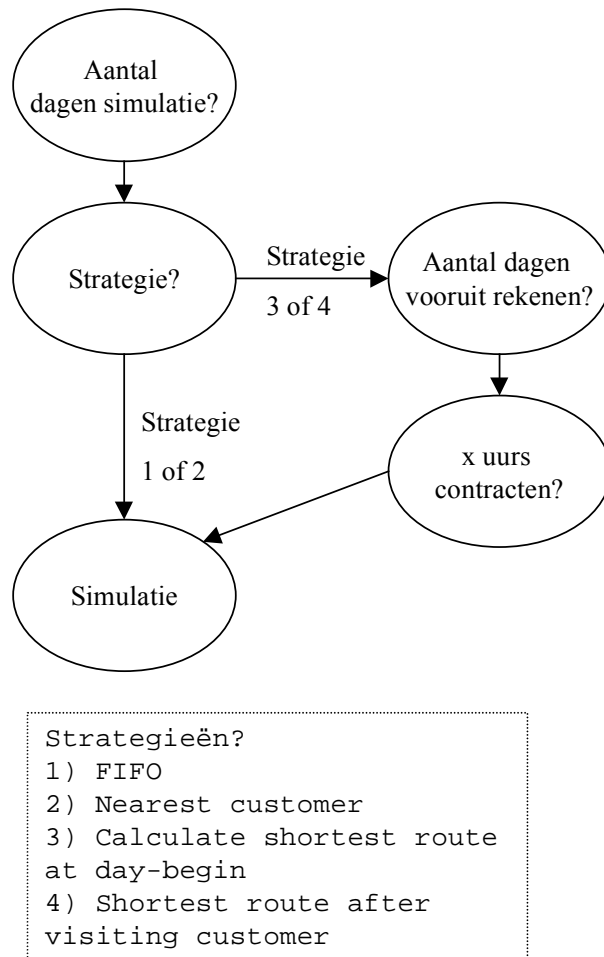
² Cay S. Horstmann (1998) '*Computing concepts with JAVA essentials*', San Jose State University.

³ Sheldon M. Ross (2000) '*Probability models*', Department of Industrial Engineering and Operations Research University of California, Berkeley, California

Bijlagen

Bijlage A De mogelijkheden van invoer

Een 'mogelijkheid' zoals het woord wordt gebruikt in dit werkstuk is een mogelijke invoer in het programma. Hieronder staan de vragen die gesteld worden door het programma:



figuur 9: Overzicht invoer programma

Hieronder (tabel 3) staan alle mogelijkheden van invoer vermeld, zoals ze bij de 1^e fase van het onderzoek zijn gebruikt.

#simulaties	strategie	#stappen	x uren contracten?	#simulaties	strategie	#stappen	x uren contracten ?
1000	1						
1000	2						
1000	3	1	n	1000	3	1	y
1000	3	2	n	1000	3	2	y
1000	3	3	n	1000	3	3	y
100	3	4	n	100	3	4	y
100	3	5	n	100	3	5	y
20	3	6	n	20	3	6	y
10	3	7	n	10	3	7	y
1000	4	1	n	1000	4	1	y
1000	4	2	n	1000	4	2	y
1000	4	3	n	1000	4	3	y
100	4	4	n	100	4	4	y
100	4	5	n	100	4	5	y
20	4	6	n	20	4	6	y
10	4	7	n	10	4	7	y

tabel 3: Mogelijkheden van invoer 1^e fase onderzoek

Waarbij:

simulaties = Het aantal dagen dat gesimuleerd is bij de mogelijkheid.

strategie = De strategie die is toegepast.

stappen = Het aantal bezoeken dat vooruit wordt gedacht bij het berekenen van de kortste route.

x uren contracten? = Geeft aan of er bij de simulatie rekening gehouden is met de x uren contracten.

Op basis van de resultaten van de 1^e fase van het onderzoek zijn de volgende mogelijkheden (zie tabel 4) samen te voegen.

#simulaties	strategie	#stappen	x uren contracten?	#simulaties	strategie	#stappen	x uren contracten ?
1000	1						
1000	2						
1000	3	1	n	1000	3	1	y
1000	3	2	n	1000	3	2	y
1000	3	3	n	1000	3	3	y
100	3	4	n	100	3	4	y
100	3	5	n	100	3	5	y
20	3	6	n	20	3	6	y
10	3	7	n	10	3	7	y
1000	4	1	n	1000	4	1	y
1000	4	2	n	1000	4	2	y
1000	4	3	n	1000	4	3	y
100	4	4	n	100	4	4	y
100	4	5	n	100	4	5	y
20	4	6	n	20	4	6	y
10	4	7	n	10	4	7	y

tabel 4: Mogelijkheden gegroepeerd

Uit iedere groep is de meest geavanceerde mogelijkheid gekozen om te simuleren. Dat hebben we gedaan omdat het tijd en moeite scheelt. Het heeft namelijk weinig zin om een aantal keer een simulatie te draaien, waarbij je van te voren al weet dat ze allemaal ongeveer dezelfde resultaten genereren. We kiezen per groep de meest geavanceerde methode omdat we dan het minst risico lopen dat we belangrijke simulaties achterwege laten. We krijgen dan de volgende mogelijkheden die onderzocht zijn in de 2^e fase. We merken op dat in de 2^e fase iedere mogelijkheid 10 dagen is gesimuleerd.

#simulaties	strategie	#stappen	x uurs contracten?	#simulaties	strategie	#stappen	x uurs contracten ?
10	1						
				10	3	6	y
				10	3	7	y
				10	4	3	y
10	4	5	n	10	4	5	y
				10	4	6	y
10	4	7	n	10	4	7	y

tabel 5: Mogelijkheden van invoer 2^e fase onderzoek

Bijlage B: 1e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning

In de 1e fase van het onderzoek zijn iedere strategie en iedere mogelijkheid in het programma getest (zie bijlage A voor verduidelijking mogelijkheid). Bij iedere test is gebruik gemaakt van een flexibele seed. Dat betekent dat iedere simulatie een andere situatie krijgt te verwerken. De klanten bellen bij iedere simulatie op andere tijdstippen en vanuit andere punten in het gebied.

Bij iedere mogelijkheid is er zoveel dagen getest, dat de resultaten nog binnen een aantal dagen te genereren zijn. Vooral de geavanceerde strategieën kosten behoorlijke rekentijd.

Bij de 1e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning, was bij de resultaten nog niet vermeld wat de gemiddelde reisafstand was per klant. Dat is in de 2e fase wel gerapporteerd bij de resultaten.

Die gemiddelde reisafstand per klant is te berekenen door de volgende formule:

$$\text{Gemiddelde reisafstand per klant} = \frac{\text{Gemiddelde reisafstand per dag}}{\text{Gemiddeld aantal klanten per dag}}$$

Hieronder staan de resultaten van de 1e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning. We merken daarbij op dat bij de simulaties die uitgevoerd zijn met de strategieën FIFO en Nearest customer geen rekening gehouden wordt met de x uren contracten. De gemiddelde rijsnelheid van de monteur is bij deze fase op 100 km/uur gezet.

# stappen	Rekening houden met x uren contracten: NEE	Rekening houden met x uren contracten: JA
n v t	Strategy: FIFO Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7412 Average distance(/day): 356.79 km Average queue length(/day): 344.0 Average customers(/day): 7.4 Average time home: 18:16 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 96 % Average waiting time customer: 1027 hours	
n v t	Strategy: Nearest customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8012 Average distance(/day): 228.09 km Average queue length(/day): 6.0 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:39 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 19 hours	
1	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8053 Average distance(/day): 228.27 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 8.1 Average time home: 17:39 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 19 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8026 Average distance(/day): 227.38 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:38 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 20 hours

2	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7995 Average distance(/day): 227.80 km Average queue length(/day): 5.8 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:34 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 18 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8006 Average distance(/day): 228.67 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:41 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 19 hours
3	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8015 Average distance(/day): 227.18 km Average queue length(/day): 5.9 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:37 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 19 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7978 Average distance(/day): 230.34 km Average queue length(/day): 6.0 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:37 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 19 hours
4	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 806 Average distance(/day): 232.53 km Average queue length(/day): 5.8 Average customers(/day): 8.1 Average time home: 17:36 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 18 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 801 Average distance(/day): 233.08 km Average queue length(/day): 6.3 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:38 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 7 % Average waiting time customer: 19 hours
5	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 802 Average distance(/day): 229.19 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:46 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 19 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 781 Average distance(/day): 227.49 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 7.8 Average time home: 17:25 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 8 % Average waiting time customer: 19 hours
6	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 20 days Handled customers(/sim): 158 Average distance(/day): 230.30 km Average queue length(/day): 6.2 Average customers(/day): 7.9 Average time home: 17:18 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 6 % Average waiting time customer: 17 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 20 days Handled customers(/sim): 157 Average distance(/day): 237.37 km Average queue length(/day): 5.9 Average customers(/day): 7.9 Average time home: 17:25 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 6 % Average waiting time customer: 17 hours
7	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 73 Average distance(/day): 245.76 km Average queue length(/day): 3.7 Average customers(/day): 7.3 Average time home: 18:12 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 2 % Average waiting time customer: 10 hours	Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 70 Average distance(/day): 235.64 km Average queue length(/day): 3.6 Average customers(/day): 7.0 Average time home: 17:06 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 0 % Average waiting time customer: 10 hours

1	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8013 Average distance(/day): 228.35 km Average queue length(/day): 6.0 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:35 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 19 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8000 Average distance(/day): 230.90 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:37 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 19 hours
2	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 8030 Average distance(/day): 232.05 km Average queue length(/day): 6.6 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:39 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 21 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7975 Average distance(/day): 237.43 km Average queue length(/day): 6.2 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:40 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 20 hours
3	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7946 Average distance(/day): 231.26 km Average queue length(/day): 6.3 Average customers(/day): 7.9 Average time home: 17:33 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 20 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 1000 days Handled customers(/sim): 7977 Average distance(/day): 234.04 km Average queue length(/day): 6.4 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:40 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 20 hours
4	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 798 Average distance(/day): 224.37 km Average queue length(/day): 6.9 Average customers(/day): 8.0 Average time home: 17:37 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 22 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 777 Average distance(/day): 244.03 km Average queue length(/day): 5.1 Average customers(/day): 7.8 Average time home: 17:39 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 6 % Average waiting time customer: 16 hours
5	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 784 Average distance(/day): 226.80 km Average queue length(/day): 6.1 Average customers(/day): 7.8 Average time home: 17:23 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 20 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 3 Days of each simulation: 100 days Handled customers(/sim): 812 Average distance(/day): 248.62 km Average queue length(/day): 5.0 Average customers(/day): 8.1 Average time home: 17:35 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 6 % Average waiting time customer: 16 hours
6	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 8 Days of each simulation: 20 days Handled customers(/sim): 154 Average distance(/day): 245.38 km Average queue length(/day): 3.9 Average customers(/day): 7.7 Average time home: 17:35 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 3 % Average waiting time customer: 13 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 20 days Handled customers(/sim): 147 Average distance(/day): 238.07 km Average queue length(/day): 4.2 Average customers(/day): 7.4 Average time home: 17:01 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 3 % Average waiting time customer: 14 hours

7	Strategy:	Shortest route after customer	Strategy:	Shortest route after customer
	Times simulation:	10	Times simulation:	6
	Days of each simulation:	10 days	Days of each simulation:	10 days
	Handled customers(/sim):	73	Handled customers(/sim):	72
	Average distance(/day):	239.07 km	Average distance(/day):	241.30 km
	Average queuelength(/day):	3.7	Average queuelength(/day):	4.6
	Average customers(/day):	7.3	Average customers(/day):	7.2
	Average time home:	17:27	Average time home:	17:10
	Minimizing contract-failing	no	Minimizing contract-failing	yes
	Percentage of contracts failed:	2 %	Percentage of contracts failed:	7 %
	Average waiting time customer:	11 hours	Average waiting time customer:	14 hours

Bijlage C: 2e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning

In de 2e fase van het onderzoek is niet iedere strategie en iedere mogelijkheid in het programma getest (zie bijlage A voor verduidelijking mogelijkheid). Bij de 1e fase is er onderzocht welke mogelijkheden van invoer tot dezelfde resultaten komen. Zo zijn bijvoorbeeld de resultaten van 20 dagen simulatie van strategie 3 wanneer er rekening gehouden wordt met het minimaliseren van de uren contracten, niet significant verschillend als voor diezelfde mogelijkheid, terwijl er geen rekening wordt gehouden met de x uren contracten. Deze mogelijkheden van invoer worden in de 2e fase in dezelfde groep geplaatst. Bij de 2e fase is ervoor gekozen om dan niet iedere mogelijkheid weer te onderzoeken. Binnen een groep mogelijkheden, die tot dezelfde resultaten leidden, is de geavanceerde mogelijkheid gekozen en die is onderzocht.

Bij deze fase is ervoor gekozen om bij iedere groep mogelijkheden, 10 dagen te simuleren. Er is voor gekozen om bij iedere groep mogelijkheden hetzelfde aantal dagen te simuleren, omdat de resultaten dan beter te vergelijken zijn. Wanneer er bij iedere groep voor een verschillend aantal dagen simulatie wordt gekozen, dan hebben we bij iedere groep een verschillende mate van invloed van het opstarten. De invloed van het opstarten bij een simulatie is kleiner naar mate het aantal dagen simulatie toeneemt. Er is gekozen voor 10 dagen, omdat we dan ook de mogelijkheden met '7 bezoeken voorruit rekenen' in het onderzoek kunnen betrekken. De mogelijkheden met '7 bezoeken voorruit rekenen' konden niet langer dan 10 dagen gesimuleerd worden, omdat het dan een aantal weken zou duren voordat de resultaten gesimuleerd zouden zijn.

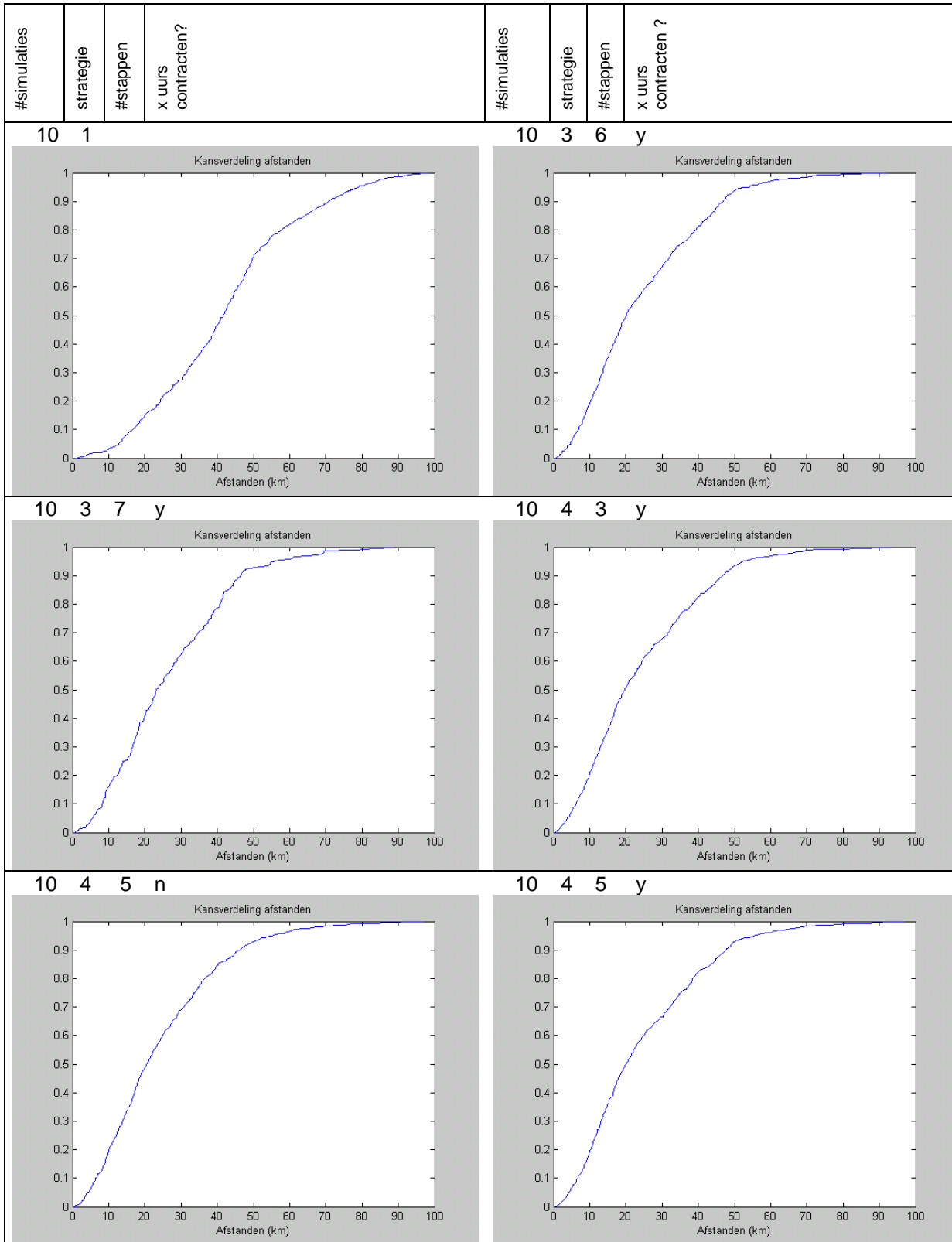
Bij iedere test is gebruik gemaakt van een vaste seed. Dat betekent dat iedere simulatie dezelfde situatie krijgt te verwerken. De klanten bellen bij iedere simulatie op dezelfde tijdstippen en vanuit dezelfde punten in het gebied. Hierdoor zijn de resultaten van de verschillende resultaten ook goed te vergelijken.

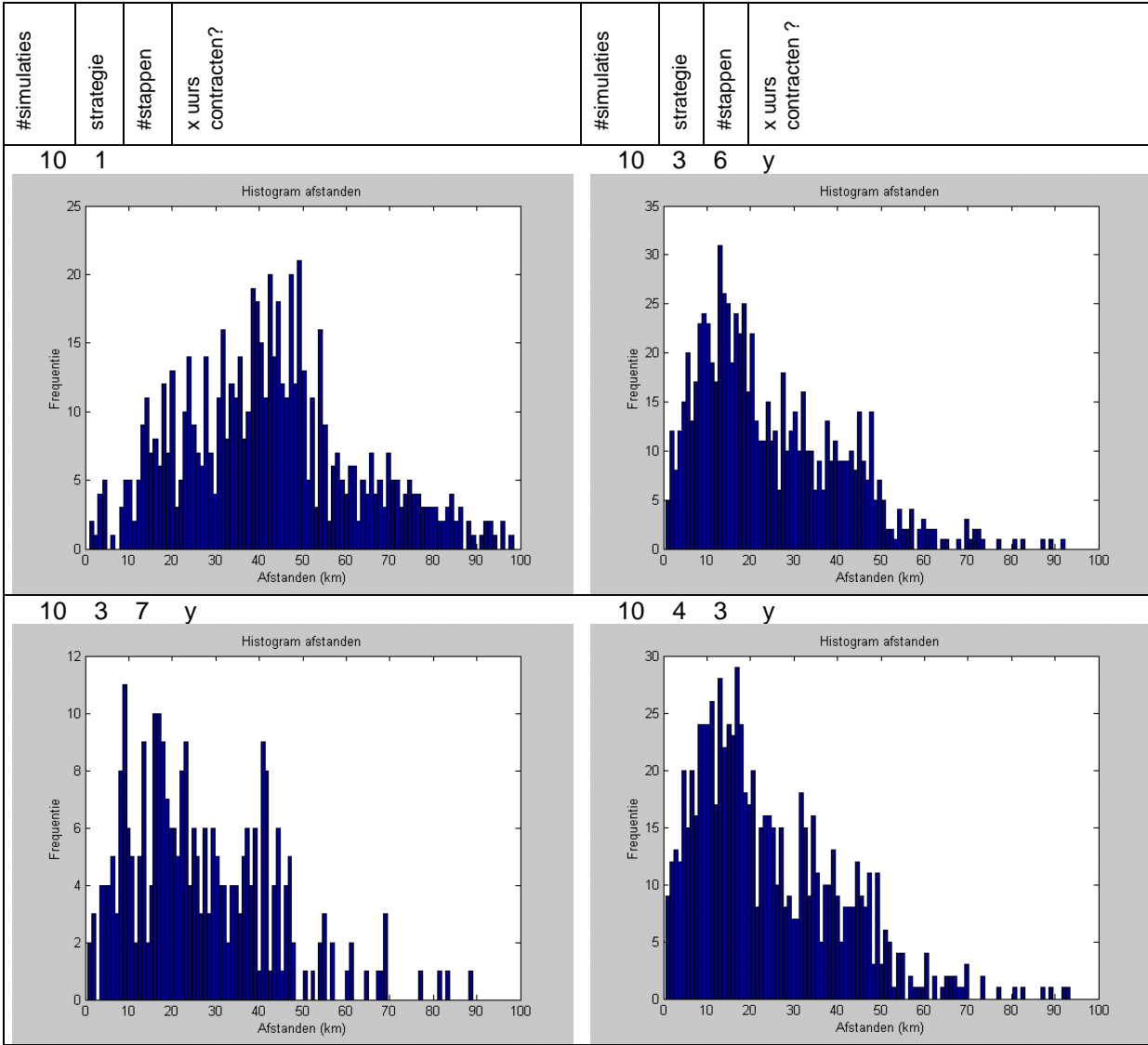
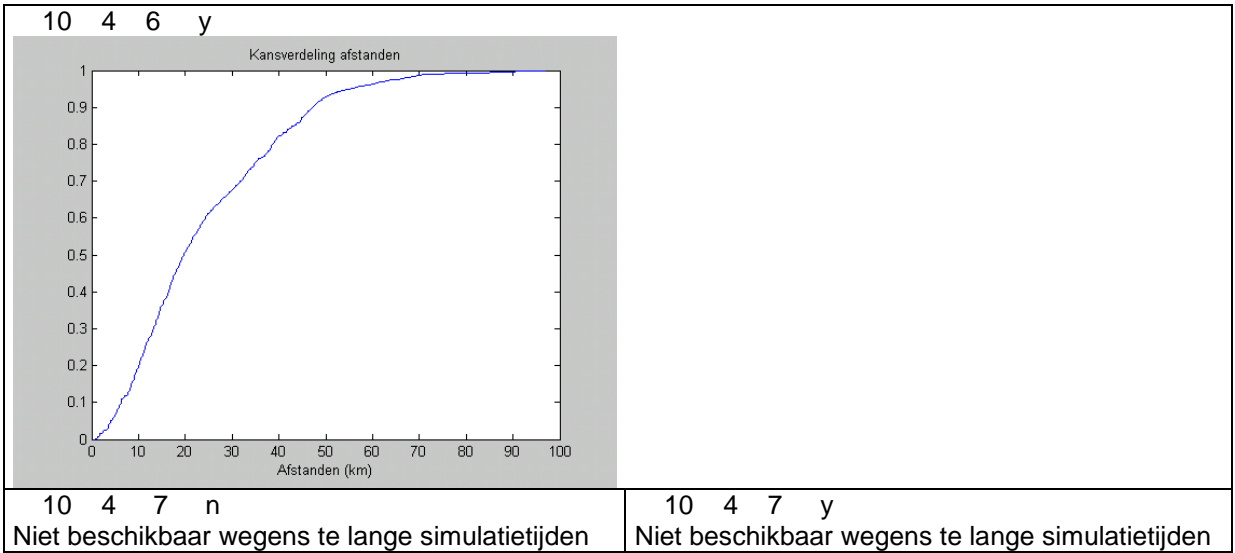
Bij de 1e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning, was bij de resultaten nog niet vermeld wat de gemiddelde reisafstand was per klant. Dat is in de 2e fase wel gerapporteerd bij de resultaten.

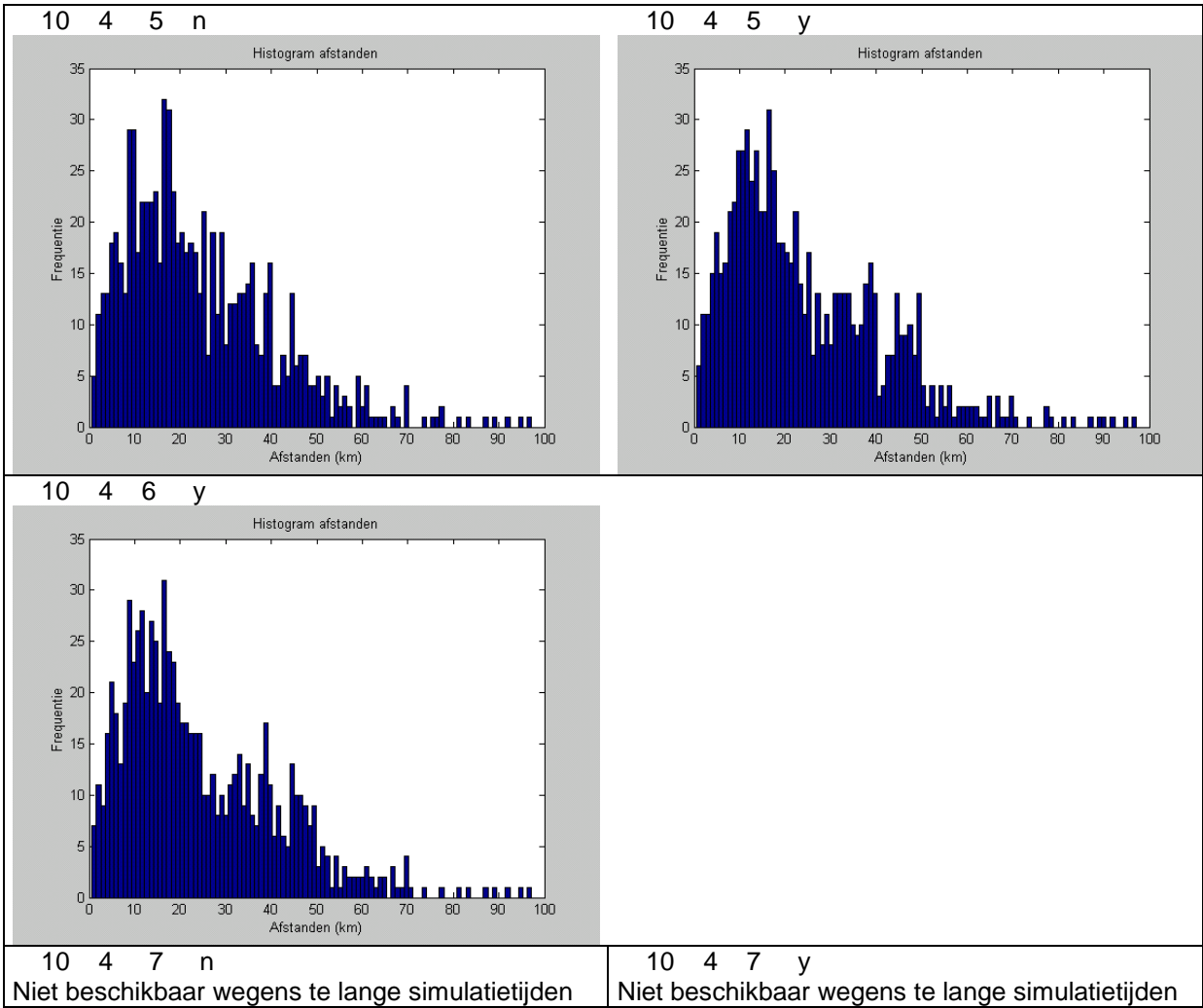
Hieronder staan de resultaten van de 2e fase van het onderzoek naar strategieën voor routeplanning. De gemiddelde rijsnelheid van de monteur stond bij deze simulaties op 50 km per uur.

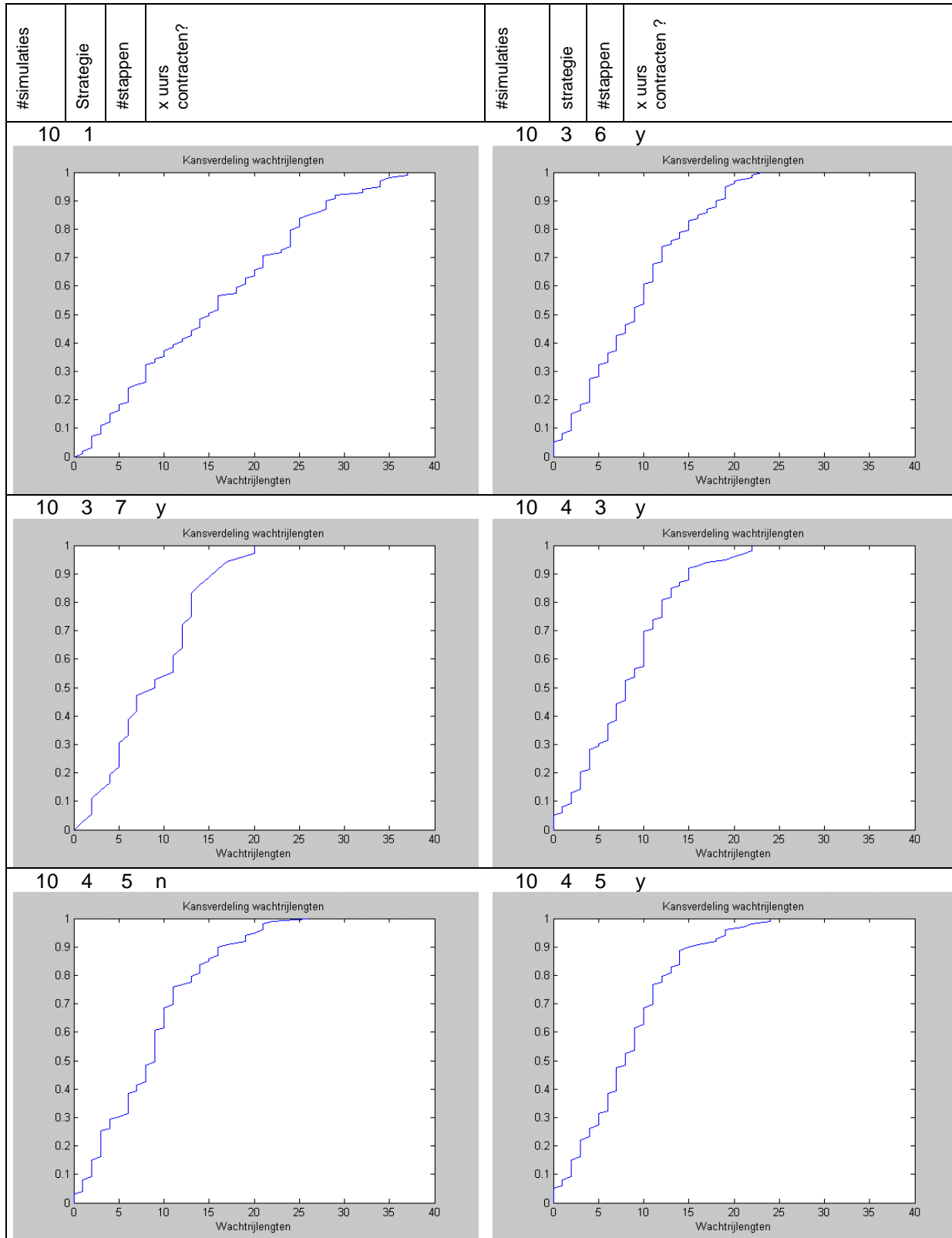
# stappen	Rekening houden met x uren contracten: NEE	Rekening houden met x uren contracten: JA
	Strategy: FIFO Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 56 Average distance(/day): 281.37 km Average queuelength(/day): 15.6 Average customers(/day): 5.6 Average distance(/customer): 49.71 Average time home: 18:58 Minimizing contract-failing no Percentage of contracts failed: 38 % Average waiting time customer: 42 hours	
6		Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 70 Average distance(/day): 196.86 km Average queuelength(/day): 9.2 Average customers(/day): 7.0 Average distance(/customer): 28.00 Average time home: 19:20 Minimizing contract-failing yes Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 23 hours

7		Strategy: Shortest route day-begin Times simulation: 3 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 69 Average distance(/day): 213.41 km Average queue length(/day): 8.5 Average customers(/day): 6.9 Average distance(/customer): 30.63 Average time home: 19:08 Minimizing contract-failing: yes Percentage of contracts failed: 12 % Average waiting time customer: 23 hours
3		Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 71 Average distance(/day): 196.33 km Average queue length(/day): 8.4 Average customers(/day): 7.1 Average distance(/customer): 27.38 Average time home: 19:24 Minimizing contract-failing: yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 21 hours
5	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 70 Average distance(/day): 195.85 km Average queue length(/day): 8.7 Average customers(/day): 7.0 Average distance(/customer): 27.78 Average time home: 19:04 Minimizing contract-failing: no Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 21 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 71 Average distance(/day): 200.13 km Average queue length(/day): 8.4 Average customers(/day): 7.1 Average distance(/customer): 28.15 Average time home: 19:33 Minimizing contract-failing: yes Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 21 hours
6		Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 10 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 70 Average distance(/day): 195.99 km Average queue length(/day): 9.0 Average customers(/day): 7.0 Average distance(/customer): 27.84 Average time home: 19:11 Minimizing contract-failing: yes Percentage of contracts failed: 9 % Average waiting time customer: 22 hours
7	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 3 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 70 Average distance(/day): 203.37 km Average queue length(/day): 7.3 Average customers(/day): 7.0 Average distance(/customer): 28.78 Average time home: 18:28 Minimizing contract-failing: no Percentage of contracts failed: 6 % Average waiting time customer: 17 hours	Strategy: Shortest route after customer Times simulation: 3 Days of each simulation: 10 days Handled customers(/sim): 72 Average distance(/day): 205.64 km Average queue length(/day): 7.8 Average customers(/day): 7.2 Average distance(/customer): 28.30 Average time home: 19:01 Minimizing contract-failing: yes Percentage of contracts failed: 10 % Average waiting time customer: 20 hours

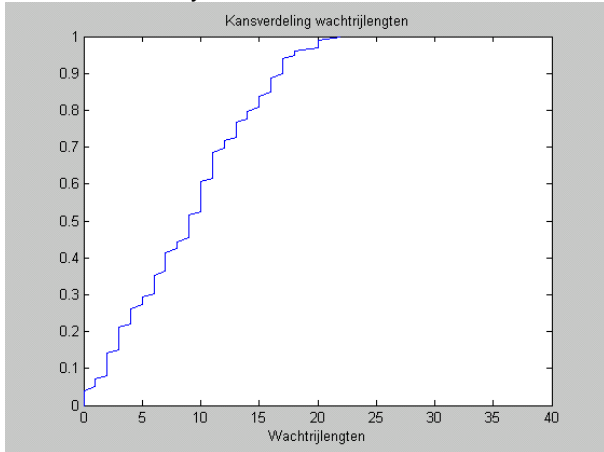








10 4 6 y



10 4 7 n

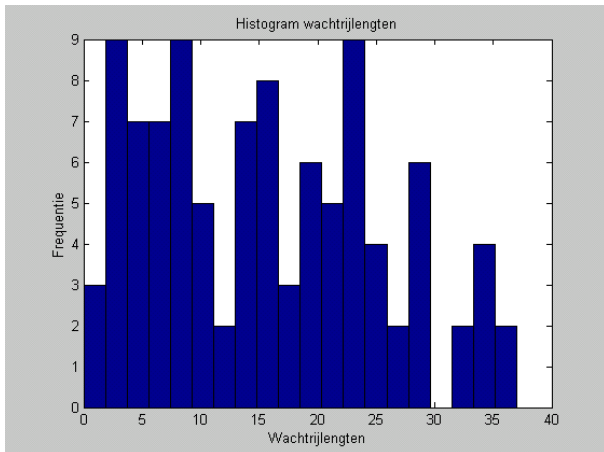
Niet beschikbaar wegens te lange simulatietijden

10 4 7 y

Niet beschikbaar wegens te lange simulatietijden

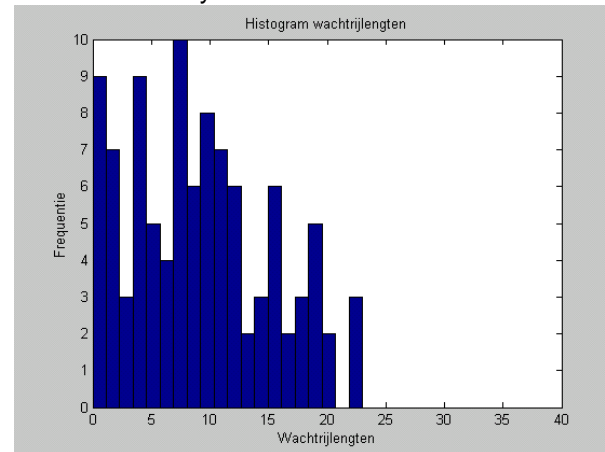
#simulaties	Strategie	#stappen	x uurs contracten?
-------------	-----------	----------	--------------------

10 1

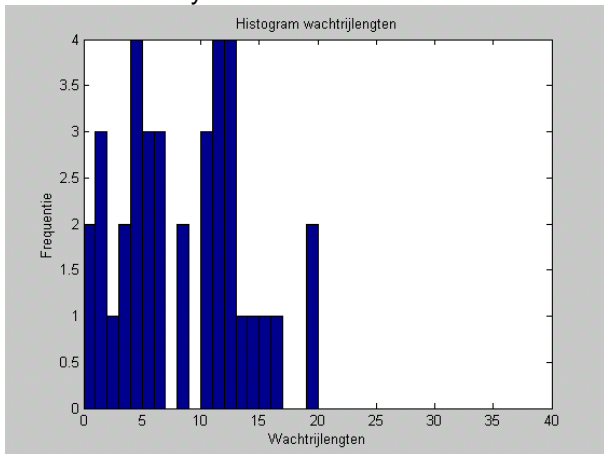


#simulaties	strategie	#stappen	x uurs contracten ?
-------------	-----------	----------	---------------------

10 3 6 y



10 3 7 y



10 4 3 y

