

Mathematische optimalisatie voor het opstellen van de wachtdienstregelingen voor apothekers

Lies HUYSEGOMS

Masterproef aangeboden tot het behalen van de graad van
Master of Science handelsingenieur

Promotor: Jeroen BELIËN

Copromotor: Freek ROMBAUTS

Academiejaar: 2013 – 2014

Verdedigd: juni 2014

Masterproef

MATHEMATISCHE OPTIMALISATIE VOOR HET OPSTELLEN VAN DE WACHTDIENSTREGELINGEN VOOR APOTHEKERS

Lies HUYSEGOMS

Abstract

Het opstellen van een wachtregeling voor de Vlaamse apotheken werd vroeger per regio gecoördineerd door de lokale wachtverantwoordelijken. Deze regeling bracht echter veel problemen met zich mee zoals een slechte spreiding van de wachtdiensten. Daarom is de Koninklijke Apothekersvereniging van Antwerpen, KAVA, vier jaar geleden gestart met het bedenken van Geowacht[®]. De organisatie Geowacht VZW bepaalt aan de hand van een heuristiek, Geowacht[®], de wachtregeling van meer dan 2000 Vlaamse apotheken. In dit onderzoek bekijken we in samenwerking met KAVA of het mogelijk is deze heuristiek te vervangen door een set covering model. Er worden drie verschillende set covering modellen opgesteld: één model voor de dagwachten, één model voor de nachtwachten afhankelijk van de dagwachten en één model waarbij de nachtwachten onafhankelijk van de dagwachten worden berekend. Dankzij de data die KAVA ter beschikking heeft gesteld hebben we het model voor de onafhankelijke nachtwachten kunnen uittesten in IBM ILOG CPLEX 12.6. Het is echter zo dat door de grote hoeveelheid aan inputdata het model een erg lange rekentijd vraagt. Na 240 uur te hebben gedraaid op een server met 24 logische processoren en 16GB RAM geheugen werd er nog steeds geen oplossing gevonden voor het volledige model. Verder onderzoek zal dan ook moeten uitwijzen of het mogelijk is inzichten van dit onderzoek over te nemen in de praktijk.

1. Inleiding

Vroeger werden de wachtdiensten van de Vlaamse apothekers opgesteld per regio door wachtverantwoordelijken. Dit bracht echter enkele nadelen met zich mee zoals een slechte spreiding van de wachtdiensten en een teveel aan wachtbeurten voor apothekers binnen een kleinere wachtkring. Deze klachten zijn dan ook de reden geweest voor het opstarten van dit onderzoek. De initiële doelstelling bestond er in om een model op te stellen voor de nachtdiensten van de Vlaamse apotheken. Tijdens het opzoekwerk naar de verdere details rond de huidige manier van opstellen van de nachtdiensten en bij de aanvang van het verzamelen van de benodigde data kwamen we tot de ontdekking dat er reeds een organisatie vier jaar geleden was gestart met een gelijkaardig onderzoek. De Koninklijke Apothekersvereniging van Antwerpen, KAVA, was reeds enkele jaren geleden ingegaan op de klachten van de apothekers rond het organiseren van de wachtdiensten.

De heuristiek die door KAVA is ontwikkeld, genaamd Geowacht[®], stelt de wachtdiensten op van alle apothekers in de deelnemende Vlaamse regio's, dit zowel voor de dagwachten als voor de nachtwachten. Initieel waren ze hiermee gestart voor alleen de Antwerpse apothekers maar toen is gebleken dat ook andere provincies interesse hadden om deel uit te maken van Geowacht VZW. Geowacht[®] probeert de wachtdiensten te berekenen zodat alle wachtregelingen optimaal gespreid worden en eerlijk zijn verdeeld. Het model dat aan de basis ligt van Geowacht VZW bestaat uit drie opeenvolgende algoritmes die zijn opgesteld door de informatica afdeling van KAVA.

Geowacht VZW voorziet elke apotheek van een individuele wachtaffiche en helpt de klanten met het terugvinden van de dichtstbijzijnde "apotheek van wacht" via internet, app of een algemeen telefoonnummer.

De doelstelling van dit onderzoek werd dan ook aangepast eens deze informatie aan het licht kwam. Het vernieuwde doel van dit onderzoek bestaat er in te bepalen of het huidige systeem, ontwikkeld door KAVA, niet kan verbeterd worden. Het model dat binnen dit onderzoek wordt ontwikkeld is een set covering model en heeft een sterke wiskundige onderbouwing. Dit is dan ook het grote verschil tussen beide modellen. Verder in deze paper zal het nieuwe model, aan de hand van door KAVA ontwikkelde software, worden vergeleken met het huidige model. Hierdoor kunnen we bepalen of het gebruik van een wiskundig optimalisatiemodel voor het opstellen van de wachtroosters in de praktijk voor een toegevoegde waarde kan zorgen.

Het volgende hoofdstuk specificeert de onderzoeksvragen die we wensen te beantwoorden in dit onderzoek. In een tweede hoofdstuk wordt de literatuur rond het onderzoeksonderwerp bekeken om het model wetenschappelijk te kunnen onderbouwen. Vervolgens worden er in het hoofdstuk Methodologie alle stappen die er zijn doorlopen doorgenomen en worden ook het opgestelde model en de data besproken. In de twee laatste hoofdstukken bekijken we de resultaten van het uitvoerde model en worden de conclusies van dit onderzoek beschreven.

1.1 Onderzoeksvragen

Doorheen dit onderzoek zijn er enkele vragen die we wensen te beantwoorden. De hoofdvraag kunnen we als volgt formuleren:

Welke aanpassingen kunnen we aanbrengen aan het huidig systeem van wachtdiensten voor Vlaamse apothekers aan de hand van het set covering model?

Deze hoofdvraag kan worden opgesplitst in enkele deelvragen:

Hoe bepaalt het huidige model, ontwikkeld door KAVA, de wachtregelingen van de Vlaamse apothekers?

Welke voorkeuren van apothekers en klanten moeten er zeker in acht genomen worden bij het opstellen van het model?

Welke regelgeving omtrent wachtdiensten van Vlaamse apothekers moeten we in rekening brengen?

Is het mogelijk het nieuwe model te implementeren in het systeem Geowacht®?

Een antwoord op de eerste onderzoeksvraag is terug te vinden in het tweede hoofdstuk van deze paper. In de paragraaf 2.3 wordt het huidige model volledig beschreven. In dit hoofdstuk is ook het antwoord op de tweede en derde deelvraag beschreven in paragraaf 2.2. Het antwoord op de laatste deelvraag wordt beschreven in het hoofdstuk Resultaten.

2. Literatuurstudie

2.1 Het set covering model

De literatuurstudie heeft tot doel ons meer vertrouwd te maken met de wetenschappelijke achtergrond van het set covering model en de empirische toepassingen van dit optimalisatiemodel.

Winston (2004) beschrijft het set covering model als een probleem waarbij men elk element van een bepaalde set moet "dekken" door een element vanuit een tweede set, rekening houdend met opgegeven eigenschappen en beperkingen. Enkele voorbeelden van mogelijke beperkingen zijn de voorkeuren van stakeholders, de wetgeving, capaciteitsbeperkingen die in acht moet worden genomen en kosten die beperkt moeten worden of een bepaald budget dat niet overschreden mag worden. In het model dat we wensen op te stellen zijn het zowel de wensen van de Vlaamse apothekers die in acht moeten worden genomen als de wetgeving omtrent de nachtelijke wachtdiensten (Koninklijk Besluit houdende onderrichtingen voor de apothekers, 2009). De bedoeling van het set covering model is om een optimale vorm van "dekking" te vinden waarbij men een minimaal aantal elementen van de tweede set moet aanspreken. Als we deze omschrijving toepassen op het onderwerp binnen dit onderzoek kunnen we de eerste set van elementen definiëren als de klant die na de normale openingsuren op zoek is naar een apotheek en de tweede set als de Vlaamse apotheken.

Om set covering modellen volledig te begrijpen is het nodig om eerst een goed overzicht te krijgen van alle ontwikkelingen binnen dit domein. Het eerste grote onderscheid dat men kan maken op het vlak van set covering modellen is het verschil tussen statische en dynamische modellen. Het dynamische model laat toe dat er veranderingen over de tijd plaatsvinden in de gebruikte parameters (Chrissis, Davis, & Miller, 1982), dit als een uitbreiding op de statische modellen eerder dan een verbetering ervan. In dit artikel lezen we dat hier reeds sprake is van de mogelijkheid deze techniek toe te passen binnen de medische sector, meer bepaald bij optimalisatieproblemen omtrent dienstverlening in noodsituaties. In onze studie gaat het om een dynamisch model. Als een apotheker van wacht is in een periode k kan hij hierna een bepaalde tijd niet meer van wacht zijn. Dit is dan een verandering in de beschikbaarheid van de apotheker.

Verdere ontwikkelingen binnen het domein van set covering modellen zijn door de jaren heen tot stand gekomen. Zo kan men stellen dat een set covering model niet één vaststaand model is maar dat er verschillen mogelijk zijn binnen het algemene model, elk met dan eigen specifieke beperkingen en toepassingsgebieden (Farahani, Asgari, Heidari, Hosseini, & Goh, 2012). Het verzamelwerk van Farahani et al. (2012) is tijdens dit onderzoek als ondersteuning gebruikt om de keuze van het type set covering model te onderbouwen.

Het domein van toepassingen voor set covering modellen is zeer ruim en ze worden vaak gebruikt bij het oplossen van praktische problemen (Farahani et al., 2012). Winston (2004) geeft aan dat het set covering model kan gebruikt worden bij het inplannen van werkschema's van vlieghavenpersoneel (Medard, & Sawhney, 2007), het opdelen van een regio in politieke districten (Garfinkel, & Nemhauser, 1970) en de routebepaling van vrachtwagens (Villegas, Prins, Prodhon, Medaglia, & Valasco, 2013). Zelfs de optimalisatie van de lokalisering van afvalverwerking- en recyclage bedrijven (Ye, Ye, & Chuang, 2011) en de optimalisatie van de thuislevering van pizza's (Eiselt & Marianov, 2008) kunnen uitgevoerd worden met behulp van een set covering model.

Onderzoek omtrent toepassingen van het set covering model in de medische wereld heeft zich tot nu toe voornamelijk toegespitst op het oplossen van optimalisatieproblemen met betrekking tot positionering van ambulances (Rajagopalan, Saydam, & Xiao, 2008; Shariat-Mohaymany, Babaei, Moadi, & Amiripour, 2012). Beide studies proberen om aan de hand van een set covering model het minimum aantal en de locatie van stand-by ambulances te bepalen zonder dat dit ten koste gaat van wachttijden voor slachtoffers.

Het grootste verschil met het probleem dat binnen dit onderzoek wordt bekeken is dat het aantal mogelijke locaties binnen deze probleemstelling vaststaand zijn. In Rajagopalan et al. (2008) en Shariat-Mohaymany et al. (2012) gaat men het model oplossen aan de hand van een heuristiek terwijl we in dit onderzoek werken met optimalisatiesoftware. Zowel het model in Rajagopalan et al. (2012) als dat van deze studie is een dynamisch set covering model dat rekening houdt met de mogelijke veranderingen in de parameters van het model. Shariat-Mohaymany et al. (2012) beschrijven een model dat rekening houdt met de capaciteit van de verschillende ambulances. Hier moeten we in ons onderzoek ook rekening mee houden omdat een apotheek geen onbeperkte capaciteit heeft.

In de laatste decennia werden set covering modellen intensief bestudeerd, zowel op het vlak van methodologische verbeteringen als op het vlak van innovatieve toepassingen. Dit onderzoek is een stimulans om verder te bekijken welke empirische toepassingen er mogelijk zijn binnen de verschillende sectoren in onze samenleving.

2.2 De beperkingen binnen het model

Bij het opstellen van het model moeten we rekening houden met twee belangrijke betrokken partijen, namelijk de patiënten die op zoek zijn naar een apotheek buiten de normale openingsuren en de apothekers zelf. Beide partijen hebben speciale noden die we met behulp van de beperkingen in het model opnemen.

Om de patiënt in zekere mate te beschermen, is er wetgeving opgesteld die enkele eisen stelt omtrent de wachtdiensten. Deze regelgeving is terug te vinden in het Koninklijk Besluit houdende onderrichtingen voor de apothekers van 21 januari 2009. De belangrijkste bepalingen voor het model zijn dat elke apotheek aan de wachttol moet deelnemen. De wachtdienst vindt dagelijks plaats tussen 19u 's avonds en 8u 's morgens. Tijdens deze wachtdienst moet in de wachtdoende apotheek steeds een apotheker aanwezig zijn. KAVA houdt voor het opstellen van de wachtdienst ook rekening met de richtlijnen van de huisartswachtposten. Deze richtlijn vermeldt dat de afstanden tussen twee verschillende beschikbare huisdokers maximaal 20 kilometer mag bedragen. Deze beperking heeft KAVA opgenomen in hun model voor het opstellen van de wachtdiensten voor apothekers.

De voorkeuren van de apothekers hebben betrekking tot het kunnen kiezen van een vrij weekend, de eerlijke verdeling van de wachtdiensten over alle beschikbare apotheken per periode, ... In de literatuur zijn er voorbeelden terug te vinden waarbij men rekening houdt met zulke voorkeuren in het kader van medische dienstverlening (Güler, Idin, & Güler, 2013; Topaloglu, 2006).

Güler et al. (2013) bepalen in hun onderzoek een model om de dienstregeling van dokters in opleiding van de diensten anesthesie en reanimatie op te stellen. Enkele van de voorkeuren die de dokters in opleiding hebben opgelegd in hun model komen overeen met de voorkeuren van de Vlaamse apothekers en kunnen dienen als eerste aanzet voor het ontwikkelen van het nieuwe model voor de wachtdienst van de apotheken. Eén van de beperkingen in het model houdt rekening met de vakantiedagen die een dokter wenst op te nemen. Ook binnen ons model moeten de ingeplande vakantiedagen van een apotheker in rekening gebracht worden.

Topaloglu (2006) bepaalt een dienstregeling voor dokters in opleiding die werken op de urgentiedienst van een ziekenhuis. Ook hier worden enkele voorwaarden opgelegd waarmee we binnen ons model rekening moeten houden. Deze voorwaarden zijn de mogelijkheid van het opnemen van vakantiedagen, een verplichte rustperiode onder de vorm van een vrij weekend en het feit dat men maar een beperkt aantal nacht of dag shiften achter elkaar mag ingeroosterd krijgen.

In de huidige heuristiek houdt men ook rekening met het aantal klanten die er toegewezen worden aan één apotheek. Tijdens een dagwacht ligt de populatie die toegewezen wordt aan een apotheek tussen 35 000 en 70 000 personen. Indien men minder dan 35 000 klanten toewijst aan een apotheek is het niet meer economisch rendabel voor een apotheek om te openen. Als men overdag meer dan 70 000 mensen toewijst aan een apotheek overschrijdt dit als het ware de capaciteit van de apotheek. Tijdens de nachtwacht kan men een iets hogere populatie toekennen aan de apotheken omdat 's nachts minder mensen nood hebben aan een apotheek. De waarden liggen voor een nachtwacht tussen 120 000 en 175 000 personen.

Als we kijken naar de verschillende voorwaarden die worden opgelegd aan ons model kunnen we stellen dat dit model onder de categorie "set covering problem" valt binnen de classificering van Farahani et al. (2012). Als we dan verder kijken binnen de categorie "set covering problem" zien we dat "capacitated set covering problem" het best aansluit bij het op te stellen model. Het "capacitated set covering problem" stelt dat men bij het opstellen van een model rekening moet houden met de verschillende vraag per locatie. Binnen ons onderzoek moeten we rekening houden met de minimale en maximale capaciteit van elke apotheek.

2.3 De verschillende oplossingsmethoden

Verbeteringen van de oplossingsmethoden van het set covering model worden veel besproken in de literatuur. Er zijn dan ook meerdere manieren om een set covering model op te lossen. Men kan zich baseren op de reeds bestaande heuristieken zoals bijvoorbeeld Tabu search (Gendreau, Laporte, & Semet, 2001; Rajagopalan, et al., 2008). Verder in de literatuur zijn er ook voorbeelden te vinden waarbij er een eigen heuristiek wordt ontwikkeld voor het oplossen van het model (Farahani et al., 2012; Solar, Parada, & Urrutia, 2002). Solar et al. (2002) hebben bijvoorbeeld een methode ontwikkeld, het parallel genetisch algoritme, dat de benodigde rekentijd doet dalen zonder te moeten inboeten op of zelfs met een verbetering van de kwaliteit van de gevonden oplossing.

De Middle-East Technical University heeft reeds een heuristiek ontwikkeld voor het optimaliseren van de wachtdiensten voor apotheken in Ankara (Özgür, Nar, Esen, Özkan, & Uygun, 2009). Binnen dit onderzoek heeft men een werkend model opgesteld op basis van simulated annealing. Deze heuristiek wordt een verbeteringsheuristiek genoemd en baseert zich op het proces binnen de metallurgie waarbij men metaal laat uitgloeien om zo sterkere en betere verbindingen te krijgen van de atomen binnen een metaal. Een nadeel bij het gebruik van elke heuristiek is dat men het vinden van een optimum niet kan garanderen.

Een tweede optie is om gebruik te maken van geheeltallige programmering. Hierbij implementeert men het opgestelde model in software zoals Excel Solver of IBM ILOG CPLEX (Frontline Systems, Inc. 2014; Beliën, Cardoen, & Demeulemeester, 2011; Spieksma, Goossens, & Demasure, 2006; IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, IBM Corp., 2013). Deze oplossingswijze heeft de afgelopen jaren aan populariteit gewonnen dankzij de ontwikkelingen in de computertechnologie (Rajagopalan et al., 2008). De technologische vooruitgang zorgde ervoor dat de rekenkracht van computers is toegenomen en men dus de modellen sneller kan oplossen. Het nadeel van werken met optimalisatiesoftware is dat deze nog steeds problemen heeft bij het oplossen van grote modellen met veel beperkingen.

Het huidige model, ontwikkeld door KAVA, wordt opgelost aan de hand van een heuristiek welke men in huis heeft ontwikkeld. Het opgestelde model bestaat uit drie verschillende algoritmen. Het eerste algoritme gaat op zoek naar alle mogelijke apotheken die in aanmerking komen voor een dagwacht. Men vertrekt van een database met alle apothekers die aangesloten zijn bij Geowacht VZW. Hieruit elimineert men dan alle apotheken die niet in aanmerking komen voor een dagwacht omdat deze in een rustperiode zitten, omdat ze vakantie hebben aangevraagd die periode, ... Van deze verkleinde dataset van apotheken gaat men de wachtfrequentie en de wachtcoëfficiënt berekenen. De wachtfrequentie geeft een indicatie van hoe vaak een apotheker van wacht is geweest ten opzichte van zijn burens en de wachtcoëfficiënt geeft een indicatie over hoelang de rustperiode van de apotheker op dat moment reeds loopt. Een rustperiode duurt verplicht vier weken en ideaal zou deze zich moeten situeren rond de acht weken.

Het tweede algoritme werkt dan verder met de gegevens vanuit het eerste algoritme en probeert op basis hiervan een geschikte regeling op te stellen voor de dagwacht. Men gaat hier voor elke beschikbare apotheek de selectiecoëfficiënt uitrekenen (een verhouding tussen de wachtfrequentie en -coëfficiënt). Het model kiest hierna één beschikbare apotheek en zoekt hierrond de apotheken die op de "goede" afstand liggen. De goede afstand wordt bepaald als de afstand waarbinnen de apotheek een optimale populatie krijgt toegewezen welke zich voor een dagwacht situeert tussen de 35 000 en 70 000 personen. Voor elk van de nieuw gekozen apotheken kijkt men weer welke apotheken op een "goede" afstand liggen. Hieruit volgt dan één mogelijke regeling voor de dagwacht. Op basis van deze eerste regeling gaat men verder zoeken naar mogelijke aanpassingen (het weghalen en toevoegen van apotheken) om een optimale regeling te verkrijgen. We kunnen dan ook concluderen dat het tweede algoritme bestaat uit een constructie- en een verbeteringsheuristiek. Het probleem dat is vastgesteld bij het gebruik van deze heuristieken is dat men niet kan garanderen om een optimale oplossing te genereren.

Het derde algoritme start van de gekozen regeling voor de dagwacht. Hierbij gaat men er vanuit dat enkel apotheken die een dagwacht kregen toegewezen ook een nachtwacht kunnen toegewezen krijgen. Het is echter geen verplichting om de nachtwacht afhankelijk van de dagwacht op te stellen. De dagwacht van een apotheek bestaat per week uit twee periodes waarvan de eerste loopt van maandag tot en met donderdag en de tweede van vrijdag tot en met zondag. Stel dat een apotheek een dagwacht heeft van maandag tot en met donderdag dan kan hij ofwel nachtwacht hebben op maandag en woensdag of op dinsdag en donderdag. Het algoritme houdt hier rekening mee door de apothekers toegewezen aan één periode van de dagwacht op te delen in twee groepen. De beste verdeling van apothekers in deze groepen gaat men proberen te verkrijgen door zo min mogelijk apotheken die tijdens de dagwacht burens zijn in dezelfde nachtwacht op te nemen. Indien er toch moet gekozen worden voor aangrenzende apotheken zal het algoritme steeds de verste apotheek uitkiezen. De oplossingen die men verkrijgt uit het algoritme zijn niet noodzakelijk optimale oplossingen omdat men werkt op basis van een heuristiek.

Het nieuwe model zal worden uitgewerkt en opgelost in IBM ILOG CPLEX. Nadien zullen we deze oplossing vergelijken met de oplossing van KAVA, voor dezelfde tijdsperiode van een half jaar. Deze vergelijking gebeurt met behulp van een door KAVA ontwikkeld vergelijkingsprogramma.

2.4 Conclusie literatuurstudie

Vooreerst kunnen we stellen dat een set covering model wel degelijk een gepaste methode is voor het optimaliseren van de wachtdiensten omdat het hier ook gaat over het bepalen van de optimale locaties voor de apotheken om bepaalde gebieden te 'dekken'.

Ten tweede stellen we vast dat men binnen de huidige literatuur weinig voorbeelden kan terugvinden over de toepassing van een set covering model bij apothekers en het onderzoek dus een aanvulling is aan het onderzoek rond set covering modellen en het gebruik hiervan, in de medische sector.

3. Methodologie

Dit onderzoek is gestart vanuit de vraag of het mogelijk is om een set covering model op te stellen voor het optimaliseren van de wachtdiensten van de Vlaamse apotheken.

De eerste stap in dit onderzoek bestond zowel uit het verzamelen van de afstanden tussen de verschillende apotheken als uit het ophoesten van de wensen van de apothekers en het verzamelen van de desbetreffende wetgeving. Om aan deze informatie te komen hebben we contact gelegd met verschillende organisaties zoals de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid en de verschillende Ordes der Apothekers. Uit deze communicatie is gebleken dat KAVA reeds enkele jaren bezig was met het ontwikkelen van een verbeterd model voor het opstellen van de wachtdiensten.

Na deze ontdekking hebben we contact opgenomen met de heer Luc Coppens, voorzitter van KAVA, om te bespreken of het mogelijk was om meer informatie te verkrijgen over hun model. KAVA was geïnteresseerd in dit onderzoek en hierdoor is er een samenwerking tot stand gebracht met KAVA. Zij hebben dit onderzoek van de juiste data kunnen voorzien en hebben ook de nodige informatie kunnen verstrekken omtrent de wetgeving. Vervolgens hebben er verschillende contactmomenten plaats gevonden waarin er meer uitleg werd verschaft over het model dat binnen KAVA werd hebben ontwikkeld en de verschillende beperkingen en voorwaarden die verbonden zijn met de wensen van apothekers, klanten en wetgeving.

Tijdens deze gesprekken is ook aan het licht gekomen dat er nog steeds bepaalde klachten waren van de apothekers over de nieuwe wachtregeringen. Eén van deze klachten bestaat uit het feit dat het huidige model steeds een nachtwacht opstelt die afhankelijk is van de dagwacht. Dit wil zeggen dat enkel apotheken die een dagwacht krijgen toegewezen in een bepaalde periode ook een nachtwacht kunnen krijgen toegewezen. Het zijn voornamelijk de apotheken in "seizoensgebonden" regio's die hier het meest onder lijden. Voor bijvoorbeeld apotheken in onze kustregio is het tijdens de zomer sowieso al heel wat drukker overdag dan in de andere seizoenen. Om dan na een dagwacht ook nog een nachtwacht op zich te moeten nemen is voor deze apothekers zeer vermoeiend.

Daarom is de doelstelling van dit onderzoek dan ook licht gewijzigd van het opstellen van een model voor de wachtdiensten naar het opstellen van een set covering model dat een verbetering of toegevoegde waarde kan creëren voor de praktijk.

3.1 Set covering modellen

Op basis van de data die door KAVA werd aangereikt en de inzichten in hun model hebben we drie set covering modellen opgesteld. Omdat de huidige situatie een afhankelijkheid creëert tussen de dagwacht en de nachtwacht is het eerste model ontwikkeld om een losstaande nachtwacht te kunnen opstellen. Dit model is de kern van dit onderzoek en werd als enige van de drie modellen uitgevoerd in IBM ILOG CPLEX.

Het tweede model optimaliseert de dagwachten van de apotheken. Daarbij aansluitend is er het derde set covering model dat een nachtwacht opstelt die afhangt van de output van het tweede model voor de dagwachten. Deze modellen zijn niet geïmplementeerd in IBM ILOG CPLEX maar zijn zeker uitvoerbaar vermits al de data hiervoor aanwezig is bij KAVA.

3.1.1 Model voor nachtwacht onafhankelijk van dagwacht

Binnen het model van KAVA wordt er met vier voorwaarden rekening gehouden. De eerste voorwaarde is dat een apotheker na zijn wachtperiode een rustperiode moet krijgen van minstens vier weken en optimaal acht weken.

Een tweede belangrijk element is dat de wachtdiensten voor de apotheken economisch haalbaar moeten zijn. Dit houdt in dat wanneer een apotheker van wacht is hij voldoende klanten krijgt toegewezen maar ook weer niet te veel. Men moet dus rekening houden met de "capaciteit" van een apotheek. Het is dus van belang om aan de hand van de bevolkingsspreiding een minimale zone toe te kennen aan elke apotheek binnen dewelke geen enkele andere apotheek mag van wacht zijn en een maximale zone waarbinnen toch minstens één andere apotheek mee van wacht is. Bijvoorbeeld in het centrum van Leuven wonen meer mensen op eenzelfde oppervlakte dan op het platteland. In Leuven zullen dus twee apotheken van wacht dicht bij elkaar moeten liggen dan bijvoorbeeld in Erps-Kwerps.

Een derde wens van de apotheken die zeker ook in rekening moet genomen worden is de keuze van de verlofperioden, het sluiten van de apotheken wegens economische redenen en dergelijke.

Daarentegen mag men ook niet enkel kijken naar de wensen van de apothekers zelf. Er is ook één voorwaarde waarbij men rekening houdt met de noden van de klant. Er moet over gewaakt worden dat een klant steeds binnen een redelijke afstand een apotheek kan bereiken. Bij KAVA hebben ze hiervoor een richtlijn van 20 kilometer opgelegd. Het is echter zo dat, als men rekening houdt met de economische haalbaarheid voor de apotheken die momenteel zijn aangesloten bij Geowacht VZW, de apotheken nooit verder dan 20 kilometer van elkaar verwijderd zullen zijn en dus aan de wens van de klant ook steeds voldaan is. Daarom nemen de beperkingen in het model alleen de drie voorwaarden met betrekking tot de apotheken in acht.

3.1.1.1 Beschrijving data

KAVA heeft het onderzoek voorzien van de nodige data. Alle data werd aangeleverd onder de vorm van csv-bestanden en zijn bewerkt in Excel. De vier bestanden die in dit model gebruikt zijn worden hieronder kort beschreven. In de bijlagen zijn er geen uittreksels van deze bestanden terug te vinden vermits het gaat over betaalde data die in vertrouwen voor dit onderzoek ter beschikking werd gesteld.

Het eerste bestand, "Apothekers", bevat alle namen, adressen, telefoonnummers en andere privé gegevens van de apothekers in Vlaanderen. Ook wordt er in het document aangegeven welke apotheken er al dan niet deelnemen aan Geowacht VZW. In de data worden 2107 Vlaamse apotheken gedefinieerd die aanwezig zijn in de regio's waarvoor het model wordt opgesteld. Van deze 2107 apotheken zijn er uiteindelijk maar 1745 die wensten deel te nemen aan Geowacht VZW tijdens de eerste helft van 2014. In het Excel document dat gebruikt wordt als input voor IBM ILOG CPLEX werden initieel alle 2107 apotheken opgenomen maar deze die niet wensten deel te nemen werden als onbeschikbaar ingeschreven voor de hele tijdsspanne van het model.

Een tweede bestand, "Blackpoints", specificeert per halve week welke apothekers niet beschikbaar zijn wegens ziekte, vakantie, economische redenen of feestdagen. Vakanties moeten een jaar op voorhand door de apothekers worden ingestuurd naar KAVA via een daarvoor beschikbare website. Eén vakantieperiode bestaat steeds uit een halve week en in totaal mogen maximaal 12 halve weken vrij genomen worden per half jaar. De regel voor het werken gedurende feestdagen stelt dat wanneer een apotheek op een feestdag een wachtdienst heeft toegewezen gekregen, deze apotheker op deze feestdag de komende negen jaar niet meer van wacht hoeft te zijn.

In elke volledige week zijn er vier nachtdiensten. Het model werd opgesteld voor de eerste 26 kalenderweken van 2014. Het model en de inputgegevens voor IBM ILOG CPLEX tellen dus 104 perioden. Wanneer een apotheek wordt toegewezen aan een bepaalde periode heeft hij al de nachten (vanaf 22u tot 9u) van deze periode wachtdienst. Elke week wordt opgedeeld in de volgende vier perioden:

- Eerste periode in een week: maandag + woensdag
- Tweede periode in een week: dinsdag + donderdag
- Derde periode in een week: vrijdag + zondag
- Vierde periode in een week: zaterdag

De enige keren dat hiervan wordt afgeweken is met Paasmaandag en Pinkstermaandag. Dan wordt maandag toegevoegd aan de vierde periode van de week voordien.

De gegevens uit de twee hoger vernoemde documenten werden samengevoegd en omgevormd in Excel naar een inputmatrix voor parameter B (hieronder beschreven). Elke rij van deze matrix stelt een apotheek voor en elke kolom geeft juist één wachtpriode aan. In de matrix staat de waarde "1" voor het beschikbaar zijn van een apotheker in een bepaalde periode. De waarde "0" werd toegekend indien een apotheker niet beschikbaar is voor een nachtdienst.

Het volgende bestand dat gebruikt is tijdens dit onderzoek is: "Apoparameters". Hierin wordt per apotheek beschreven hoe ver de eerstvolgende apotheek met wachtdienst mag of moet liggen. KAVA heeft berekeningen uitgevoerd op basis van de bevolkingsspreiding en het minimaal, optimaal en maximaal aantal mensen toegekend aan een apotheek gedurende een nachtdienst. Daarbij werd de minimaal toegewezen populatie bepaald op 120 000 personen, de optimale op 137 500 personen en de maximale op 175 000 personen. Aan elke apotheek worden er in het bestand "Apoparameters" dan ook drie verschillende waarden toegekend: een minimale, optimale en maximale afstand. Deze waarden zijn verschillend per apotheek maar overschrijden nooit 20 kilometer tot de volgende apotheek met nachtdienst.

Er waren echter 20 apotheken waarvoor geen data beschikbaar was in het bestand "Apoparameters". Na contact met KAVA is gebleken dat dit een gevolg is van een fout in de data die zij aangeleverd krijgen van een externe leverancier. Deze apotheken werden dan ook verwijderd uit alle datasets waardoor het aantal apotheken in het model tot 2087 herleid werd.

Het laatste csv-bestand "Distance Matrix" bevat alle afstanden tussen alle apotheken onderling. Het was echter zo dat dit bestand te groot was om volledig te kunnen geopend te worden binnen Excel. In Excel is het mogelijk om tot 1 048 576 rijen weer te geven en te bewerken (Microsoft Corporation, 2014). Het bestand bevat echter 2 568 127 rijen. Om toch de benodigde formules toe te kunnen passen in Excel is het document "Distance Matrix" omgevormd aan de hand van een in C++ geschreven programma tot een matrix van 2107 op 2107 apotheken welke wel bewerkbaar is in Excel.

Na deze omvorming is er aan het licht gekomen dat één apotheek die wel werd opgegeven in de andere bestanden niet voorkwam in de "Distance Matrix". Ook deze apotheek is verwijderd uit alle inputbestanden voor het model. Het uiteindelijke aantal apotheken in het model is dus 2086.

Op basis van de bestanden "Apoparameters" en de omgevormde "Distance Matrix" zijn de inputbestanden voor de parameters $Min_{a,a'}$ en $Max_{a,a'}$ aangemaakt. Beide zijn Excel bestanden met matrices van 2086 apotheken op 2086 apotheken. De parameter $Min_{a,a'}$ krijgt een waarde "1" als apotheek a' binnen een straal gelijk aan de minimale afstand rond apotheek a ligt. Is dit niet het geval dan zal parameter $Min_{a,a'}$ de waarde "0" aangeven. Voor parameter $Max_{a,a'}$ geldt hetzelfde maar dan voor wat de maximale straal betreft.

3.1.1.2 Sets en parameters

Om de beperkingen en de doelfunctie te kunnen bepalen moeten eerst de sets, variabelen en parameters van het model worden gedefinieerd. Er wordt gebruik gemaakt van twee sets:

- A is de set van apotheken met $A = \{\text{apothek 1, apothek 2, apothek 3, ..., apothek 2086}\}$
- P is de set van perioden met $P = \{\text{periode 1, periode 2, periode 3, ..., periode 104}\}$

De verschillende beslissingsvariabelen, waarin $a \in A$ en $p \in P$ zijn:

- $x_{a,p} = 1$ als apothek a in periode p van wacht is, anders 0
- $e_{a,p} = 1$ als de dichtstbijzijnde apothek van wacht op een grotere afstand dan de maximale verwijderd ligt van apothek a , in periode p , anders 0
- $meer_dan_8_{a,p} = 1$ als apothek a in periode p een rustperiode heeft die langer duurt dan 8 weken, anders 0
- $minder_dan_8_{a,p} = 1$ als apothek a in periode p een rustperiode heeft die minder lang duurt dan 8 weken, anders 0

Tot slot moeten er ook nog drie parameters worden aangemaakt waarin $a \in A$, $p \in P$ en $a' \in A$ en verschillend is van a :

- $B_{a,p} = 1$ als apothek a in periode p beschikbaar is, anders 0
- $Max_{a,a'} = 1$ als apothek a' op minder dan de maximale afstand ligt van apothek a , anders 0
- $Min_{a,a'} = 1$ als apothek a' op minder dan de minimale afstand ligt van apothek a , anders 0

3.1.1.3 Beperkingen

Via de beperkingen binnen het model kunnen we de voorwaarden waaraan de wachtdiensten moeten voldoen afdwingen en deze kunnen als volgt beschreven worden.

$$(1) \forall a \in A, \forall p \in P \quad x_{a,p} \leq B_{a,p}$$

Deze beperking geeft aan of de apotheker wel of niet beschikbaar is voor het uitvoeren van een wacht. Als apotheker a bijvoorbeeld vakantie heeft aangevraagd in periode p zal $B_{a,p}$ gelijk zijn aan nul en is het niet mogelijk om de apothek dan een wachtdienst toe te kennen.

$$(2) \forall a \in A, \forall p \in P, \forall a' \in A \mid Min_{a,a'} = 1 \quad x_{a,p} + x_{a',p} \leq 1$$

Beperking (2) geeft weer dat binnen een straal van de minimale afstand rond apothek a , als apothek a van wacht is, er geen tweede apothek van wacht mag zijn.

$$(3) \forall a \in A, \forall p \in P \quad \sum_{a' \in A \mid Max_{a,a'} = 1} x_{a',p} \geq 1 - e_{a,p}$$

De derde beperking in het model stelt dat er binnen de maximale afstand rond elke apotheek minstens één andere apotheek van wacht moet zijn. Dit is echter een zachte beperking en het is dus mogelijk hiervan af te wijken. Dit is nodig omdat er apotheken zijn die zich in de grensgebieden bevinden. In deze grensgebieden bevinden zich vaak maar enkele apotheken op grotere afstand van elkaar. Elke afwijking wordt echter "bestraft" in de doelfunctie.

Initieel werd er in het model, aan de hand van een extra zachte beperking, ook gespecificeerd dat de afstand tussen twee apotheken van wacht zo dicht mogelijk bij de optimale afstand moet liggen. Deze beperking was echter onmogelijk uit te voeren in IBM ILOG CPLEX. In de beperking werd een binaire variabele aangemaakt met een dimensie van 2086 op 2086 op 104. De aanmaak van deze variabele bleek te veel van het geheugen van de optimalisatiesoftware te vragen en werd ook als niet essentieel beschouwd door KAVA. Daarom werd deze beperking uit het model verwijderd.

$$(4) \forall a \in A, \forall p \in P | p \leq 88 \quad \sum_{p'=p}^{p+16} x_{a,p'} \leq 1$$

Deze beperking geeft aan dat elke apotheker die van wacht is geweest minstens vier weken, ofwel 16 perioden, rust moet krijgen na diens wachtdienst.

$$(5) \forall a \in A, \forall p \in P | p \leq 72 \quad \sum_{p'=p}^{p+32} x_{a,p'} + \text{meer_dan_}8_{a,p'} = 1 + \text{minder_dan_}8_{a,p'}$$

De laatste beperking specificeert een optimale rustperiode van 8 weken, ofwel 32 perioden, na een wachtdienst. Ook deze beperking is een zachte beperking en men kan dus apothekers minder of meer dan 8 weken rust toekennen. Een rustperiode verschillend van 8 weken wordt "bestraft" in de doelfunctie.

3.1.1.4 Doelfunctie

$$(6) \text{minimaliseer} \sum_{a=1}^{2086} \sum_{p=1}^{104} 20 * \text{meer_dan_}8_{a,p} + 20 * \text{minder_dan_}8_{a,p} + 500 * e_{a,p}$$

In de doelfunctie komen de drie variabelen terug die werden gebruikt om de derde en de vijfde beperking van het model te verzachten. Aan deze variabelen wordt een straf toegekend in de doelfunctie zodat bij het minimaliseren ervan de software zoveel mogelijk van deze variabelen een waarde nul zal toekennen.

De bestraffing voor de variabele $e_{a,p}$ ligt hoger omdat er binnen KAVA de meeste nadruk ligt op het verkrijgen van een wachtregeling waarbij er voor elke apotheek van wacht binnen een maximale afstand een tweede apotheek van wacht te vinden is. De bestraffing van de variabelen $\text{meer_dan_}8_{a,p}$ en $\text{minder_dan_}8_{a,p}$ probeert ervoor te zorgen dat elke apotheker na een wachtdienst een gemiddelde rustperiode heeft van 8 weken. In bijlage 1 zijn zowel de mod- als de dat-bestanden uit IBM ILOG CPLEX van bovenstaand model weergegeven.

3.1.2 Model voor dagwacht

Het model voor de dagwacht kan een vervanging zijn voor het tweede algoritme in de heuristiek van KAVA en is gelijkaardig aan het onafhankelijke nachtwachtmodel. Ook in dit model moet men rekening houden met de rustperioden, de economische haalbaarheid van een dagdienst en de beschikbaarheid van de apothekers. Er zijn echter wel enkele verschillen en aanpassingen.

Eén voorwaarde komt hier extra aan bod ten opzichte van de nachtwachten. Sommige van de apotheken die deelnemen aan Geowacht VZW zijn aangesloten bij een kerngebied. Voor de dagwachten is het noodzakelijk dat er steeds één apotheek van de verschillende kerngebieden een wachtdienst krijgt toebedeeld.

3.1.2.1 Aanpassingen in de data

De data kan voor een deel overgenomen worden uit de inputdata van het vorige model. Alle gegevens uit het bestand "Apothekers" blijven bruikbaar en geven de apotheken weer die wensen deel te nemen met Geowacht VZW. Of je nu voor een dag- of een nachtwacht een regeling wenst uit te rekenen, de vakantiedagen en andere redenen waarvoor een apotheker niet beschikbaar kan zijn, zijn gekend.

Het eerste verschil waar men rekening mee moet houden is dat de perioden voor een dagwacht anders worden gedefinieerd dan deze voor een nachtdienst. Voor de dagwachten bestaat een week maar uit twee verschillende perioden en het model bevat dan ook maar 52 perioden voor een half kalenderjaar. Deze kunnen gedefinieerd worden als volgt:

- De eerste periode van een week: maandag tot en met donderdag (van 9u tot 22u)
- De tweede periode van een week: vrijdag tot en met zondag (van 9u tot 22u)

De uitzonderingen op Paas- en Pinkstermaandag zijn ook nog steeds geldig. Deze dagen worden toegevoegd aan de tweede periode van de week voorafgaand aan deze feestdag.

Het grootste verschil tussen de twee modellen voor wat de data betreft is terug te vinden in het bestand "Apoparameters". De daar opgegeven waardes liggen een heel stuk lager voor alle apotheken. Overdag zijn er dan ook veel meer mensen die langs zullen gaan bij een apotheek. Daarom worden er ook minder mensen toegewezen per apotheek. Het minimale aantal mensen dat dan moet worden toegewezen bedraagt 35 000, het optimale aantal ligt tussen de 50 000 en de 55 000 en het maximale aantal dat mag toegewezen worden bedraagt 70 000. Op basis van dit verschil en de "Distance Matrix" die nog steeds gelijk is gebleven, krijgt men andere waarden in de inputdata van parameters $Min_{a,a'}$ en $Max_{a,a'}$

Een extra element zijn de kerngebieden van de apotheken. Bij KAVA is er data beschikbaar die ons kan vertellen of een apotheker al dan niet is aangesloten bij een bepaald kerngebied.

3.1.2.2 Aanpassingen aan de sets en parameters

Het merendeel van de gedefinieerde sets, variabelen en parameters blijft gelijk. Er wordt nu gebruik gemaakt van de drie sets A , P en K waarbij A kan overgenomen worden van het vorige model en P kleiner is dan bij het vorige model ($P = \{\text{periode 1, periode 2, periode 3, \dots, periode 104}\}$).

- K is de set van kerngebieden met $K = \{\text{kerngebied 1, kerngebied 2, kerngebied 3, ..., kerngebied 5}\}$

Alle variabelen en parameters zijn gelijk aan deze van het vorige model. Er wordt wel één extra parameter toegevoegd waarin $a \in A$ en $k \in K$:

- $Kern_{a,k} = 1$ als apotheker a lid is van kerngebied k , anders 0

3.1.2.3 Beperkingen en doelfunctie

Voor het opstellen van een verdeling van dagwachten maken we gebruik van dezelfde beperkingen (1)-(5) als bij het vorige model. Er is wel een verschil in beide modellen omdat de parameters $Min_{a,a'}$ en $Max_{a,a'}$ andere waarden bevatten. Dit heeft tot gevolg dat er meer apotheken een dagwacht toebedeeld krijgen. De beperkingen die betrekking hebben op de rustperiode van apothekers moet aangepast worden aan het feit dat een periode nu uit een halve week bestaat.

$$(7) \forall a \in A, \forall p \in P | p \leq 44 \quad \sum_{p'=p}^{p+8} x_{a,p'} \leq 1$$

$$(8) \forall a \in A, \forall p \in P | p \leq 36 \quad \sum_{p'=p}^{p+16} x_{a,p'} + meer_dan_8_{a,p'} = 1 + minder_dan_8_{a,p'}$$

Er wordt ook een extra beperking (9) toegevoegd die rekening houdt met de kerngebieden. Deze beperking geeft aan dat binnen elk kerngebied minstens 1 apotheek een dagwacht moet krijgen. Indien dit niet mogelijk is wegens een tekort aan apotheken in een kerngebied kan deze beperking worden verzacht door in het rechterlid een variabele toe te voegen. Deze variabele wordt dan ook opgenomen in de doelfunctie met een bestraffing.

$$(9) \forall p \in P, \forall k \in K \quad \sum_{a \in A | Kern_{a,k}=1} x_{a,p} \geq 1$$

De doelfunctie voor dit model is overgenomen van doelfunctie (6) uit het vorige model. Het model bestraft ook hier de "overschrijdingen" in de zachte beperkingen. Voor de dagwachten wenst KAVA echter strenger te zijn op de twee afstandsvoorwaarden (beperkingen (2) en (3)). Dit kan door het toekennen van een zwaardere bestraffing in de doelfunctie. Bij de derde beperking heb je nog altijd het probleem van de apotheken in de grensgebieden. Als je van deze beperking een harde beperking maakt heeft dit tot gevolg dat er geen optimale oplossing meer is. In bijlage 2 is de mod-file voor het set covering model voor de dagwachten terug te vinden.

3.1.3 Model voor de nachtwacht afhankelijk van de dagwacht

In deze sectie bouwen we verder op het vorige model. De oplossing van het model voor de dagwacht wordt gebruikt als input voor het bepalen van een regeling voor de nachtwacht. De heuristiek die momenteel in gebruik is bij KAVA maakt gebruik van hetzelfde principe. Het model dat hieronder wordt beschreven kan dus een vervanging zijn voor het derde algoritme in de heuristiek van KAVA.

In dit model delen we de apotheken die voor een bepaalde periode een dagwacht kregen toegewezen op over de twee nachtwachten voor deze periode. Het model bevat dus twee periodes en moet 52 keer uitgevoerd worden.

Zoals reeds gezegd is het uitputtend voor een apotheker om zowel een dagwacht als een nachtwacht te moeten bemannen. Daarom moeten we zeker rekening houden met het feit dat een apotheker nooit beide periodes 's nachts van wacht moet zijn.

Ook moet er in het model weer gelet worden op de economische haalbaarheid van een wachtdienst. Dit is hetzelfde als in het eerste model beschreven in de paper, het model voor onafhankelijke nachtdiensten.

Een laatste element dat in rekening moet worden gebracht is dat, als KAVA een nachtdienst opstelt vanuit een dagdienst, ze een maximale spreiding van deze nachtdiensten binnen Vlaanderen voor deze apotheken beoogt. KAVA probeert er voor te zorgen dat de apotheken die geopend zijn tijdens een nachtwacht zo ver mogelijk van elkaar liggen, zonder daarbij de voorwaarde van de economische haalbaarheid te schenden.

3.1.3.1 Beschrijving data

Vooreerst hebben we de output van het vorige model nodig als input voor dit model om te bepalen welke apotheken er beschikbaar zijn voor een nachtwacht. Elke periode van het vorige model beslaat twee periodes in dit model voor de nachtdiensten.

Alle voorwaarden rond rustperiodes, kerngebieden en vakanties zijn reeds opgenomen in het vorige model en zijn dus ook verwerkt in de output ervan. Dit is dan ook de reden waarom we hiermee verder geen rekening gaan houden binnen dit model.

De data die we nodig hebben voor het uitschrijven van de beperkingen van economische haalbaarheid bij het opstellen van dit model is reeds omgevormd tijdens het opstellen van het eerste model voor de onafhankelijke nachtwachten. De inputbestanden voor IBM ILOG CPLEX voor parameters $Min_{a,a'}$ en $Max_{a,a'}$ kunnen dan ook worden overgenomen.

Wat we extra nodig hebben is een inputbestand dat de afstand tussen twee apotheken beschrijft. Dit kunnen we terugvinden in de omgevormde "Distance Matrix" vanuit het eerste model.

3.1.3.2 Sets en parameters

Ook hier kan het merendeel van de gedefinieerde sets, variabelen en parameters overgenomen worden. Er wordt nu gebruik gemaakt van twee sets A en P waarbij $P = \{\text{periode 1, periode 2}\}$. Een bijkomende beslissingsvariabele, waarin $a \in A$, $p \in P$ en $a' \in A$ en verschillend is van a zijn, is:

- $Z_{a,a',p} = 1$ als zowel apotheek a als apotheek a' tijdens periode p tegelijk een wachtdienst hebben, anders 0

Tot slot moeten er twee parameters worden aangemaakt waarin $a \in A$, $p \in P$ en $a' \in A$ en verschillend is van a :

- $DW_{a,p} = 1$ als apotheker a in periode p een dagwacht heeft toegewezen gekregen, anders 0
- $D_{a,a'}$ = de afstand tussen apotheek a en apotheek a'

3.1.3.3 Beperkingen

$$(10) \forall a \in A, \forall p \in P \quad x_{a,p} \leq DW_{a,p}$$

Enkel de apotheken die tijdens het vorige model een dagdienst hebben toegewezen gekregen komen in aanmerking voor een nachtwacht. Beperking (2) en (3) met betrekking tot economische haalbaarheid worden overgenomen uit het eerste model.

$$(11) \forall a \in A \quad \sum_p x_{a,p} \leq 1$$

Deze beperking geeft aan dat een apotheek maar één van beide perioden 's nachts van wacht kan zijn.

$$(12) \forall a \in A, \forall p \in P, \forall a' \in A \quad x_{a,p} + x_{a',p} \geq 2 * z_{a,a',p}$$

De laatste beperking in het model definieert de variabele $z_{a,a',p}$ die we later nodig hebben in de doelfunctie van het model om de afstand tussen twee apotheken van wacht te maximaliseren. Volgens de beperking zal de variabele $z_{a,a',p}$ enkel de waarde 1 aannemen als zowel apotheek a als apotheek a' tijdens een periode van wacht zijn.

3.1.3.4 Doelfunctie

$$(13) \textit{maximaliseer} \sum_{a=1}^{2086} \sum_{a'=1}^{2086} \sum_{p=1}^2 z_{a,a',p} * D_{a,a'} - 500 * e_{a,p}$$

De doelfunctie probeert de afstand tussen twee apotheken van wacht te maximaliseren. Ook wordt er een bestraffing opgenomen indien er gebruik gemaakt wordt van variabele $e_{a,p}$ die een speling mogelijk maakt in beperking (3). In bijlage 3 staat de mod-file voor het set covering model voor de nachtdiensten, afhankelijk van de dagwachten, beschreven.

4. Resultaat

Het model voor een nachtwachtdienst, onafhankelijk opgesteld van de dagwachtdienst zoals in detail besproken in paragraaf 3.1.1 is getest met de optimalisatiesoftware IBM ILOG CPLEX 12.6. De syntax die gebruikt werd voor dit model binnen deze software is terug te vinden in bijlage 1. Het programma is uitgevoerd op een computer voorzien van een Intel® Core™ i7 – 4500U, 1,80 GHz snelle processor met een RAM geheugen van 8 GB. Alleen dit model is getest met de optimalisatiesoftware omdat ons enkel voor dit model alle gegevens ter beschikking werden gesteld.

Omdat het hier gaat om een grote hoeveelheid aan gegevens is het model eerst getest aan de hand van kleinere datasets met 25, 50, 100, 300 en 600 willekeurig gekozen apotheken. Bij de berekeningen voor 25, 50, 100 en 300 apotheken is er in IBM ILOG CPLEX gespecificeerd dat de optimalisatie onderbroken moesten worden van zodra er een oplossing met een GAP van 5% of kleiner gevonden werd. Een oplossing met een GAP van 5% is een oplossing die 5% afwijkt van de optimale oplossing. Voor de dataset met 600 apotheken stond er een GAP van 7% gedefinieerd.

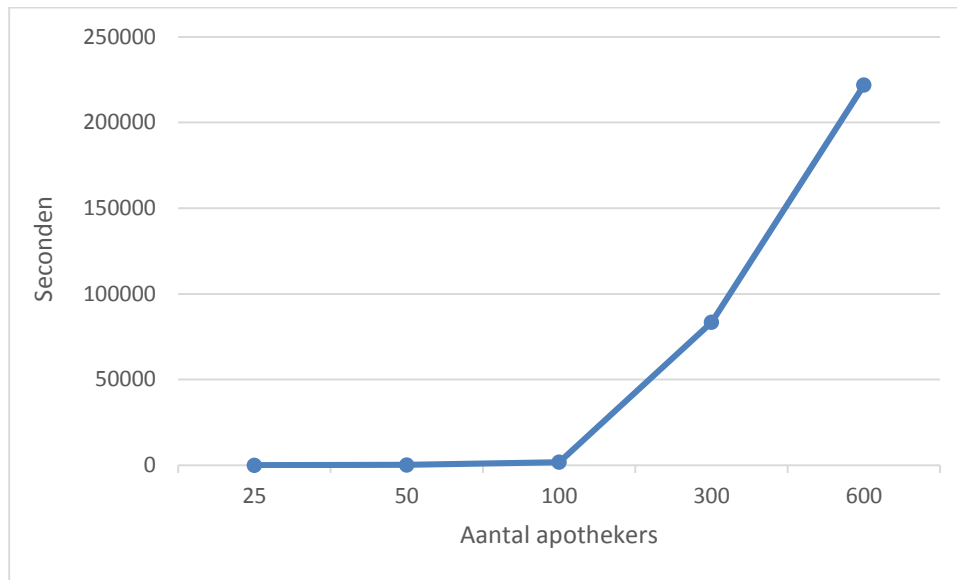
Tabel 1: Eigenschappen modellen met verkleinde datasets

Aantal apothekers	Aantal beperkingen	GAP gevonden oplossing
25 apothekers	19 392	3%
50 apothekers	53 552	0,2%
100 apothekers	163 368	3%
300 apothekers	1 049 832	5%
600 apothekers	1 956 144	6%

De oplossingen zijn steekproefsgewijs bekeken om na te gaan of het model aan de gestelde voorwaarden voldeed. Voor de beperkingen omtrent beschikbaarheid en rustperiode hebben we kunnen vaststellen dat hieraan steeds werd voldaan. De maximale afstandsbeperking was een zachte beperking. Hiervoor is er vastgesteld dat naarmate we meer apotheken aan het model toevoegden er minder gebruik werd gemaakt van de bestraffende variabele.

Naarmate er aan de dataset meer apothekers worden toegevoegd daalt het gemiddeld aantal keer dat een apotheker 's nachts van wacht is. Voor een dataset van 100 apothekers is dit een gemiddelde van 3,96 nachtwachten per half jaar. Voor een dataset met 300 en 600 ligt dit gemiddelde respectievelijk op 3,15 en 2,93 nachtwachten. Dit toont aan dat het mogelijk is een apotheker een gemiddelde rustperiode van 8 weken te gunnen tussen twee nachtdiensten.

Grafiek 1: Rekentijd modellen met verkleinde datasets



Zoals reeds bewezen door Richard M. Karp is het set covering model een NP-compleet model. Dit heeft tot gevolg dat naarmate de inputdata van het probleem omvangrijker zijn de rekestijd van het model exponentieel zal toenemen (Karp, 1972). We zien dit ook gebeuren voor dit model als we kijken naar bovenstaande grafiek. Hierin zijn de rekestijden van de verschillende modellen uitgezet.

Bij het testen van het model met 2086 apotheken en 9 094 408 beperkingen is daarom ook gekozen om gebruik te maken van zwaardere hardware. Dit model draait intussen reeds 240 uur in IBM ILOG CPLEX 12.6 op een server met twee fysieke, zes core Intel® Xeon® E5-2640 processoren, elk met een processorsnelheid van 2,5 GHz, en met een totaal RAM geheugen 16GB, zonder oplossing. Ook voor dit model is er in de optimalisatiesoftware gespecificeerd te stoppen eens een GAP van 5% bereikt is.

In de inleiding van deze paper vermeldden we dat het resultaat van het ontwikkelde model aan de hand van een binnen KAVA ontwikkeld programma vergeleken kan worden met de huidige oplossing. Vermits er nog geen oplossing gevonden is voor het volledige model is het momenteel niet mogelijk deze vergelijking te maken. Ook is het vergelijken van de oplossing van het model met kleinere datasets geen optie. KAVA heeft proefondervindelijk vastgesteld dat er pas een significante vergelijking mogelijk is als er een oplossing beschikbaar is waarin 700 of meer apotheken zijn opgenomen.

5. Conclusie

Uit de literatuurstudie is gebleken dat er nog niet veel onderzoek is gepubliceerd over het optimaliseren van de wachtregeling voor apotheken. Dit onderzoek is dan ook een aanvulling voor de wetenschappelijke literatuur.

De set covering modellen opgesteld in deze paper voldoen aan alle eisen die door KAVA werden gesteld. Deze eisen omvatten voornamelijk wensen van de apothekers zelf, waaronder de wens van het opstellen van een "onafhankelijke" nachtregeling. De noden van de klant worden ook in rekening gebracht. De Belgische wetgeving omtrent de wachtdiensten van apotheken legt geen bijkomende voorwaarden op voor dit model.

Het eerste model voor onafhankelijke nachtwachten is getest in de optimalisatiesoftware IBM ILOG CPLEX. Het is echter zo dat door de grootte van de dataset het ons niet gelukt is om tot een optimale oplossing te komen.

Van het set covering model is reeds bewezen dat het een NP-compleet model betreft. De rekentijd van dit soort modellen neemt exponentieel toe naarmate de data-inputhoeveelheid van het model stijgt. Voor het vinden van een oplossing met 600 apotheken duurt het reeds méér dan 61 uur om tot regeling te komen die 6% afwijkt van het optimale. Vermits het model, indien geïmplementeerd bij KAVA, elk half jaar voor minstens 2000 apotheken een regeling moet opstellen is het niet aangewezen om over te stappen op het set covering model. Het grootste verschil is dat het set covering model complexer is dan de huidige heuristiek. In de heuristiek wordt een regeling per periode berekend en deze worden dan samengesteld tot een regeling van een half jaar. Terwijl het set covering model direct een berekening maakt voor een half jaar.

We hebben het model wel kunnen testen voor een kleinere hoeveelheid apotheken. De oplossing gevonden bij een verkleinde dataset voldoet aan de opgelegde voorwaarden en ligt in dezelfde lijn met de oplossing gevonden via het model van KAVA. Wat dus wel mogelijk is, is om aan de hand van het opgestelde model, voor elke provincie apart, een regeling op te stellen. De apotheken kunnen opgedeeld worden in hun respectievelijke provincies om zo verschillende kleinere datasets aan te maken en in te voeren in IBM ILOG CPLEX. Dit is echter geen optie voor KAVA omdat ze juist de grenzen van de verschillende provincies wensen te overbruggen met hun huidig model. Zo kan er immers voor gezorgd worden dat mensen, wonend in een randgemeente van een provincie, toch een goede dienstverlening krijgen.

Dit onderzoek moet dan ook tot de conclusie leiden dat de huidige heuristiek, ontwikkeld door de IT dienst binnen KAVA, nog steeds een betere oplossing is voor het opstellen van wachtregelingen in de praktijk. Wel is het mogelijk om op basis van de inzichten in deze paper de heuristiek van KAVA te evalueren en eventueel aanpassingen door te voeren om hiermee dichter tot een optimale oplossing te komen die beantwoordt aan de klachten van de Vlaamse apothekers. Samen met het uittesten van de twee andere beschreven modellen zou dit onderwerp kunnen zijn voor eventueel verder onderzoek.

Dankwoord

Het resultaat van het onderzoek dat in deze paper beschreven wordt is er gekomen met de medewerking van verschillende mensen die mij hebben ondersteund en mij ten alle tijd goede raad hebben gegeven. Daarom zou ik hier graag even de tijd nemen om enkele van deze mensen bij naam te vermelden.

Eerst en vooral wil ik KAVA bedanken en dan voornamelijk mijn copromotor Freek Rombaut. De medewerkers van KAVA hebben het onderzoek enorm vooruit geholpen via hun vlotte samenwerking en door akkoord te gaan al hun gegevens, informatie, ervaring en "pruimentartaart" met mij te willen delen. Freek zou ik in het bijzonder willen bedanken omdat hij degene was die steeds tijd heeft vrijgemaakt in zijn agenda om mijn vragen te beantwoorden en om bepaalde ideeën af te toetsen. Daarom ook zal ik, nadat deze paper is afgerond, zeker nog de nodige tijd vrijmaken in de komende maanden om met Freek af te spreken en te zien welke onderdelen van dit onderzoek een echte toegevoegde waarde kunnen zijn voor Geowacht VZW.

Ook wil ik mijn promotor Jeroen Beliën bedanken. Bij hem kon ik steeds terecht met vragen over modelleren, programmeren en hij heeft mij de werking van IBM ILOG CPLEX mee helpen ontcijferen. Het is ook dankzij zijn enthousiasme over dit onderwerp dat dit onderzoek is tot stand gekomen.

Als laatste wil ik ook mijn familie bedanken die mij tijdens de stressvolle periode van het opstellen, schrijven en verdedigen van dit werk steeds heeft ondersteund. Ik kon steeds rekenen op hun wijze raad, kennis en morele steun wanneer dit nodig was. Bedankt!

Referentielijst

- Beliën, J., Cardoen, B., & Demeulemeester, E. (2011) Improving workforce scheduling of aircraft line maintenance at Sabena Technics. *Interfaces*, 42(4), 352-364.
- Chrissis, J. W., Davis, R. P., & Miller, D. M. (1982). The dynamic set covering problem. *Applied Mathematical Modelling*, 6(1), 2-6.
- Eiselt, H. A., & Marianov, V. (2009). Gradual location set covering with service quality. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 121-130.
- Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M., & Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 388-407.
- Frontline Systems, Inc. (2014). *Analytic Solver Platform*. Opgehaald 6 februari 2014 van <http://www.solver.com/analytic-solver-platform>
- Garfinke, R. S.I, & Nemhauser, G. L. (1970). Optimal political districting by implicit enumeration techniques. *Management Science*, 16(8), B-495-B-508.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing*, 27(12), 1641-1653.
- Güler, G. M., Idin, K., & Güler, E. Y. (2013). A goal programming model for scheduling residents in an anesthesia and reanimation department. *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2117-2126.
- IBM Corp. (2013). *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*. Opgehaald 6 februari 2014 van <https://www.ibm.com/developerworks/downloads/ws/ilogcplex/>
- Karp, R. M. (1972). *Reducibility among combinatorial problems*. Opgehaald 1 mei 2014 van cs.stanford.edu/people/trevisan/cs172-07/karp.pdf
- Koninklijk besluit 21 januari 2009 houdende onderrichtingen voor de apothekers, BS 30 januari 2009 (Ed. 2).
- Medard, C. P., & Sawhney, N. (2007). Airline crew scheduling from planning to operations. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1013-1027.
- Microsoft Corporation. (2014). *Excel specifications and limits*. Opgehaald 13 april 2014 van <http://office.microsoft.com/en-us/excel-help/excel-specifications-and-limits-HA103980614.aspx#top>

- Özgür, A., Nar, F., Esen, D., Özkan, F., & Uygun, E. (2009, April 16-18). *Stochastic optimization of turn of duty for pharmacies*. Paper presented at the 4th International Symposium on Health Informatics and Bioinformatics, Ankara, Turkije
- Rajagopalan, H. K., Saydam, C., & Xiao, J. (2008). A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. *Computers & Operations Research*, 35(3), 814-826.
- Shariat-Mohaymany, A., Babaei, M., Moadi, S., & Amiripour, S. M. (2012). Linear upper-bound unavailability set covering models for locating ambulances: Application to Tehran rural roads. *European Journal of Operational Research*, 221(1), 263-272.
- Solar, S., Parada, V., & Urrutia, R. (2002). A parallel genetic algorithm to solve the set covering problem. *Computers & Operations Research*, 29(9), 1221-1235.
- Spieksma, F., Goossens, D., & Demasure, S. (2006). Het plannen van de nationale voetbalcompetitie. *Business In-zicht*, 23, 1 en 4.
- Topaloglu, S. (2006). A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents. *Computers & Industrial Engineering*, 51(3), 375-388.
- Villegas, J. G., Prins, C., Prodhon, C., Medaglia, A. L., & Valasco, N. (2013). A matheuristic for the truck and trailer routing problem. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 231-244.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research (4th Ed.)*. Belmont: Brooks/Cole.
- Ye, L., Ye, C., & Chuang, Y.-F. (2011). Location set covering for waste resource recycling centers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 979-985.
-

Lijst van bijlagen

Bijlage 1: CPLEX notatie voor model met onafhankelijke nachtwacht	25
Bijlage 2: CPLEX notatie voor model met dagwacht	27
Bijlage 3: CPLEX notatie voor model met afhankelijke nachtwacht.....	28

Bijlage 1: CPLEX notatie voor model met onafhankelijke nachtwacht

```

/*****
 * OPL 12.6.0.0 Model
 * Author: Lies Huysegoms (MOD-file)
 * Creation Date: 25-apr.-2014 at 16:57:29
 *****/

//Data
range apotheken = 1..2086;
range perioden = 1..104;
int Min [apotheken,apotheken]=...;
int Max [apotheken,apotheken]=...;
int B [apotheken,perioden]=...;

//Variabelen
dvar int x[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int e[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int meer_dan_8[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int minder_dan_8[apotheken,perioden] in 0..1;

//Doelfunctie
minimize sum(a in apotheken, p in perioden) (meer_dan_8[a,p]*20
+minder_dan_8[a,p]*20+e[a,p]*500);

//Beperkingen
subject to
{

// Beschikbaarheid apothekers
forall (a in apotheken, p in perioden) x[a,p]<=B[a,p];

// Minimale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden, b in apotheken: Min[a,b]==1)&&(a<b)
x[a,p]+x[b,p]<=1;

// Maximale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden)sum(b in apotheken: (Max[a,b]==1)&&
(a<b)) x[b,p]>=1-e[a,p];

// Verplichte rustperiode van 4 weken
forall (a in apotheken, p in perioden: p<=88)
x[a,p]+x[a,p+1]+x[a,p+2]+x[a,p+3]+x[a,p+4]+x[a,p+5]+x[a,p+6]+x[a,p+7]
+x[a,p+8]+x[a,p+9]+x[a,p+10]+x[a,p+11]+x[a,p+12]+x[a,p+13]+x[a,p+14]
+x[a,p+15]+x[a,p+16]<=1;

// Gewenste rustperiode van 8 weken
forall (a in apotheken, p in perioden: p<=72)
x[a,p]+x[a,p+1]+x[a,p+2]+x[a,p+3]+x[a,p+4]+x[a,p+5]+x[a,p+6]+x[a,p+7]
+x[a,p+8]+x[a,p+9]+x[a,p+10]+x[a,p+11]+x[a,p+12]+x[a,p+13]+x[a,p+14]
+x[a,p+15] +x[a,p+16]+x[a,p+17]+x[a,p+18]+x[a,p+19]+x[a,p+20]+x[a,p+21]
+x[a,p+21] +x[a,p+22]+x[a,p+23]+x[a,p+24]+x[a,p+25]+x[a,p+26]+x[a,p+27]
+x[a,p+28]+x[a,p+29]+x[a,p+30]+x[a,p+31]+x[a,p+32]+meer_dan_8[a,p]==1
-minder_dan_8[a,p];

}

```

```

/*****
* OPL 12.6.0.0 Data
* Author: Lies Huysegoms (DAT-file)
* Creation Date: 25-apr.-2014 at 16:57:29
*****/

//Importeren van data uit Excel
SheetConnection sheet("input_minimaal.xlsx");
Min from SheetRead(sheet, "Sheet1!A1:CBF2086");
SheetConnection sheet2("input_maximaal.xlsx");
Max from SheetRead(sheet2, "Sheet1!A1:CBF2086");
SheetConnection sheet3("ininput_volledig.xlsx");
B from SheetRead(sheet3, "Sheet1!A1:CZ2086");

//Exporteren van oplossing naar Excel
SheetConnection sheet4("oplossing.xlsx");
e to SheetWrite (sheet4, "e!A1:CZ2086");
x to SheetWrite (sheet4, "x!A1:CZ2086");
meer_dan_8 to SheetWrite (sheet4, "meer_dan_8!A1:CZ2086");
minder_dan_8 to SheetWrite (sheet4, "minder_dan_8!A1:CZ2086");

```

Bijlage 2: CPLEX notatie voor model met dagwacht

```

/*****
 * OPL 12.6.0.0 Model
 * Author: Lies Huysegoms (MOD-file)
 * Creation Date: 25-apr.-2014 at 16:57:29
 *****/

//Data
range apotheken = 1..2086;
range perioden = 1..104;
range kerngebieden = 1..5;
int Min [apotheken,apotheken]=...;
int Max [apotheken,apotheken]=...;
int B [apotheken,perioden]=...;
int Kern [apotheken, kerngebieden]=...;

//Variabelen
dvar int x[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int e[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int meer_dan_8[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int minder_dan_8[apotheken,perioden] in 0..1;

//Doelfunctie
minimize sum(a in apotheken, p in perioden) (meer_dan_8[a,p]*20
+minder_dan_8[a,p]*20+e[a,p]*500);

//Beperkingen
subject to
{
// Beschikbaarheid apothekers
forall (a in apotheken, p in perioden) x[a,p]<=B[a,p];

// Minimale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden, b in apotheken: (Min[a,b]==1) && (a<b))
x[a,p]+x[b,p]<=1;

// Maximale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden) sum(b in apotheken: (Max[a,b]==1) &&
(a<b)) x[b,p]>=1-e[a,p];

// Verplichte rustperiode van 4 weken
forall (a in apotheken, p in perioden: p<=88)
x[a,p]+x[a,p+1]+x[a,p+2]+x[a,p+3]+x[a,p+4]+x[a,p+5]+x[a,p+6]+x[a,p+7]
+x[a,p+8]+x[a,p+9]+x[a,p+10]+x[a,p+11]+x[a,p+12]+x[a,p+13]+x[a,p+14]
+x[a,p+15] +x[a,p+16]<=1;

// Gewenste rustperiode van 8 weken
forall (a in apotheken, p in perioden: p<=72)
x[a,p]+x[a,p+1]+x[a,p+2]+x[a,p+3]+x[a,p+4]+x[a,p+5]+x[a,p+6]+x[a,p+7]
+x[a,p+8]+x[a,p+9]+x[a,p+10]+x[a,p+11]+x[a,p+12]+x[a,p+13]+x[a,p+14]
+x[a,p+15]+x[a,p+16]+x[a,p+17]+x[a,p+18]+x[a,p+19]+x[a,p+20]+x[a,p+21]
+x[a,p+21]+x[a,p+22]+x[a,p+23]+x[a,p+24]+x[a,p+25]+x[a,p+26]+x[a,p+27]
+x[a,p+28]+x[a,p+29]+x[a,p+30]+x[a,p+31]+x[a,p+32]+meer_dan_8[a,p]==1
-minder_dan_8[a,p];

// Kerngebieden minstens 1 apotheek van wacht
forall (p in perioden, k in kerngebieden) sum(a in apotheken:
Kern[a,k]==1) x[a,p]>=1;
}

```

Bijlage 3: CPLEX notatie voor model met afhankelijke nachtwacht

```

/*****
 * OPL 12.6.0.0 Model
 * Author: Lies Huysegoms
 * Creation Date: 25-apr.-2014 at 16:57:29
 *****/

//Data
range apotheken = 1..2086;
range perioden = 1..2;
int Min [apotheken,apotheken]=...;
int Max [apotheken,apotheken]=...;
int DW [apotheken,perioden]=...;
int D [apotheken,apotheken]=...;

//Variabelen
dvar int x[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar int e[apotheken,perioden] in 0..1;
dvar float z[apotheken,apotheken,perioden];

//Doelfunctie
maximize sum(a in apotheken, p in perioden, b in apotheken) (z[a,b,p]*D[a,b]
-e[a,p]*50000);

//Beperkingen
subject to
{

// Beschikbaarheid apothekers
forall (a in apotheken, p in perioden) x[a,p]<=DW[a,p];

// Minimale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden, b in apotheken: (Min[a,b]==1)&&
(a<b)) x[a,p]+x[b,p]<=1;

// Maximale afstandsbeperking
forall (a in apotheken, p in perioden) sum(b in apotheken: (Max[a,b]==1)&&
(a<b)) x[b,p]>=1-e[a,p];

// Maar in één periode een nachtwacht
forall (a in apotheken) sum (p in perioden) x[a,p]<=1;

// Creatie variabele doelfunctie
forall (a in apotheken, p in perioden, b in apotheken: a!=b) (x[a,p]+x[b,p]
>=2*z[a,b,p]);

}

```

Abstract in English

Drawing up a turn of duty for Flemish pharmacies used to be coordinated for every region separately by a local representative. This setup was flawed and pharmacies stated problems such as the uneven dispersion of the turn of duty. That's why four years ago the Royal Pharmacists Association of Antwerp started a project called Geowacht® with the objective to determine the turn of duty of over 2000 Flemish pharmacists through the use of an in house developed heuristic. This research, a cooperation between the university and the Royal Pharmacists Association of Antwerp, questions if it is possible to substitute the heuristic for a set covering model. We developed three different set covering models: one for the day shift, one for the night shift dependent on the day shift and one where we compute a night shift independent of the day shift. Thanks to the data, which have been provided by the Royal Pharmacists Association of Antwerp, we were able to test the model for the independent night shifts in IBM ILOG CPLEX 12.6. Because of the large quantity in input data our model has a very long computation time. After 240 hours of calculation on a server with 24 logical processors and a RAM of 16GB we still haven't found a solution for the entire model. Through further research it will have to be determined if it's possible to incorporate the findings of this research into practice.
