

Optimalisatie van de samenstelling van steriele medische instrumentennetten

*Een onderzoek naar kostenbesparing met behulp van standaardisatie
en netoptimalisatie van de instrumentennetten bij het HagaZiekenhuis*

Bachelor thesis

Bas Kamphorst

2012

Begeleiders

Dr. ir. L.L.M. van der Wegen Universiteit Twente

Ir. J.T. van Essen Universiteit Twente

A. de Boer HagaZiekenhuis

Samenvatting

Tijdens operaties in het ziekenhuis worden instrumenten gebruikt, die op metalen netten liggen en gesteriliseerd worden na elke operatie. De sterilisatie gebeurt op de sterilisatie afdeling (CSA), bij het HagaZiekenhuis loopt momenteel een project de CSA uit te besteden naar een locatie op afstand. De Geyter (2009) noemt twee belangrijke voordelen van deze uitbesteding, efficiëntieverbetering en kwaliteitsverbetering. Een negatief aspect van uitbesteding is verlenging van de doorlooptijd van het sterilisatieproces, waardoor er meer netten nodig zijn om aan de vraag op de operatiekamers te voorzien. Om de kosten van deze uitbreiding te beperken, is besloten om eerst inzicht te krijgen in de huidige netsamenstelling en de mogelijke besparingen hierop. Dit onderzoek richt zich op het vinden van een optimale netsamenstelling, waarvoor onderstaand onderzoeksdoel is geformuleerd:

Het vinden van een optimale samenstelling van de instrumentennetten, waarbij door standaardisatie en netoptimalisatie de kosten geminimaliseerd worden.

Uit een literatuuronderzoek blijkt dat er grote kostenbesparingen te realiseren zijn, variërend van €11.000,- tot €125.000,- per jaar. In een vergelijkbaar onderzoek van Florijn (2008) was er sprake van een groot aantal compleet ongebruikte instrumenten op de netten, maar na een CSA onderzoek van een paar jaar terug bleek dat het HagaZiekenhuis vrijwel geen ongebruikte instrumenten op de netten heeft liggen. Het aantal onnodig gereinigde instrumenten bleek ook mee te vallen, gemiddeld wordt 90% van de instrumenten die op de netten liggen ook daadwerkelijk (ooit) bij die operatie gebruikt.

Om de optimale samenstelling bij het HagaZiekenhuis te bepalen, is een model opgesteld dat een balans zoekt tussen standaardisatie en netoptimalisatie. Standaardisatie is het minimaliseren van het aantal type netten (met vaste kosten van €1425 per type net), en netoptimalisatie is het minimaliseren van het aantal onnodig gereinigde instrumenten (met sterilisatiekosten van €1 per instrument). Het model, dat wordt opgelost met CPLEX, heeft een enorm lange rekentijd, vooral naarmate het aantal instrumenten in de dataset toeneemt. In dit onderzoek is dan ook gekozen voor de 15 meest voorkomende operaties van het specialisme Heelkunde, in totaal gebruik makend van 87 instrumenten. Bij de oplossing van dit model bleek dat er na 11 uur rekentijd een optimale oplossing is gevonden van €136.585,-, een jaarlijkse kostenbesparing van €13.760. Geschat wordt dat met toepassing op de gehele netvoorraad een besparing van €80.000 - €90.000 gerealiseerd kan worden.

Het oplossen van het model met CPLEX vereist een enorm lange rekentijd bij grotere datasets, waardoor deze oplossingstechniek niet geschikt is om in een keer de optimale samenstelling van meerdere specialismen te bepalen. Daarvoor kan beter een techniek als "Simulated Annealing" gebruikt worden. Daarnaast valt het op dat de verschillende artsen die de operaties uitvoeren, behoorlijk uiteenlopende voorkeuren hebben voor het gebruik van verschillende soorten basisinstrumenten. Het verdient aanbeveling om dit meer te standaardiseren, aangezien het verwijderen van 1 instrument op het basisnet jaarlijks €2.000 bespaard aan sterilisatiekosten.

Dit onderzoek besluit met een aantal aanbevelingen met betrekking tot de gevonden optimale samenstelling en de uitbesteding van de CSA naar een locatie op afstand.

Voorwoord

Voor u ligt mijn scriptie die ik geschreven heb ter afsluiting van de bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Na deze bachelor ga ik de master Healthcare Technology and Management volgen, omdat de gezondheidszorg, in het bijzonder toepassing van bedrijfskunde op de gezondheidszorg, mij erg aanspreekt. In dit licht wilde ik ook graag deze bachelor opdracht uitvoeren bij een ziekenhuis, en via de universiteit ben ik in het HagaZiekenhuis in Den Haag terechtgekomen.

Het HagaZiekenhuis is bezig met uitbesteding van de sterilisatieafdeling naar een extern bedrijf, om dit soepel te laten verlopen is het noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in de instrumentennetten. In het bijzonder moet er gekeken worden naar het voorraadbeheer en de samenstelling van de netten, waarbij mijn onderzoek zich richt op de samenstelling van de instrumentennetten.

Ik heb enorm veel plezier gehad in het uitvoeren van deze opdracht. De opdracht was vrij groot voor een bachelor opdracht, waardoor ik een aantal keuzes heb moeten maken om de hoeveelheid werk te beperken die wel invloed hebben gehad op het resultaat, maar uiteindelijk ben ik wel tevreden over de uitkomst.

Graag wil ik ook een aantal personen bedanken die mij hebben geholpen in de uitvoering van het project. Allereerst mijn begeleiders van de universiteit, Leo van der Wegen en Theresia van Essen, die mij enorm goed bij hebben gestaan bij de uitvoering van het onderzoek. Leo, bedankt voor je kritische reflectie op het onderzoek, voornamelijk op de methodologie. Zonder zou ik waarschijnlijk het onderzoek niet zo op hebben kunnen zetten als dat ik nu gedaan heb. Theresia, je was altijd snel bereikbaar en hebt me altijd snel geholpen als ik vastliep, met name op het meer wiskundige gedeelte van het onderzoek. Daarnaast wil ik ook de medewerkers van de OK/CSA van het HagaZiekenhuis bedanken voor hun medewerking, in het bijzonder mijn stagebegeleider Auke de Boer. Ondanks dat je enorm druk was in de hectische situatie die er was op de OK/CSA, was je altijd bereid om op korte termijn tijd vrij te maken om mij te begeleiden. Daarnaast heb ik ook enorm veel geleerd van het meelopen, in het bijzonder bij de gang van zaken met betrekking tot de uitbesteding van de CSA. Tenslotte wil ik John Vermeer van Combi-Ster bedanken voor zijn medewerking en de inkijk in zijn bedrijf.

Bas Kamphorst

Den Haag, 13 juli 2012

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Het HagaZiekenhuis.....	1
1.2	Huidige situatie.....	2
1.3	Probleemidentificatie	3
1.4	Onderzoeksdoel.....	4
1.5	Onderzoeksofzet.....	5
1.6	Conclusie	6
2	Analyse van de flow van instrumenten	9
2.1	Centrale Sterilisatie Afdeling	9
2.2	Operatiekamers.....	10
2.3	Gevolgen voor het model.....	12
2.4	Conclusie	13
3	Literatuur.....	15
3.1	Beschrijving literatuur	15
3.2	Vergelijking van literatuur	17
3.3	Keuzes voor ons onderzoek.....	20
3.4	Conclusie	21
4	Model	23
4.1	Aannames.....	23
4.2	Model voor het net optimalisatie probleem.....	23
4.3	Symmetrie-beperkende restricties.....	27
4.4	Conclusie	29
5	Data verzameling.....	31
5.1	Selectie operatietypes.....	31
5.2	Input parameters.....	32
5.3	Conclusie	34
6	Resultaten.....	35
6.1	Definitieve modelconfiguratie.....	35
6.2	Huidige netsamenstelling.....	35
6.3	Optimale netsamenstelling	36
6.4	Conclusie	38

7	Conclusie, discussie en aanbevelingen.....	39
7.1	Conclusie	39
7.2	Discussie	40
7.3	Aanbevelingen.....	40
8	Referenties	43
	Appendix A, werking van CPLEX	45

1 Introductie

Dit onderzoek richt zich op het logistieke proces van de herbruikbare operatie-instrumenten. Deze instrumenten worden tijdens operaties door de chirurgen gebruikt, waarna ze gesteriliseerd worden en weer teruggebracht worden naar de operatiekamers.

Paragraaf 1 geeft achtergrondinformatie over het HagaZiekenhuis. In paragraaf 2 zal de huidige situatie besproken worden. Paragraaf 3 omvat een uitgebreide probleemidentificatie, die leidt tot een onderzoeksdoel in paragraaf 4. Vervolgens zal, aan de hand van enkele onderzoeksvragen, de opzet van het onderzoek in paragraaf 5 besproken worden.

1.1 Het HagaZiekenhuis

Het HagaZiekenhuis bestaat sinds 1 juli 2004 en is ontstaan uit een fusie van Ziekenhuis Leyenburg en de Stichting Samenwerkende Ziekenhuizen Juliana Kinderziekenhuis/Rode Kruis Ziekenhuis. De grootste locatie is de locatie Leyweg, waar het accent ligt op spoedeisende en complexe zorg. De andere locatie is de locatie Sportlaan, waar het Juliana Kinderziekenhuis en het Rode Kruis Ziekenhuis gehuisvest zijn. Het accent bij deze locatie ligt op de meer planbare zorg, zoals orthopedie.

Onder de Raad van Bestuur en de Raad van Toezicht wordt het HagaZiekenhuis aangestuurd via Resultaat Verantwoordelijke Eenheden (RVE's). De RVE's zijn onafhankelijk, ze zijn verantwoordelijk voor hun eigen resultaten en hebben een eigen budget. De RVE's worden ondersteund door acht stafdiensten. Dit onderzoek wordt uitgevoerd voor de stafdienst Logistiek Bedrijf, en richt zich op de flow van operatie-instrumenten tussen de RVE operatiekamers (OK) en de Centrale Sterilisatie Afdeling (CSA).

Logistiek Bedrijf

Het logistiek bedrijf is een ondersteunende afdeling in het ziekenhuis. De primaire taak is het mogelijk maken van een efficiënt proces op de andere afdelingen. Het logistiek bedrijf is verantwoordelijk voor de aanlevering van goederen en het transport tussen de verschillende afdelingen. Onder transport valt zowel het transport van patiënten over de afdelingen als het transport van goederen, bijvoorbeeld operatie instrumenten en lakens voor de bedden. Naast deze verantwoordelijkheden heeft het logistiek bedrijf een adviesfunctie voor de logistiek op alle afdelingen. Dit onderzoek komt ook voort uit deze adviesfunctie, we zullen een advies geven wat betreft de samenstelling van de netten.

Operatiekamers

Op de operatiekamers worden alle operaties uitgevoerd door teams van chirurgen, OK assistenten en anesthesiologen. De operaties zijn te categoriseren aan de hand van verschillende specialismes, bij het HagaZiekenhuis zijn de volgende specialismes te onderscheiden: algemene chirurgie/heelkunde, cardiologie, KNO (keel, neus en oor), neurologie, plastische chirurgie, vaatchirurgie, gynaecologie, urologie, orthopedie en traumatologie. De locatie aan de Leyweg is een trauma ziekenhuis, op de Sportlaan worden geen traumapatiënten behandeld. De nadruk op de Sportlaan ligt meer op de geplande (voornamelijk orthopedische) operaties.

Centrale Sterilisatie Afdeling

De Centrale Sterilisatie Afdeling zorgt ervoor dat instrumenten die gebruikt zijn tijdens een operatie worden schoongemaakt en gesteriliseerd. Vuile instrumenten worden aangevoerd door de OK's. De instrumenten worden eerst gewassen, daarna gecontroleerd op kwaliteit en compleetheid en tenslotte gesteriliseerd en teruggestuurd naar de OK's.

1.2 Huidige situatie

Het grootste deel van de instrumenten ligt op zogenoemde instrumentennetten, een soort metalen bakken. Iedere specialisme binnen het ziekenhuis heeft zijn eigen netten, daarnaast bestaan er ook basisnetten die door ieder specialisme worden gebruikt. De twee locaties hebben hun eigen instrumenten: de Leyweg heeft 352 type netten (in totaal 728 netten) en de Sportlaan heeft 696 type netten (in totaal 1474 netten). Op een net liggen gemiddeld 36 instrumenten.

Vanaf het einde van 2012, is het voor de sterilisatie afdeling aan de Leyweg niet mogelijk om op dezelfde locatie te blijven. Om die reden is het HagaZiekenhuis aan het analyseren of een samenwerking met Combi-Ster in Delft aangegaan kan worden. Dit houdt in dat de sterilisatie afdeling verplaatst wordt naar Combi-Ster. De Geyter (2009) noemt twee belangrijke voordelen van deze uitbesteding, efficiëntieverbetering en kwaliteitsverbetering. Het bedrijf waaraan wordt uitbesteed, bedient meerdere ziekenhuizen, waardoor er schaalvoordelen gerealiseerd worden. Daarnaast kan de relatief dure ruimte naast de operatiekamer gebruikt worden voor andere doeleinden. Kwaliteitsverbetering wordt gerealiseerd doordat het kwaliteitsniveau contractueel vastgelegd kan worden. Ook zal het commerciële bedrijf zoeken naar lage kosten en een goed product, wat zowel de kosten als de kwaliteit positief beïnvloedt. Een negatief aspect van de uitbesteding is een verlenging van de doorlooptijd, de aanlevering van steriele instrumenten naar de OK's wordt beperkt tot twee keer per dag met een reistijd van 45 minuten in tegenstelling tot de huidige (vrijwel) directe aanlevering na het sterilisatieproces. De aanlevering is nu niet helemaal direct omdat er aan het einde van het sterilisatieproces batches worden opgebouwd. De nieuwe situatie met Combi-Ster leidt tot een verhoogd risico op onvoldoende instrumentarium op de OK's, waardoor een hogere voorraad benodigd zal zijn, wil men het huidige service level behouden.

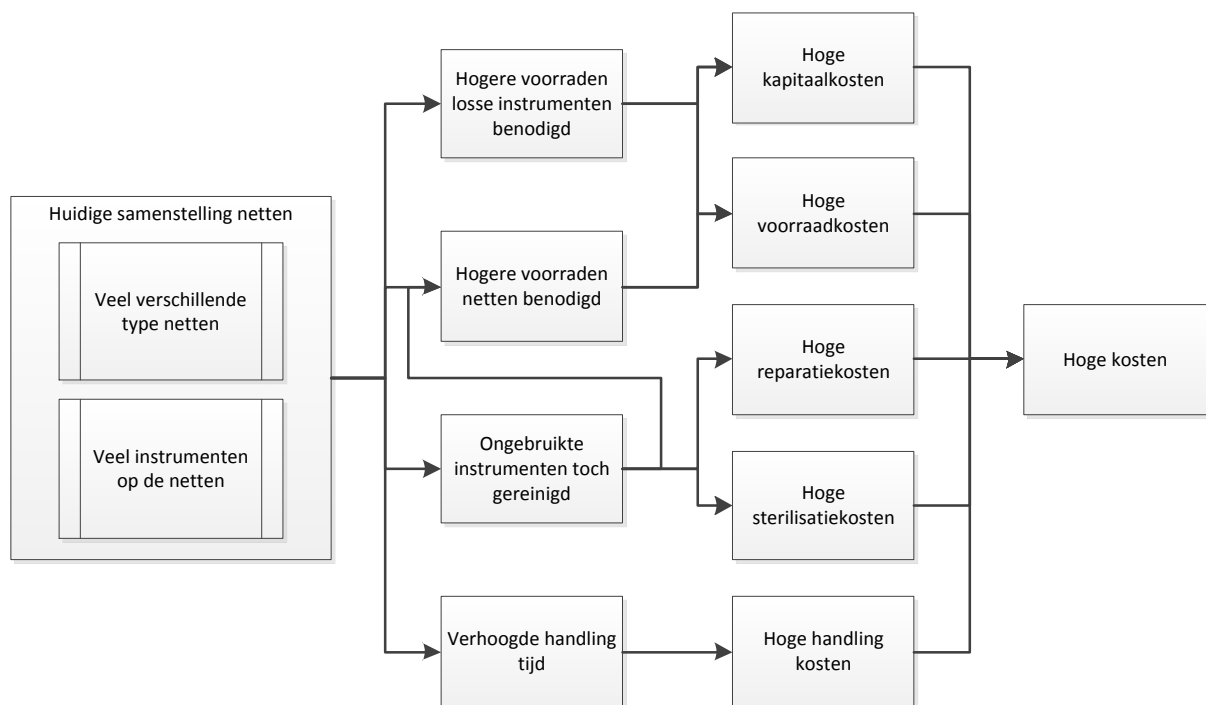
Momenteel is het Duitse bedrijf Braun, dat circa 70% van de instrumenten in het HagaZiekenhuis levert, bezig met het aanbieden van het Full Service Concept. Hiermee willen ze een vast bedrag afspreken waarvoor Braun alle defecte instrumenten kan laten repareren dan wel vervangen. Braun heeft hiervoor een kwalitatieve en kwantitatieve inventarisatie gemaakt van de aanwezige instrumenten bij het HagaZiekenhuis. Hierbij hebben ze gedurende drie maanden op de CSA data verzameld: ieder net dat gesteriliseerd is, werd gescand. Uit de inventarisatie concludeert Braun dat zowel de kwalitatieve als de kwantitatieve staat van het instrumentarium (veel) ruimte biedt voor verbetering. Met betrekking tot de kwalitatieve staat is gebleken dat een groot deel van het instrumentarium (circa 40%) toe is aan reparatie dan wel vervangen moet worden. Bij de kwantitatieve inventarisatie concludeert Braun dat er veel winst te behalen valt met optimalisatie van de netsamenstelling.

Door de inzichten van de inventarisatie van Braun heeft het Logistiek Bedrijf besloten om, voordat er gekeken zal worden naar een vernieuwd voorraadbeleid, de huidige samenstelling van de netten te

analyseren. Dit verslag zal zich richten op optimalisatie van de samenstelling van de netten, in de volgende paragraaf zullen de problemen op dit vlak beschreven worden.

1.3 Probleemidentificatie

De netten worden door de chirurgen van de verschillende specialismes opgesteld, zij bepalen welke instrumenten ze nodig hebben om de operaties uit te kunnen voeren. De operatietechnieken, en daarbij ook het benodigde instrumentarium, veranderen voortdurend met als gevolg dat er regelmatig nieuwe instrumenten op de netten geplaatst worden. Daarnaast hebben chirurgen ook een persoonlijke voorkeur voor een bepaald instrument, waarbij dat instrument aan de netten toegevoegd wordt. Dit proces werkt echter niet de andere kant op, bij het elimineren van bepaalde operatietechnieken of het verlaten van het ziekenhuis door een chirurg worden de instrumenten niet van de netten gehaald. Dit heeft in de loop der tijd geresulteerd in een grote hoeveelheid verschillende type netten en instrumenten, waarvan een deel niet gebruikt wordt. Deze diversiteit is al groot op de beide locaties (Leyweg en Sportlaan) afzonderlijk, de diversiteit tussen beide locaties is nog groter. Zoals vermeld is het HagaZiekenhuis een fusieziekenhuis, waarbij de CSA en de OK's van beide locaties gescheiden zijn. De samenstelling van de netten is ook geheel afzonderlijk ontstaan met als gevolg dat er enorme verschillen zitten in de netsamenstelling. Zo bevatten de beide basisnetten van de Sportlaan en de Leyweg in totaal ruim 50 instrumenten waarvan er op dit moment slechts 8 identiek zijn. Op dit moment is dat nog geen probleem, aangezien beide locaties fysiek gescheiden zijn, maar bij een samenvoeging van de CSA's naar Combi-Ster gaat dit wel problemen opleveren. De problemen ten gevolge van de vele verschillende typen netten en de vele instrumenten op de netten zijn te zien in figuur 1, in het vervolg van deze paragraaf zullen de problemen nader toegelicht worden.



Figuur 1: Problemen als gevolg van de huidige netsamenstelling

Van elk type net moet er een voorraad aangehouden worden om ervoor te zorgen dat er geen tekort is aan instrumenten op de OK's. Deze voorraad wordt aangehouden om twee redenen. Ten eerste kost het sterilisatieproces de nodige tijd, waardoor er meerdere netten benodigd zijn als er twee operaties achter elkaar gepland zijn die hetzelfde net gebruiken. Ten tweede wordt er een extra voorraad aangehouden om het risico te beperken. Het kan namelijk zo zijn dat er een instrument op het net ligt dat kapot is of dat een net niet compleet is, in dat geval moet er een ander net opengemaakt worden wat vervolgens opnieuw gesteriliseerd moet worden. De huidige samenstelling van de netten heeft invloed op de tweede categorie voorraden, want als een type net voor meerdere operaties gebruikt kan worden kan het risico gespreid worden waardoor er minder voorraad aangehouden hoeft te worden (Fineman & Kapadia, 1978). Het hebben van *veel verschillende typen netten* leidt dus tot *hogere voorraden netten*. Het aanhouden van hogere voorraden leidt tot twee typen kosten. Ten eerste tot *hoge voorraadkosten* ten gevolge van het op voorraad leggen in een bepaalde ruimte. Daarnaast zijn er *hoge kapitaalkosten*, de instrumenten die op voorraad liggen worden afgeschreven.

Naast een voorraad van de verschillende type netten op de OK, is er in het ziekenhuis ook een voorraad losse instrumenten aanwezig op de CSA. Als er namelijk uit de kwaliteitscontrole blijkt dat een instrument gerepareerd of vervangen moet worden, wordt dit losse instrument uit de voorraad gehaald waardoor het net in omloop kan blijven. Momenteel liggen er *veel instrumenten op de netten*, hetgeen direct resulteert in een *hogere voorraad losse instrumenten* op de CSA. Het houden van deze voorraad leidt eveneens tot *hoge voorraadkosten* en *hoge kapitaalkosten*.

Tijdens een operatie worden niet alle instrumenten gebruikt, vooral niet met de huidige hoeveelheid instrumenten op de netten. Het probleem is echter dat na het openen van een net dit net in zijn geheel schoongemaakt en gesteriliseerd moet worden. Daardoor worden ook de *ongebruikte instrumenten gereinigd*, wat direct leidt tot *hoge sterilisatiekosten*. Daarbij komt dat de ongebruikte instrumenten slijten tijdens het sterilisatieproces, wat resulteert in *hoge reparatiekosten*. Een derde gevolg is dat de instrumenten niet bij andere operaties gebruikt kunnen worden, terwijl andere operaties dit instrument misschien wel nodig hebben. Daardoor moet dit instrument extra op voorraad liggen wat weer leidt tot *hogere voorraden netten*.

Een laatste probleem als gevolg van de samenstelling van de netten is een *verhoogde handling tijd*, wat zowel effect heeft op de CSA als op de OK. Op de CSA worden alle netten gecontroleerd op compleetheid en kwaliteit, indien er veel instrumenten op de netten liggen, zal het meer tijd kosten om dit uit te voeren. De OK assistenten hebben hetzelfde probleem, voor elke operatie moeten de netten klaargezet en gecontroleerd worden. Als een operatie meerdere netten nodig heeft, met daarop veel instrumenten, is de handling tijd verhoogd. De *verhoogde handling kosten* zijn een logisch gevolg, aangezien de medewerkers betaald moeten worden.

1.4 Onderzoeksdoel

Uit figuur 1 concluderen we dat de huidige netsamenstelling tot *hoge kosten* leidt, daar zal dit onderzoek zich ook op focussen. De hoge kosten zijn echter niet het enige probleem, de huidige netsamenstelling heeft namelijk ook invloed op de efficiëntie van het proces. Zoals gezegd leidt de samenstelling tot verhoogde handling tijd, wat naast de kosten ook invloed heeft op de

productiecapaciteit van zowel de CSA als de OK. In dit verslag zal hier verder niet meer op in gegaan worden, aangezien aangenomen wordt dat de productiecapaciteit van Combi-Ster toereikend is en daarmee het kostenaspect belangrijker is dan het capaciteitsaspect.

De kosten zullen worden geminimaliseerd door het kernprobleem aan te pakken, namelijk het hebben van *veel verschillende type netten* en *veel instrumenten op de netten*. Hierbij spelen twee doelen een centrale rol: standaardisatie en netoptimalisatie. Standaardisatie is het verminderen van het aantal verschillende type netten en netoptimalisatie is het verminderen van het aantal instrumenten op een net. Beide begrippen zijn echter wel tegenstrijdig. Bij netoptimalisatie zorg je ervoor dat er zo min mogelijk instrumenten onnodig op de netten liggen, complete optimalisatie is het hebben van alleen losse instrumenten zodat er geen instrumenten zijn die niet gebruikt worden. Standaardisatie wil echter het aantal type netten minimaliseren, complete standaardisatie is het hebben van één net dat overal voor gebruikt wordt. Dit verslag zal zich richten op het vinden van een goede balans tussen beide doelen, het onderzoeksdoel is dus:

Het vinden van een optimale samenstelling van de instrumentennetten, waarbij door standaardisatie en netoptimalisatie de kosten geminimaliseerd worden.

1.5 Onderzoeksopzet

Om het doel gestructureerd te bereiken zullen we een aantal onderzoeksvragen opstellen, welke in de komende hoofdstukken beantwoord worden. Ten eerste is het van belang om inzicht te krijgen in de gehele flow van instrumenten. Daarbij zullen we letten op de aansturing van het proces en de kostenaspecten die hierbij een rol spelen. Dit is geformuleerd in onderstaande onderzoeksvraag, die we in hoofdstuk 2 beantwoorden. Het antwoord zal gegeven worden aan de hand van een empirisch onderzoek op de OK en CSA, waarbij meegelopen wordt met het proces en vragen worden gesteld aan de werknemers.

1. Hoe verloopt de flow van instrumenten langs de OK en de CSA? (H2)
 - a. Hoe wordt het proces aangestuurd?
 - b. Wat zijn de relevante kostenaspecten?

Wanneer we inzicht hebben in de flow van de instrumenten, kunnen we kijken naar de optimalisatie van de netsamenstelling. Met het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag krijgen we een inzicht in de optimalisatietechnieken die tot nu toe bekend zijn, hiervoor zullen we in hoofdstuk 3 optimalisatiemodellen uit de literatuur bekijken en vergelijken. Vervolgens kunnen we de informatie uit de procesanalyse en het literatuuronderzoek gebruiken om een model voor het HagaZiekenhuis op te stellen. Dit zal gebeuren in hoofdstuk 4, door beantwoording van de derde onderzoeksvraag. Hierbij zullen we eerst bepalen welke netten we in de analyse meenemen, op basis van frequentie van gebruik en het gevolg voor de rekentijd die lang is bij een grotere dataset (van de Klundert, Muls, & Schadd, 2008). Vervolgens zullen we een aantal aannames doen, waarna we het model formuleren en een oplossingstechniek kiezen.

2. Welke optimalisatietechnieken voor de netsamenstelling zijn er in de literatuur bekend? (H3)
 - a. Waarin verschillen deze optimalisatietechnieken?
 - b. Welke keuzes maken wij voor ons onderzoek na inzichten uit de literatuur?

3. Hoe kan de samenstelling van de netten bij het HagaZiekenhuis geoptimaliseerd worden? (H4)
 - a. Welke instrumentennetten moeten in de analyse worden meegenomen?
 - b. Welke aannames worden er gemaakt?
 - c. Wat is het optimalisatiedoel en wat zijn de restricties?
 - d. Welke techniek kan er gebruikt worden om een oplossing te vinden?

De volgende stap, na het opstellen van het model en de afbakening, is het verzamelen van de data die als input in het model nodig zijn. De data die benodigd zijn zullen in hoofdstuk 5 beschreven worden, deze data zullen verkregen worden aan de hand van een data-analyse van verbruiksgegevens en een empirisch onderzoek naar onbekende data. Tenslotte kan het model opgelost worden, waarna de resultaten van de optimalisatie in hoofdstuk 6 beschreven kunnen worden. In dit hoofdstuk zullen we tevens een gevoeligheidsanalyse van de resultaten uitvoeren. De bijbehorende onderzoeksvragen zijn als volgt geformuleerd.

4. Welke data zijn benodigd voor de optimalisatie? (H5)
 - a. Hoe kunnen de ontbrekende data verkregen worden?
5. Wat is de optimale netsamenstelling? (H6)

Na het beantwoorden van de onderzoeksvragen zullen we het onderzoeksdoel bereikt hebben, in hoofdstuk 7 zullen de conclusies en aanbevelingen besproken worden.

1.6 Conclusie

Uit de probleemanalyse blijkt dat optimalisatie van de netsamenstelling veel potentie heeft om kosten te besparen. Voor dit onderzoek zullen we de modellen uit de literatuur gebruiken om een model te definiëren voor de situatie bij het HagaZiekenhuis. Uiteindelijk is het onderzoeksdoel als volgt gedefinieerd.

Het vinden van een optimale samenstelling van de instrumentennetten, waarbij door standaardisatie en netoptimalisatie de kosten geminimaliseerd worden.

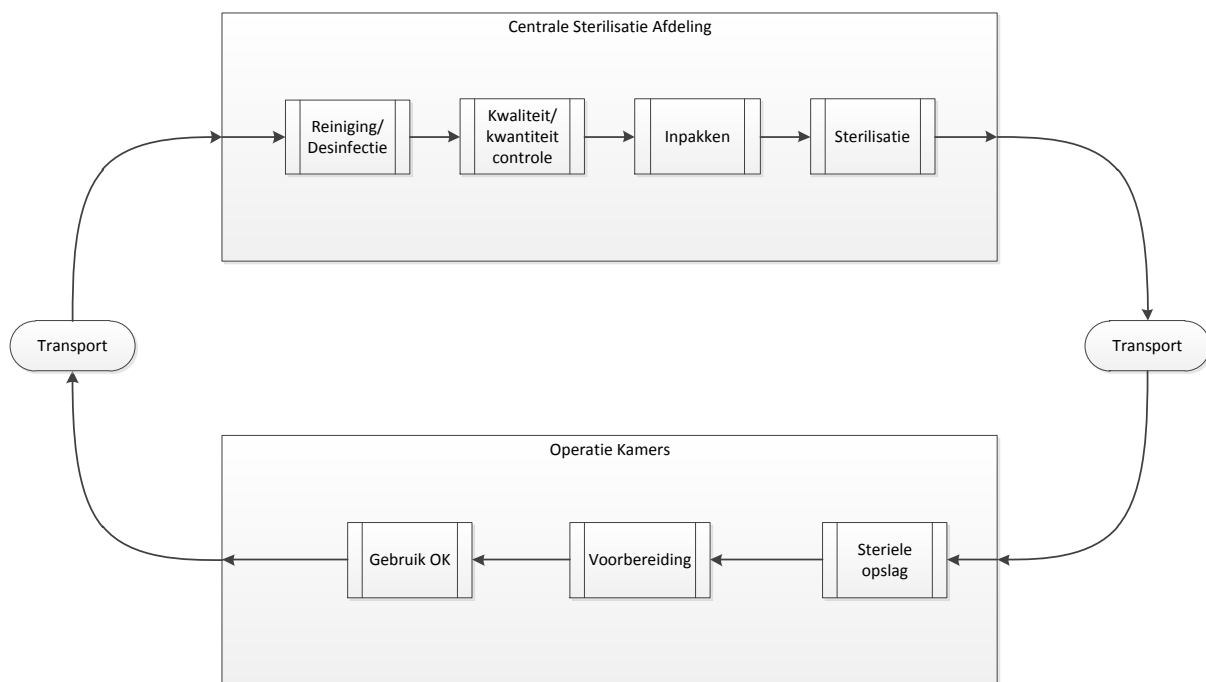
De onderzoeksvragen die beantwoord zullen worden om het onderzoeksdoel te bereiken zijn hieronder nog eens weergegeven, daarbij is ook vermeld in welk hoofdstuk de vraag behandeld wordt en op welke manier de informatie verkregen wordt.

1. Hoe verloopt de flow van instrumenten langs de OK en de CSA? (H2, empirisch onderzoek op OK en CSA)
 - a. Hoe wordt het proces aangestuurd?
 - b. Wat zijn de relevante kostenaspecten?
2. Welke optimalisatietechnieken voor de netsamenstelling zijn er in de literatuur bekend? (H3, literatuuronderzoek)
 - a. Waarin verschillen deze optimalisatietechnieken?
 - b. Welke keuzes maken wij voor ons onderzoek na inzichten uit de literatuur?

3. Hoe kan de samenstelling van de netten bij het HagaZiekenhuis geoptimaliseerd worden? (H4, combineren van informatie uit literatuur- en empirisch onderzoek)
 - a. Welke instrumentennetten moeten in de analyse worden meegenomen?
 - b. Welke aannames worden er gemaakt?
 - c. Wat is het optimalisatiedoel en wat zijn de restricties?
 - d. Welke techniek kan er gebruikt worden om een oplossing te vinden?
4. Welke data zijn benodigd voor de optimalisatie? (H5, empirisch onderzoek en data-analyse)
 - a. Hoe kunnen de ontbrekende data verkregen worden?
5. Wat is de optimale netsamenstelling? (H6, conclusies trekken aan de hand van uitkomsten van het model)

2 Analyse van de flow van instrumenten

In dit hoofdstuk zal de flow van instrumenten besproken worden. Zoals te zien is in figuur 2 is er sprake van een cyclisch proces: de instrumenten worden gebruikt op de OK, waarna ze gesteriliseerd worden op de CSA en weer terug getransporteerd worden naar de OK. In de nieuwe situatie bij Combi-Ster zijn de CSA en de OK's fysiek van elkaar gescheiden, dus het transport tussen beide gaat met behulp van vrachtwagens en zal 2 maal per dag (steriel heen en vuil terug) plaatsvinden. Daarnaast is er ook de mogelijkheid om, in uitzonderlijke gevallen van spoed, met een kleiner bestelbusje een extra aanlevering te doen.



Figuur 2: Flow van instrumenten

In het vervolg van dit hoofdstuk zullen de sub-processen op de OK en CSA besproken worden. In paragraaf 1 behandelen we de CSA (in de toekomstige Combi-Ster situatie), waarna we de OK in paragraaf 2 bespreken. In de concluderende derde paragraaf zullen we de gevolgen van de procesanalyse voor het model bespreken.

2.1 Centrale Sterilisatie Afdeling

Op de CSA komen de geopende netten en het gebruikte losse instrumentarium van de OK's binnen in de zogenoemde vuile ruimte. Vervolgens worden er een serie processen uitgevoerd om de instrumenten te reinigen en te steriliseren, deze processen zullen we in het vervolg van deze paragraaf bespreken.

Reiniging/Desinfectie

In de vuile ruimte worden de netten gescand en door een teamleider wordt bepaald in welke volgorde de netten gereinigd moeten worden. Vervolgens worden de netten handmatig schoongemaakt, hierbij worden de grove (bloed)resten van de instrumenten verwijderd en wordt

gekeken of er geen wegwerpmateriaal als hechtdraad op het net is beland. Hierna worden de netten verder gereinigd en gedesinfecteerd in wasmachines, die een voorgeprogrammeerd wasprogramma uitvoeren. Er staan meerdere wasmachines parallel, zodat er meerdere netten tegelijkertijd gereinigd kunnen worden.

Kwaliteit- & Kwantiteitscontrole

Nadat het wasprogramma voltooid is komen de gedesinfecteerde netten aan de andere kant van de wasmachines in een schone ruimte terecht. Hier wordt ieder net gecontroleerd, zowel op compleetheid als op kwaliteit van het instrumentarium. Voor de controle zijn er per specialisme boeken beschikbaar, hierin is per net beschreven welke instrumenten er op horen te liggen. Ook staat er een afbeelding van het net, zodat te zien is hoe de instrumenten op het net worden geplaatst. Wanneer er een instrument afgekeurd wordt, zijn er twee mogelijkheden. Ten eerste kan het instrument gerepareerd worden, het instrument wordt dan opgestuurd naar de leverancier. Ten tweede kan het instrument vervangen worden, als reparatie niet meer mogelijk is. In beide gevallen wordt het net aangevuld met een nieuw instrument uit de voorraad losse instrumenten. Indien dit instrument niet op voorraad is, wordt er een sticker op het net geplakt met daarop een aantekening van het missende instrument. Het net blijft dus wel gewoon in de omloop.

Inpakken

Na de controle worden de netten stuk voor stuk verpakt, wat gebeurt in dezelfde ruimte als de kwaliteit- & kwantiteitscontrole. Het inpakken gebeurt met een speciaal soort doek, wat vervolgens verzegeld wordt door middel van tape. Na het inpakken zijn de netten gereed om gesteriliseerd te worden.

Sterilisatie

De sterilisatie gebeurt in autoclaven, waarin de netten onder hoge druk en temperatuur gesteriliseerd worden. Aan het einde van dit proces moet er nog een goedkeuring gegeven worden, op basis van de bereikte sterilisatietemperatuur en de druk. Als alles voltooid is, zijn de netten steriel en kunnen ze terug naar de OK's.

Bij het normaal uitvoeren van het reinigings- en sterilisatieproces bij Combi-Ster zijn de gebruikte netten twee dagen na het gebruik beschikbaar op de OK's. Op de dag van gebruik zal het net naar Combi-Ster getransporteerd worden, waar het de daaropvolgende dag gereinigd wordt. Vervolgens zal het net in de ochtend, twee werkdagen na het gebruik, weer beschikbaar zijn op de OK. Het kan ook voorkomen dat het net eerder nodig is, in dit geval wordt dit net als een spoednet behandeld. Het net krijgt voorrang in het proces, waardoor het net in de nachtdienst gesteriliseerd wordt en de volgende ochtend beschikbaar is op de OK's. Het is niet meer mogelijk om netten meerdere keren op een dag te gebruiken, wat in de huidige situatie met enige regelmaat gebeurt.

2.2 Operatiekamers

Op de OK's is een steriele voorraadruimte waar de netten op voorraad liggen. Aan de hand van de geplande operaties worden de netten voorbereid, een dag voor de operaties worden de netten klaargezet in een aparte ruimte dicht bij de OK's. Tenslotte worden de netten gebruikt op de OK waarna de vuile netten naar de CSA getransporteerd worden. De processen op de OK's zullen in het

vervolg van deze paragraaf nader toegelicht worden.

Steriele voorraad

Op de OK's liggen alle netten op voorraad in een magazijn. De netten die steriel aangeleverd worden vanuit de CSA worden hier opgeslagen totdat ze gebruikt worden of totdat de uiterste sterilisatiedatum overschreden is, voor de meeste netten geldt een vervaltperiode van zes maanden. Het losse instrumentarium wordt opgeslagen in diverse kasten, zowel op de gang als op de OK's zelf. Dagelijks wordt de voorraad op de OK's gecontroleerd en aangevuld. De materialen in de kasten buiten de OK's worden centraal bijgevuld, voor de materialen op de OK zelf vullen de OK assistenten een aanvulbriefje in.

Voorbereiding op operaties

Een dag voor de operatiedag is de planning van de operaties bekend, aan de hand van de planning worden de benodigde netten alvast klaargezet. Bij de planning wordt echter geen rekening gehouden met de voorraad, zo gebeurt het regelmatig dat er meerdere operaties in worden gepland die eenzelfde net gebruiken, terwijl er te weinig voorraad is van dat net. In de huidige situatie wordt dan een net met spoed gereinigd, zodat een net tweemaal per dag kan worden gebruikt. In de toekomstige situatie bij Combi-Ster is dit echter niet meer mogelijk, waardoor er veranderingen op het gebied van de planning dan wel het voorraadbeheer noodzakelijk zijn. Als er geen tijd is voor een spoednet, is er ook nog een tweede optie om een net te lenen van de andere locatie (Sportlaan of Leyweg). Dit net wordt dan steriel getransporteerd, waarna het gebruikt wordt op de OK.

Naast de geplande operaties zijn er, voornamelijk op de Leyweg, ook traumapatiënten. Deze patiënten hebben bij binnenkomst direct een operatie nodig. Er worden altijd een drietal karren voorbereid voor deze traumapatiënten, op deze karren liggen voornamelijk orthopedische netten. Als er een ander net nodig is, wordt dat direct uit het magazijn gehaald.

Gebruik OK

Aan het begin van de dag wordt elke kar met netten naar de betreffende OK gereden. Elke OK bestaat uit drie ruimtes; een ruimte voor de operatie zelf, een ruimte waar de kar met netten komt te staan en een ruimte waar de handen gewassen worden. Terwijl de patiënt naar de operatieruimte wordt gebracht, worden de netten behorende bij die operatie geopend door de OK assistenten. Hiervoor zijn richtlijnen opgesteld waarin staat dat elk net gecontroleerd wordt, maar een formele procedure ontbreekt waardoor deze controle momenteel met een vlugge blik uitgevoerd wordt. Daardoor komt het voor dat er pas tijdens de operatie blijkt dat een bepaald instrument ontbreekt, waardoor er soms een extra net geopend moet worden. Dit heeft tot gevolg dat er meer kans is op infecties, omdat de deur van de operatiekamer geopend moet worden. Daarnaast moet er een extra net geopend worden, wat weer leidt tot extra sterilisatiekosten en een verlaagde beschikbaarheid van netten. Tijdens de operatie worden de instrumenten aangereikt door de OK assistenten, vervolgens worden ze gebruikt door de artsen en weer terug op de netten gelegd. Ook na de operatie is het van belang om te controleren of alle instrumenten weer op het net liggen, zodat uit kan worden gesloten dat er geen instrument bij de patiënt is achtergebleven. Hier ontbreekt echter ook een formele procedure, waardoor ook deze controle met een vlugge blik afgedaan wordt. Na het gebruik worden de netten naar de "vuile ruimte" gebracht, waar een batch wordt opgebouwd totdat

de instrumenten naar Combi-Ster worden getransporteerd.

Voor een standaard operatie worden gemiddeld twee à drie netten gebruikt, bij specialistische orthopedische operaties (zoals gecompliceerde heup of knie operaties) kunnen er echter meer dan tien netten gebruikt worden. Voor dergelijke operaties worden vaak zes of zeven netten standaard geopend, maar tijdens de operatie kan blijken dat er een andere techniek moet worden gebruikt, waardoor er extra netten geopend moeten worden. Waar deze netten geplaatst moeten worden blijkt een dilemma; ze kunnen zowel in de ruimte waar de netten voor de volgende operaties liggen geplaatst worden als in de operatieruimte zelf. Als ze bij de andere ongeopende netten geplaatst worden moet de deur van de operatiekamer open tijdens de operatie wat een verhoogde kans op infecties geeft. Bij plaatsing op de OK zelf zouden deze netten officieel onsteriel verklaard worden, omdat er een risico is op infectieverspreiding via de netten. In de huidige situatie is een keuze gemaakt voor een tussenoplossing, wat met het oog op het voorkomen van infecties onjuist is. De netten worden namelijk op de OK geplaatst, waarna ze, indien ze niet gebruikt worden, teruggeplaatst worden in de voorraad in plaats van een nieuwe sterilisatie.

2.3 Gevolgen voor het model

In deze paragraaf zullen we de gevolgen van de flow van instrumenten op het model bespreken. Hierbij letten we op twee aspecten; ten eerste zullen een aantal processen niet in detail in het model opgenomen kunnen worden waardoor er aannames moeten worden gemaakt, ten tweede hebben we een beter inzicht gekregen in de kostenaspecten die relevant zijn.

Praktische gevolgen

In de toekomstige situatie met Combi-Ster zitten nog een aantal onzekerheden. Zo wordt aangenomen dat de capaciteit van Combi-Ster toereikend is, maar het is wel duidelijk dat de huidige voorraad netten niet toereikend is om aan de vraag op de OK's te kunnen voorzien. Omdat, in overleg met het HagaZiekenhuis, besloten is om eerst naar de samenstelling van de netten te kijken zal dit verslag zich ook niet op het voorraadbeheer richten. Wel zullen we in hoofdstuk 7 enkele aanbevelingen doen aan de hand van een literatuurstudie. De voorraad heeft echter wel invloed op de kapitaal- en voorraadkosten van een type instrumentennet, omdat er straks meerdere netten van één type benodigd zijn. Bij het verzamelen van de data in hoofdstuk 5 zullen we hierop terugkomen.

De spoed/trauma operaties bevatten veel onzekerheden, zowel op het gebied van voorkomen (aantallen operaties per tijdsperiode) als op het gebruik van instrumenten. In ons model zullen we vanuit het oogpunt van operatietype bekijken welke instrumenten nodig zijn. Deze informatie staat echter niet vast bij de spoed/trauma operaties, waardoor we ze buiten beschouwing zullen laten in ons onderzoek.

De vraag voor de operaties die wel in het onderzoek meegenomen kunnen worden, wordt per dag gegenereerd door de OK planning. De selectie van de operaties die we in het model meenemen zullen we op basis van de frequentie van gebruik doen. In paragraaf 5.1 zullen we de selectie van operaties bespreken.

Kostenaspecten

In figuur 1 in paragraaf 1.3 hebben we alle kostenfactoren weergegeven die veroorzaakt worden

door de huidige samenstelling van de netten. Hierbij hebben we een onderscheid gemaakt tussen voorraadkosten, kapitaalkosten, reparatiekosten, sterilisatiekosten en handling kosten. Deze kosten zijn toe te wijzen aan een type net en aan een type instrument. Zo heeft elk type net kapitaalkosten en voorraadkosten. De reparatie- & sterilisatiekosten zijn toe te wijzen aan een type instrument. De handling kosten zijn zowel aan een type net als aan een type instrument toe te wijzen. Hieronder zullen we bespreken welke kosten relevant zijn om in het model op te nemen.

De kapitaalkosten voor een type net zijn niet afhankelijk van het proces, maar zijn constant waardoor ze goed te bepalen zijn en daarmee ook relevant zijn voor het model. Deze kapitaalkosten bestaan uit een aantal vaste kosten, waaronder afschrijvingskosten en kosten voor hulpmaterialen. De precieze samenstelling van deze kosten zullen we bij de dataverzameling in hoofdstuk 5 beschrijven. De voorraadkosten zijn afhankelijk van het voorraadbeheer in het proces, wat ook meteen problemen geeft bij het meenemen van deze kosten. Een duidelijk voorraadbeheer is er eigenlijk niet, de netten hebben wel een vaste steriele opslagplaats maar het beheer van aantallen netten op voorraad ontbreekt, waardoor de kosten niet goed bepaald kunnen worden. Het is echter wel zo dat de ruimte vrij beperkt is, waardoor het loont om minder type netten en daarmee ook minder voorraad te hebben. Aangezien het niet mogelijk is om de voorraadkosten (in de vorm van kosten voor de opslagruimte) toe te wijzen aan een type net, zullen we via een gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 6 bepalen wat de eventuele voorraadkosten voor invloed hebben op de optimale samenstelling.

Daarnaast zijn er twee kostenaspecten die toe te wijzen zijn aan een type instrument, te weten reparatie- & sterilisatiekosten. Beide kosten spelen een rol, maar ze zullen straks beide bij Combi-Ster komen te liggen. Aangezien we aan hebben genomen dat we van de nieuwe situatie uitgaan, zullen we in overleg met Combi-Ster een waarde moeten geven aan deze aspecten.

De handling kosten zijn afhankelijk van de werkwijze die het personeel hanteert om de netten op de juiste plek te krijgen, zowel op de OK als op de CSA. De handling kosten op de CSA vallen in de nieuwe situatie onder Combi-Ster, waardoor ze meegenomen worden in de sterilisatiekosten. We richten ons op de handling kosten op de OK. Hier gaat het om het uit de steriele voorraad halen van de netten, het openen/voorbereiden van de netten voor een operatie en de handling van de netten na de operatie. Het uit de steriele voorraad halen van de netten is afhankelijk van het aantal type netten, de tijd die dit in beslag neemt is zeer gering. Onze verwachting is dan ook dat deze kosten in het niet vallen bij de kapitaalkosten en voorraadkosten, waardoor we de handling in de steriele voorraad buiten beschouwing laten. Op de OK's zelf zou elk instrument voor en na de operatie gecontroleerd moeten worden, dus deze handling kosten zijn toe te wijzen aan de instrumenten. Het probleem is echter dat de controle op dit moment niet structureel plaatsvindt, het wordt nu afgedaan met een vlugge blik over de netten. Dit maakt het niet mogelijk om een waarde toe te kennen aan deze kosten, waardoor we de gevolgen van de handling kosten op de OK's voor de optimale samenstelling met een gevoeligheidsanalyse moeten bepalen.

2.4 Conclusie

De flow van instrumenten is een cyclisch proces over de OK en de CSA. Op de CSA, in de nieuwe situatie uitbesteed aan Combi-Ster, worden de instrumenten gereinigd, gecontroleerd, ingepakt en

gesteriliseerd waarna ze gereed zijn om op de OK gebruikt te worden. Op de OK liggen de netten steriel op voorraad, aan de hand van de OK planning worden de netten klaargezet voor de operaties. Vlak voor de operatie worden de netten opengemaakt en (met een vlugge blik) gecontroleerd, waarna ze gebruikt worden door de artsen. Na de operatie vindt er weer een (vlugge) controle plaats waarna de netten opnieuw gesteriliseerd moeten worden.

In het model wijzen we kosten toe aan een type net en aan een type instrument. De vaste kosten die we aan een type net toewijzen zijn kapitaalkosten en voorraadkosten, aan de instrumenten wijzen we reparatie- & sterilisatiekosten toe aan de hand van gegevens van Combi-Ster. De handlingkosten voor het controleren van de instrumenten op de OK zullen met behulp van een gevoeligheidsanalyse op de resultaten mee worden genomen.

In de literatuur worden verschillende modellen gebruikt voor dit probleem. Voordat we ons model formuleren zullen we in het volgende hoofdstuk modellen uit de literatuur beschrijven en vergelijken, waarna we deze inzichten kunnen gebruiken bij ons eigen model.

3 Literatuur

In dit hoofdstuk beschrijven we de uitgevoerde literatuurstudie om de recente ontwikkelingen en theorieën op het gebied van de samenstelling van de instrumentennetten in beeld te brengen. In paragraaf 1 zullen we de gevonden artikelen beschrijven, waarna we in paragraaf 2 de artikelen onderling zullen vergelijken. Tenslotte zullen we in paragraaf 3 een aantal keuzes maken voor ons onderzoek, gebaseerd op de inzichten uit de literatuurstudie.

3.1 Beschrijving literatuur

Helaas is er weinig literatuur beschikbaar over optimalisatie van de instrumentennetten, er is echter wel groeiende aandacht voor het realiseren van meer efficiëntie in het logistieke proces in de gezondheidszorg. Dit is een gevolg van de hervormingen in de Nederlandse gezondheidszorg in 2006 (Maarse & Paulus, 2011). Toen zijn er een aantal veranderingen doorgevoerd, waarvan de belangrijkste marktwerking op de verzekeringsmarkt en fee-for-service betaling door de overheid zijn. Voornamelijk de fee-for-service leidt tot een drijfveer tot efficiëntie, omdat zorginstellingen worden betaald aan de hand van het aantal operaties dat ze per jaar uitvoeren in plaats van een vast budget. Hierdoor loont het om efficiënter te werken, waardoor er meer operaties uitgevoerd kunnen worden. Daarnaast proberen de verzekeringsmaatschappijen, als gevolg van de marktwerking, de ziekenhuizen efficiënter te laten functioneren.

In totaal zijn er, naar ons weten, vier artikelen bekend waarin een poging is gedaan om een optimale netsamenstelling te vinden voor de operatie instrumenten. In het vervolg van deze paragraaf zal elk artikel samengevat worden, waarna in de volgende paragraaf de artikelen vergeleken worden.

Optimizing sterilized logistics in hospitals

Van de Klundert, Muls & Schadd (2008) geven aan dat er rondom de flow van gesteriliseerde instrumenten veel te halen is met optimalisatie door het opstellen van wiskundige modellen. Ze bespreken een aantal optimalisatieproblemen die gebruikt kunnen worden om beschikbaarheid van materiaal te verbeteren en kosten te verlagen met het oog op uitbesteding van de CSA. Allereerst worden er modellen besproken die de voorraad optimaliseren, rekening houdend met voorraad- en transportkosten. Hierbij stellen ze eerst een model op dat uitgaat van vaste verbruiksgegevens, dit model wordt vervolgens aangepast om ook rekening te houden met de vele onzekerheden die er in het proces zitten.

Naast deze modellen voor voorraadbeheer wordt een model genoemd dat de samenstelling van de netten optimaliseert. In dit model wordt een verdeling van de instrumenten over de netten bepaald voor een bepaalde planningsperiode (in dagen), het doel is om de kosten te minimaliseren. De kosten die meegenomen worden zijn opslagkosten voor zowel de instrumenten als de netten en gebruikskosten voor de instrumenten. Het is niet helemaal duidelijk hoe er een getal aan deze kosten gehangen wordt, zo is het bijvoorbeeld niet duidelijk of er ook kapitaalkosten mee worden genomen. Het model kan in theorie een optimale samenstelling van de netten vinden, gegeven een planning van operaties over een bepaalde periode. Uit experimenten met fictieve data blijkt dat de rekentijd “onpraktisch lang” is om voor iedere periode opnieuw op te lossen, ook voor kleinere hoeveelheden operatietypes. De auteurs stellen daarnaast wel dat de potentie van netoptimalisatie groot is, en dat

verder onderzoek zeker de moeite waard is.

Optimization of the Distribution of Surgical Instruments over Trays

Florijn (2008) beschrijft haar onderzoek bij het Academisch Medisch Centrum in Amsterdam, dit onderzoek richt zich volledig op de samenstelling van de instrumentennetten. Aan de hand van een probleemanalyse, op voornamelijk de OK, wordt een wiskundig model geformuleerd dat de kosten van de netsamenstelling minimaliseert. Evenals ons onderzoek richt Florijn zich op de kosten van de netsamenstelling, niet op de voorraden die aangehouden moeten worden. De kosten die meegenomen worden zijn kapitaalkosten voor een type net, sterilisatiekosten voor een instrument en handlingkosten voor een type net. Andere kosten die eventueel een rol kunnen spelen, voorraadkosten en onderhoudskosten worden genoemd, worden buiten beschouwing gelaten vanwege een gebrek aan informatie. Het model maakt een nieuwe verdeling van instrumenten over de netten waarbij de genoemde kosten worden geminimaliseerd, daarbij rekening houdend met de capaciteit van een net (in aantallen instrumenten) en het voorzien in de vraag op de OK's.

De dataset die gebruikt wordt bestaat uit een vijftiental operatietypes, waarvan bekend is welke instrumenten benodigd zijn. In de huidige situatie is het percentage ongebruikte instrumenten op de netten gemiddeld 21%, wat direct leidt tot onnodige sterilisatiekosten van €64.000. Voor de oplossing van het model wordt de "Simulated Annealing" methode gebruikt, waarbij bij een gegeven beginoplossing aan de hand van een vooraf gedefinieerde "neighbourhood structure" instrumenten aan andere netten worden toegewezen. De resultaten laten een kostenreductie zien van €125.000 per jaar bovenop de eerder genoemde €64.000, voor de gegeven dataset. De verwachting is dat toepassing op alle netten tot kostenbesparingen van miljoenen euro's kan leiden.

Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages

Het artikel van Reymondon, Pellet & Marcon (2008) is het enige gevonden buitenlandse artikel. Dit Franse onderzoek richt zich ook volledig op optimalisatie van de samenstelling van de instrumentennetten. Uitgangspunt in dit onderzoek is dat de instrumenten een zogenoemd "shared level" hebben, dat wil zeggen dat een instrument niet aan een bepaalde operatie vast zit, maar voor meerdere operatieprocedures gebruikt kan worden. Door deze eigenschap van de instrumenten wordt verondersteld dat de samenstelling geoptimaliseerd kan worden. Om een inzicht te krijgen in de kostenaspecten die een rol spelen, heeft men een onderzoek gedaan bij het ziekenhuis "Centre Hospitalier Privé de la Loire". Dit leidde tot de identificatie van een viertal kosten; de voorraadkosten van instrumenten, de voorraadkosten per verpakkingstype (los of op een net), de handling kosten en kosten voor onnodig steriliseren van instrumenten. Het doel is om deze kosten te minimaliseren, gegeven dat voldaan is aan de vraag en de capaciteit van de netten.

Bij het oplossen van het geformuleerde model met "Simulated Annealing" blijkt echter dat de rekentijd enorm lang is. Voor een grote dataset (150 operatietypes, 2000 instrumenten) werd na 112 uur nog geen betere samenstelling dan de huidige gevonden. Bij een kleinere dataset (15 operatietypes, 200 instrumenten) is in een half uur een oplossing met een kostenbesparing van €213 per week gevonden. De auteurs concluderen echter dat de rekentijd te lang is, en er wordt een heuristiek voorgesteld om sneller een oplossing te genereren. Deze heuristiek is gebaseerd op twee

extreme oplossingen; één net voor één instrument (alle instrumenten los verpakt) en één net voor één operatie. In fase 1 worden de extreme oplossingen gegenereerd en de kosten voor het opslaan van een instrument in beide oplossingen opgeslagen. Beide kosten worden vergeleken, instrumenten met lagere kosten in een individuele verpakking dan op een net worden van het net gehaald en individueel verpakt. Voor fase 2 van de heuristiek suggereren de auteurs dat de instrumenten die individueel verpakt zijn via een nog te bepalen heuristiek (bijvoorbeeld “Simulated Annealing”) over de netten verdeeld kunnen worden. In het artikel worden alleen de resultaten van fase 1 van de heuristiek besproken, fase 2 is nog niet uitgevoerd. Er is dus ook geen informatie bekend over de prestaties van de heuristiek, zowel op het gebied van rekentijd als kostenreductie.

Instrument trays revised

Wolbers (2008) heeft aan het Medisch Spectrum Twente een onderzoek gedaan naar de samenstelling van de instrumentennetten. Het onderliggende probleem dat hij op wil lossen is het onnodig steriliseren van instrumenten die wel op de netten liggen maar niet tijdens een operatie gebruikt zijn. Het onderzoek afbakenen naar enkele operatieprocedures gebeurt aan de hand van een aantal criteria; de procedures zijn vaker dan 200 keer per jaar uitgevoerd, hebben een korte operatietijd (tussen 20 en 70 minuten) en gebruiken niet alle instrumenten die beschikbaar zijn in de huidige samenstelling. Na deze selectie blijven er 11 procedures over, die samen 115 verschillende type instrumenten gebruiken.

De optimale samenstelling wordt geformuleerd als de samenstelling waarbij jaarlijks de minste instrumenten worden gesteriliseerd. Dit wordt geformuleerd als optimalisatiedoel, waarbij de restricties gelden dat aan de vraag voldaan moet worden, aan de capaciteit van de netten en aan een maximum aantal netten per type operatie. Om ervoor te zorgen dat niet alle instrumenten los verpakt worden (dat is namelijk optimaal in deze formulering), stelt hij dat het aantal type netten vooraf vast staat en dus als input van het model gebruikt wordt. Bij het oplossen van het model wordt geëxperimenteerd met het aantal type netten, variërend van 6 tot 9 types. Het model wordt opgelost met behulp van lineaire oplossingssoftware, genaamd CPLEX. De solver wordt na een half uur onderbroken, en de beste oplossing die tot dan toe gevonden is wordt als redelijke oplossing aangenomen. De kostenbesparing wordt bepaald aan de hand van de besparing in sterilisatiekosten, die varieert van €55.000 tot €65.000.

3.2 Vergelijking van literatuur

De modellen die in de literatuur beschreven zijn verschillen onderling, zowel qua aanpak als resultaten. In deze paragraaf worden deze verschillen in kaart gebracht om zo een goed model op te kunnen stellen voor het HagaZiekenhuis. Florijn (2008) refereert naar het artikel van de Klundert et al. (2008), maar toch is de aanpak verschillend. De overige artikelen refereren onderling niet, dus we gaan er van uit dat het losstaande onderzoeken zijn, wat de vergelijking waardevol maakt. In het eerste deel van deze paragraaf wordt de aanpak van de artikelen vergeleken, vervolgens worden de resultaten vergeleken.

Vergelijking van aanpak

Ieder artikel heeft een wiskundig model geformuleerd om tot een optimale verdeling van instrumenten te komen. De manier waarop dit model geformuleerd is, en dus ook de kosten die mee

worden genomen, verschilt echter per artikel. In tabel 1 geven we een overzicht van de modellen. Hierbij hebben we per model de volgende aspecten beschreven: de toetsingsgrootte (welke eenheid heeft het doel: kosten of aantallen), het optimalisatiedoel (hoe wordt de toetsingsgrootte berekend) en de restricties (de voorwaarden die gesteld worden waardoor de oplossingsruimte wordt beperkt).

Artikel	Toetsingsgrootte	Optimalisatiedoel	Restricties
(van de Klundert, Muls, & Schadd, 2008)	Kosten op de OK	Minimaliseer som van: - Voorraadkosten instrumenten - Voorraadkosten netten - Handling kosten	- Vraag - Eén type instrument toegewezen aan één type net - Net eenmaal per dag gebruikt
(Florijn, 2008)	Kosten op de OK & CSA	Minimaliseer som van: - Kapitaalkosten netten - Sterilisatiekosten instrumenten - Handling kosten	- Vraag - Capaciteit netten
(Reymondon, Pellet, & Marcon, 2008)	Kosten op de OK & CSA	Minimaliseer som van: - Voorraadkosten instrumenten - Kosten verpakkingstype - Handling kosten - Kosten van onnodige sterilisatie	- Vraag - Capaciteit netten - Eén type verpakkingsmateriaal per net
(Wolbers, 2008)	Aantallen op de CSA	Minimaliseer aantal instrumenten dat per jaar gereinigd wordt.	- Vraag - Capaciteit netten - Aantal type netten per operatie

Tabel 1: Vergelijking van de aanpak van modellen uit de literatuur

Het enige model dat in de doelfunctie niet van kosten maar van aantallen uitgaat, is het model van Wolbers (2008). Hierin worden, in tegenstelling tot de andere modellen, geen kosten toegekend aan het hebben van een extra type net maar staat het totale aantal netten vast. Geminimaliseerd wordt het totale aantal instrumenten dat per jaar wordt gereinigd, gegeven een vast aantal netten waarmee gevarieerd wordt. De drie andere modellen minimaliseren allemaal de kosten, waarbij er wel verschil zit welke kosten meegenomen worden zoals te zien is in tabel 1. Hierbij nemen alle modellen de handling kosten voor een type net mee, dat zijn extra personeelskosten die gemaakt worden door het behandelen van een extra type net. Andere kostenaspecten die aan een type net worden toegewezen zijn voorraadkosten en kapitaalkosten. Florijn (2008) neemt wel kapitaalkosten mee, maar geen voorraadkosten omdat er geen duidelijk voorraadbeheer is waardoor er geen realistisch getal aan dit kostenaspect kan worden toegekend. Het is niet duidelijk of de voorraadkosten uit de andere twee modellen (zowel voorraadkosten voor de netten als voor instrumenten) bestaan uit kosten voor de ruimte of kapitaalkosten. Het model van Reymondon et al. (2008) kent ook nog kosten toe aan een bepaald verpakkingstype, dit omdat zij ervan uitgaan dat instrumenten naast het plaatsen op een net ook los verpakt kunnen worden. Naast kosten voor een type net, zijn er ook kosten verbonden aan de instrumenten die op dat net liggen. Zo behandelen Florijn (2008) en Reymondon et al. (2008) de sterilisatiekosten per instrument, en het model van

Wolbers (2008) is zelfs in zijn geheel gericht op de sterilisatie. Van de Klundert et al. (2008) nemen geen sterilisatiekosten mee, omdat zij zich richten op de kosten op de OK's en niet op de CSA.

Het totale aantal oplossingen wordt beperkt door het stellen van een aantal voorwaarden, restricties, waaraan de oplossing moet voldoen. Zo is er natuurlijk de vraag op de OK's waaraan voldaan moet worden, de oplossing moet garanderen dat alle instrumenten die benodigd zijn bij een operatie op de toegewezen netten liggen. Deze restrictie is natuurlijk in alle modellen opgenomen. Een andere logische restrictie, die verrassend niet in het model van Klundert et al. (2008) opgenomen is, is de capaciteit van de netten. Een net heeft namelijk een beperkte capaciteit wat betreft gewicht en volume. In de modellen van Florijn (2008) en Wolbers (2008) is deze restrictie geformuleerd als een maximaal aantal instrumenten dat op een net kan, Reymondon et al. (2008) hebben per instrument een bezettingspercentage geformuleerd.

Naast deze algemene restricties hebben de modellen enkele andere restricties opgenomen, naar aanleiding van keuzes gemaakt in de aanpak of extra restricties om de oplossingsruimte te beperken en daarmee het oplossingsproces te versnellen. Zo hebben Reymondon et al. (2008) naar aanleiding van hun keuze om ook los instrumentarium mee te nemen een restrictie opgenomen dat een instrument maar aan één type verpakkingsmateriaal kan worden toegewezen. In het model van Klundert et al. (2008) is een extra aanname gemaakt om de oplossingsruimte te beperken, één type instrument kan maar op één net geplaatst worden in hun model. Vergelijking van resultaten

Naast de aanpak verschillen de artikelen ook in behaalde resultaten. De vergelijking van de resultaten hebben we in tabel 2 weergegeven, daarin is het artikel van Klundert et al. (2008) niet opgenomen omdat daarin alleen suggesties voor de aanpak worden gegeven. De andere artikelen zijn vergeleken op basis van de volgende aspecten: grootte van de dataset, theoretische kostenbesparing, oplossingsmethodiek en rekentijd.

Artikel	Grootte dataset	Theoretische kostenbesparing	Oplossingsmethodiek	Rekentijd
(Florijn, 2008)	15 operaties, 239 instrumenten	€125.000 per jaar	Simulated Annealing	1 uur
(Reymondon, Pellet, & Marcon, 2008)	150 operaties, 2000 instrumenten	Niet gevonden	Simulated Annealing	>112 uur
	15 operaties, 200 instrumenten	€11.067 per jaar	Simulated Annealing	½ uur
	150 operaties, 2000 instrumenten	Nog onbekend	Eigen Heuristiek	Nog onbekend
(Wolbers, 2008)	11 operaties, 115 instrumenten	€55.000-€65.000 per jaar	CPLEX	(onderbroken na) ½ uur

Tabel 2: Vergelijking van de resultaten van modellen uit de literatuur

De drie artikelen hebben experimenten uitgevoerd met een bepaalde dataset, de kostenbesparingen die gevonden zijn komen allen uit een dataset van vergelijkbare grootte. De kostenbesparingen zijn echter niet direct onderling te vergelijken, aangezien de besparingen op verschillende manieren berekend zijn. In tabel 1 zijn de kostenaspecten weergegeven op basis waarvan de besparing is berekend. De kostenbesparing van Wolbers is gebaseerd is op de reductie van het totale aantal

instrumenten dat jaarlijks gereinigd wordt, vermenigvuldigd met de sterilisatiekosten per instrument.

Alle artikelen zijn positief over het potentiële effect van de optimalisatie, de rekentijd wordt echter in ieder artikel als obstakel gezien. Ieder probleem blijkt veel tijd te kosten om tot optimaliteit te worden opgelost. De artikelen gebruiken verschillende methodieken om het model op te lossen, waarbij Simulated Annealing en de eigen heuristiek van Reymondon et al. (2008) gericht zijn op het vinden van een redelijke oplossing en CPLEX een optimale oplossing tracht te vinden. Ieder model heeft een redelijke oplossing gevonden in plaats van een optimale. Reymondon et al. (2008) hebben een heuristiek ontwikkeld, omdat ze met Simulated Annealing na 112 uur nog geen betere oplossing gevonden hadden. Deze heuristiek hebben ze toegepast op een kleine dataset, waarna ze na een half uur een betere oplossing gevonden hebben, de heuristiek is nog niet getest op een grotere dataset. Florijn (2008) heeft Simulated Annealing gebruikt, omdat ze door een vermenigvuldiging van twee beslissingsvariabelen geen lineair model heeft. Wolbers (2008) heeft de non-lineairiteit opgelost door een aantal restricties aan het model toe te voegen. Hierdoor kan gebruik gemaakt worden van CPLEX, een programma dat branch-and-bound gebruikt om een geheeltallig lineair model (ILP) op te lossen. Het optimaal oplossen van het model duurt lang, maar het programma kan onderbroken worden waardoor een redelijke oplossing bepaald kan worden.

3.3 Keuzes voor ons onderzoek

Op het gebied van de kostenaspecten neemt elk model de handling kosten mee. In paragraaf 2.3 hebben wij echter besloten om deze kosten niet direct op te nemen in ons model, de handling bij het voorraadbeheer op de OK is namelijk erg gering en het controleren van de instrumenten op de OK gebeurt nauwelijks waardoor we hier geen waarde aan kunnen geven. De handling op de OK zelf zullen we indirect meenemen in de resultaten, met behulp van een gevoeligheidsanalyse. Ook de voorraadkosten per type net zullen we in de gevoeligheidsanalyse meenemen, omdat deze kosten niet rechtstreeks aan een type net toe te wijzen zijn. Daarnaast worden de sterilisatiekosten per instrument en de kapitaalkosten per type net in de meeste modellen meegenomen, ook in ons model zullen we sterilisatiekosten en kapitaalkosten toewijzen aan respectievelijk de instrumenten en de netten. Ons onderzoek behandelt geen los instrumentarium (zie paragraaf 3.4), waardoor het kostenaspect dat Reymondon et al. (2008) voor het verpakkingstype gebruiken, bij ons buiten beschouwing zal worden gelaten. We kunnen de heuristiek van Reymondon et al. (2008) om dezelfde reden ook niet gebruiken.

Op het gebied van de restricties zijn er een tweetal logische restricties, de vraag naar instrumenten op de OK en de capaciteit van de netten. Er kan een groot verschil zitten in de grootte van de instrumenten, daarmee zou het formuleren van een maximaal aantal instrumenten per net problemen kunnen geven. Om die reden kiezen we ervoor om, in tegenstelling tot Florijn (2008) en Wolbers (2008) het model te formuleren aan de hand van een bezettingspercentage per instrument. Mocht uit de gekozen dataset blijken dat de instrumenten ruwweg even groot zijn, kennen we aan elk instrument hetzelfde bezettingspercentage toe. Om de oplossingsruimte te beperken heeft Wolbers (2008) gekozen voor een maximaal aantal netten per operatietype, en van de Klundert et al. (2008) wijzen één instrument aan maximaal één net toe. Beide restricties kunnen ertoe leiden dat het model een aantal goede oplossingen niet gaat bekijken, waardoor wij deze restricties niet aan

ons model toevoegen.

In ons onderzoek proberen we een optimale oplossing te verkrijgen, wat niet mogelijk is met Simulated Annealing. Aangezien we de heuristiek van Reymondon et al. (2008) niet kunnen gebruiken, zullen we het model met behulp van CPLEX op proberen te lossen. De lange oplossingstijd vormt daarbij waarschijnlijk geen beperkende factor aangezien het model niet vaak opgelost hoeft te worden.

3.4 Conclusie

De modellen uit de literatuur verschillen vooral op het gebied van de kosten die meegenomen worden. De kosten die wij meenemen zijn kapitaalkosten voor een type net en sterilisatiekosten voor een instrument, die veelal ook in de andere modellen opgenomen zijn. De kostenaspecten die wij niet direct, maar in de gevoeligheidsanalyse, meenemen, zijn de handlingkosten en voorraadkosten. Opvallend is dat de handling kosten in de andere modellen toegewezen worden aan netten, maar wij zijn van mening dat deze kosten sterker beïnvloed worden door het aantal instrumenten op een net.

Het oplossen van het model zullen we doen met behulp van CPLEX, omdat die methode (in tegenstelling tot Simulated Annealing) een optimale oplossing kan vinden. Een nadeel van CPLEX is dat het vinden van een oplossing wel lang kan duren, maar in principe hoeft ons model niet regelmatig opgelost te worden waardoor een langere rekentijd acceptabel is. In het volgende hoofdstuk zullen we ons model beschrijven en de gemaakte aannames bespreken.

4 Model

In dit hoofdstuk zullen we een model opstellen waarmee we, voor de situatie bij het HagaZiekenhuis, een optimale verdeling van de instrumenten over de netten kunnen vinden. In paragraaf 1 formuleren we de aannames voor het model, waarna we het model in paragraaf 2 formuleren. Om de rekentijd te beperken, voeren we in paragraaf 3 experimenten uit met een aantal symmetrie-beperkende restricties.

4.1 Aannames

In het model proberen we de huidige situatie te benaderen, maar er moeten wel een aantal aannames gemaakt worden voordat we het model kunnen formuleren. In deze paragraaf zullen we de gemaakte aannames behandelen.

- Ten eerste nemen we aan dat we de toekomstige situatie met uitplaatsing van de CSA naar Combi-Ster als uitgangspunt nemen, daarbij nemen we aan dat de capaciteit van Combi-Ster toereikend is. Met betrekking tot de kosten baseren we de hoogte van de sterilisatiekosten per instrument op gegevens van Combi-Ster. Door de vergrote afstand (circa 45 minuten) zijn er extra transportkosten, maar we nemen aan dat deze kosten niet afhankelijk zijn van de netsamenstelling en daarmee dus ook niet van belang zijn voor het model. Er zijn namelijk (waarschijnlijk) twee vaste aanlevermomenten per dag, waardoor de transportkosten vast zijn.
- In paragraaf 2.3 hebben we beredeneerd dat de kapitaal- en voorraadkosten per type net en sterilisatiekosten per instrument de twee kostenposten zijn die het meest beïnvloed worden door de netsamenstelling. Daarbij laten we de handlingkosten in het model buiten beschouwing, in de gevoeligheidsanalyse zullen we bepalen wat het effect van handlingkosten op de netsamenstelling is.
- Het model richt zich volledig op het deel van de instrumenten dat op netten geplaatst wordt. Daarbij houden we geen rekening met instrumenten die eventueel los verpakt kunnen worden of met wegwerpmateriaal. Er is namelijk momenteel geen inzicht in het huidige verbruik van los instrumentarium en disposables, waardoor we op korte termijn niet genoeg informatie kunnen verzamelen om dit mee te nemen in het model.
- Het geformuleerde model is een deterministisch model, daardoor worden de stochastische elementen in het proces niet in het model opgenomen. Zo is er geen ruimte voor wisselend gebruik van instrumentarium tijdens de operatie. In ons model nemen we aan dat alle instrumenten die toegewezen zijn aan een bepaald type operatie ook bij die operatie gebruikt worden. Daarnaast nemen we ook aan dat er slechts één net van een bepaald type per operatietype gebruikt wordt. Daarbij laten we dus buiten beschouwing dat er een tweede net geopend moet worden als er een instrument mist of er een net onsteriel is geworden.

4.2 Model voor het net optimalisatie probleem

In deze paragraaf formuleren we het wiskundige model dat de samenstelling van de netten moet optimaliseren. Het doel van dit model is om de instrumenten dusdanig over de netten te verdelen,

zodat de totale kosten geminimaliseerd worden. Bij de beschrijving van het onderzoeksdoel in paragraaf 1.4 hebben we bepaald dat er zowel kosten zitten aan een type net als sterilisatiekosten aan de instrumenten. In het model proberen we een balans te vinden tussen twee doelen: zo min mogelijk type netten (standaardisatie) en zo min mogelijk instrumenten die gesteriliseerd moeten worden (netoptimalisatie). In de formulering van het model gebruiken we notaties voor de verschillende elementen, in tabel 4 staan de notaties met hun omschrijving. Het model dat we formuleren is gebaseerd op een combinatie van de modellen die gevonden zijn in de literatuurstudie, toegepast op de specifieke situatie van het HagaZiekenhuis.

		Notatie	Omschrijving
Verzamelingen		I	Set van type instrumenten, index $i = \{1...k\}$
		N	Set van type netten, index $n = \{1...m\}$
		O	Set van type operaties, index $o = \{1...p\}$
Parameters	Kosten	vk	De vaste kosten (kapitaal- en voorraadkosten) van een type net
		sk	De sterilisatiekosten van een instrument
		$b_{i,o}$	Aantal instrumenten van type i benodigd bij operatie o
	Input	f_o	Jaarlijkse frequentie van uitvoering van operatie o
		bzg_i	De bezettingsgraad die instrument i op een net inneemt
		M	"Big-M" parameter, gelijk aan maximale waarde die $X_{i,n}$ aan kan nemen ¹
		$X_{i,n}$	Positief geheel getal, die het aantal instrumenten i dat toegewezen is aan net n aangeeft
		$Y_{n,o}$	Binaire variabele, die aangeeft of net n toegewezen is aan operatie o ($Y_{n,o} = 1$) of niet ($Y_{n,o} = 0$)
		$Z_{i,n,o}$	Hulpvariabele die het aantal instrumenten i van net n dat beschikbaar is voor operatie o aangeeft, $Z_{i,n,o}$ is gelijk aan het product van $X_{i,n}$ en $Y_{n,o}$
Variabelen		$Open_n$	Binaire hulpvariabele, die aangeeft of aan net n instrumenten toegewezen zijn ($Open_n=1$) of niet ($Open_n=0$)

Tabel 3: Notaties van de elementen in het model

In tabel 4 maken we onderscheid tussen verzamelingen, parameters en variabelen. De verzamelingen die we onderscheiden zijn de instrumenten (i), de netten (n) en de operaties (o). Deze verzamelingen komen terug in de index van de variabelen en parameters. De parameters vormen de input voor het model, de variabelen zijn de beslissingsvariabelen van het model en representeren de samenstelling van de instrumentennetten.

Doelfunctie en restricties

Nu we de elementen uit het model geformuleerd hebben, kunnen we het model wiskundig formuleren. Hiertoe formuleren we de doelfunctie en de restricties. De doelfunctie geeft de kosten aan die geminimaliseerd moeten worden, in paragraaf 2.3 hebben we besloten om de kapitaalkosten en sterilisatiekosten mee te nemen. De doelfunctie is als volgt geformuleerd.

¹ Deze parameter wordt gebruikt om de hulpvariabelen $Z_{i,n,o}$ en $Open_n$ de juiste waarden te geven, dit gebeurt in restricties (4) tot en met (7).

$$\min vk \cdot \sum_n (Open_n) + \sum_o (sk \cdot f_o \cdot \sum_i \sum_n Z_{i,n,o}) \quad (1)$$

Deze doelfunctie (1) bestaat uit twee kostensoorten, de eerste kostensoort zijn de kapitaalkosten en de tweede de sterilisatiekosten. De kapitaalkosten worden berekend door het aantal geopende netten ($Open_n$) te vermenigvuldigen met de vaste kosten (vk). De sterilisatiekosten worden bepaald door het totale aantal instrumenten per operatie ($Z_{i,n,o}$ gesommeerd over de instrumenten en netten) te vermenigvuldigen met de sterilisatiekosten (sk) en de jaarlijkse frequentie (f_o), wat in zijn geheel over de operaties gesommeerd wordt.

De oplossingsruimte wordt beperkt door een aantal restricties waaraan de optimale oplossing moet voldoen. Allereerst zijn er een tweetal logische restricties, namelijk dat iedere operatie de gevraagde instrumenten tot zijn beschikking moet hebben (2) en dat de netten genoeg capaciteit hebben voor de toegewezen instrumenten (3). Deze restricties zijn in vrijwel ieder model uit de literatuur opgenomen, waarbij onze formulering het meest overeenkomt met de modellen van Florijn (2008) en Wolbers (2008).

$$\sum_n Z_{i,n,o} \geq b_{i,o} \quad \forall i, o \quad (2)$$

$$\sum_i (X_{i,n} \cdot bzg_i) \leq 1 \quad \forall n \quad (3)$$

Daarnaast moeten er twee relaties worden gedefinieerd. Ten eerste hebben we $Z_{i,n,o}$ gedefinieerd als het product van $X_{i,n}$ en $Y_{n,o}$ om de lineariteit in het model te houden. Om deze relatie te garanderen hebben we (4), (5) en (6) opgesteld, zoals ook van de Klundert et al. (2008) en Wolbers (2008) gedaan hebben. Ten tweede moet een net geopend worden als er instrumenten aan toegewezen worden, dat wil zeggen dat $Open_n$ gelijk aan 1 moet zijn als de som over i van $X_{i,n}$ groter als 0 is. Deze tweede relatie is in (7) beschreven.

$$Z_{i,n,o} \leq M \cdot Y_{n,o} \quad \forall i, n, o \quad (4)$$

$$Z_{i,n,o} \leq X_{i,n} \quad \forall i, n, o \quad (5)$$

$$Z_{i,n,o} \geq X_{i,n} + M \cdot (Y_{n,o} - 1) \quad \forall i, n, o \quad (6)$$

$$X_{i,n} \leq M \cdot Open_n \quad \forall i, n \quad (7)$$

Met bovengenoemde restricties zijn alle noodzakelijke restricties benoemd, we kunnen echter ook aanvullende restricties toevoegen die de rekentijd kunnen beperken. Liberti (2012) geeft aan dat het oplossen met behulp van branch-and-bound, een oplossingsmethodiek die wij ook gebruiken, aanmerkelijk langer duurt wanneer er sprake is van symmetrie. In het huidige model zijn er veel symmetrische oplossingen mogelijk, omdat ieder net identiek is. Zo kun je namelijk een nieuwe oplossing creëren door de toegewezen instrumenten van twee netten in zijn geheel te wisselen, terwijl dit in essentie dezelfde oplossing is. Crawford et al. (1996) geven aan dat de symmetrie beperkt kan worden door toevoeging van restricties. Dit kan bereikt worden door de oplossingen

lexicografisch te sorteren, waarmee hiërarchieën gecreëerd worden die het model stimuleren om unieke oplossingen te vinden. Om de rekentijd van ons model te beperken hebben wij hieronder een aantal symmetrie beperkende restricties geformuleerd, gebaseerd op onderzoeken van Denton et al. (2010) en Sherali & Cole Smith (2001).

$$Open_1 \geq Open_2 \geq Open_3 \geq \dots \geq Open_m \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_o Z_{i,1,o} \geq \sum_i \sum_o Z_{i,2,o} \geq \dots \geq \sum_i \sum_o Z_{i,m,o} \quad (9)$$

$$\sum_o Y_{1,o} \geq \sum_o Y_{2,o} \geq \dots \geq \sum_o Y_{m,o} \quad (10)$$

$$\sum_i (X_{i,1} \cdot bzg_i) \geq \sum_i (X_{i,2} \cdot bzg_i) \geq \dots \geq \sum_i (X_{i,m} \cdot bzg_i) \quad (11)$$

$$\sum_i X_{i,1} \geq \sum_i X_{i,2} \geq \dots \geq \sum_i X_{i,m} \quad (12)$$

Het doel van (8) tot en met (12) is het aanbrengen van een hiërarchie in de toewijzing van instrumenten aan netten, waardoor het aantal symmetrische oplossingen beperkt wordt. Denton et al. (2010) hebben ook een aantal symmetrie-beperkende restricties toegepast op hun probleem met betrekking tot OK-planning waarvan er één direct op ons model toe te passen is, deze restrictie is geformuleerd in (8). Hierin wordt gegarandeerd dat de netten waaraan geen instrumenten toegewezen worden altijd de laatste netten zijn, waarmee we voorkomen dat er symmetrische oplossingen ontstaan waarin een leeg net verwisseld is met een vol net.

Sherali & Cole Smith (2001) suggereren ook een aantal symmetrie-beperkende restricties die betrekking hebben op de eigenschappen van het element dat de symmetrie veroorzaakt, in ons geval de netten. In de geformuleerde restricties zijn er twee eigenschappen waarop wij ook hiërarchie aan kunnen brengen, namelijk restricties op de vraag (net 1 is het net dat in de meeste vraag voorziet) en op de capaciteit (net 1 is het net dat de meeste capaciteit gebruikt, ofwel het volst is). Op basis daarvan hebben we (9), (10), (11) en (12) opgesteld; waarvan slechts één restrictie in combinatie met (8) in het model opgenomen kan worden. In (9) wordt de hiërarchie bepaald aan de hand van het aantal instrumenten i dat aan operaties o geleverd wordt door net n , in (10) het aantal operatietypes o waaraan instrumenten geleverd wordt door net n . Deze verdeling is gebaseerd op de vraag, restricties (11) en (12) hebben betrekking op de capaciteit. Zo bepaalt (11) de hiërarchie aan de hand van de bezettingsgraad van net n , en (12) het aantal instrumenten dat geplaatst is op net n . Het is niet eenvoudig op voorhand een keuze te maken voor een restrictie waarbij de oplossingstijd het laagst is; omdat er bij de restricties de mogelijkheid is op een “gelijk spel” waardoor er alsnog symmetrie is (Sherali & Cole Smith, 2001) en het toevoegen van een restrictie invloed heeft op de branch strategie en de duur van het oplossen van de relaxatie (Liberti, 2012). Daarom zullen we moeten experimenteren met de symmetrie-beperkende restricties om te bepalen welke het meest effectief is voor onze dataset.

Tenslotte hebben we nog een aantal restricties toegevoegd die aangeven welke waarden onze variabelen aan mogen nemen. Zo zijn $X_{i,n}$ en $Z_{i,n,o}$ positieve gehele getallen en zijn $Y_{n,o}$ en $Open_n$ binair (13).

$$X_{i,n}, Z_{i,n,o} \in \mathbb{Z}^+ ; Y_{n,o}, Open_n \in \mathbb{B} \quad (13)$$

Oplossingsmethodiek

Het oplossen van het model doen we met behulp van de ILP solver CPLEX. Deze software is in staat om een optimale oplossing te vinden, gebruik makend van branch-and-bound. Deze methode zoekt systematisch alle oplossingen af, waarbij een boom wordt gecreëerd met daarin alle mogelijke oplossingen. Elk punt in de boom representeert een oplossing, waarbij de ondergrens (OG) in elk punt bepaald wordt door de oplossing van de relaxatie van het probleem. Bij de relaxatie van het probleem wordt de geheeltalligheidsrestrictie buiten beschouwing gelaten, waardoor het probleem binnen afzienbare tijd kan worden opgelost. De bovengrens (BG) van het probleem is de waarde van een oplossing in de boom die uit gehele getallen bestaat, en dus haalbaar is. De punten in de boom worden, met behulp van de BG en OG, systematisch afgesloten waardoor er uiteindelijk een optimale oplossing gevonden wordt. De precieze werking van CPLEX is in appendix A beschreven, geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld.

4.3 Symmetrie-beperkende restricties

In het vorige hoofdstuk hebben we geconcludeerd dat er veel symmetrische oplossingen mogelijk zijn, waardoor de rekentijd langer wordt. Om de symmetrie te beperken hebben we onderstaande restricties geformuleerd. Van deze restricties kan (8) in combinatie met (9), (10), (11) of (12) aan het model toegevoegd worden.

$$Open_1 \geq Open_2 \geq Open_3 \geq \dots \geq Open_m \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_o Z_{i,1,o} \geq \sum_i \sum_o Z_{i,2,o} \geq \dots \geq \sum_i \sum_o Z_{i,m,o} \quad (9)$$

$$\sum_o Y_{1,o} \geq \sum_o Y_{2,o} \geq \dots \geq \sum_o Y_{m,o} \quad (10)$$

$$\sum_i (X_{i,1} \cdot bzg_i) \geq \sum_i (X_{i,2} \cdot bzg_i) \geq \dots \geq \sum_i (X_{i,m} \cdot bzg_i) \quad (11)$$

$$\sum_i X_{i,1} \geq \sum_i X_{i,2} \geq \dots \geq \sum_i X_{i,m} \quad (12)$$

Om te bepalen welke restrictie het meest effectief is hebben we een aantal experimenten uitgevoerd met een vergelijkbare fictieve dataset van 195 instrumenten en 15 operatietypes, we hebben op het moment van experimenteren namelijk nog niet alle data verzameld om het met de dataset van het HagaZiekenhuis deze experimenten uit te voeren. Met deze dataset hebben we de mogelijke modelconfiguraties ieder 12 uur laten runnen in CPLEX, de resultaten hiervan zijn gegeven in tabel 5. Hierin is niet getest op restrictie 11, omdat voor deze dataset de aanname is gemaakt dat elk instrument dezelfde bezettingsgraad heeft waardoor deze restrictie gelijk is aan (12).

Toegevoegde restricties	Aantal iteraties	Aantal nodes	Iteraties per node	Beste OG (€)	Beste geheeltallige oplossing (€)	"Integrity gap" (%)
Geen	17.227.597	42.275	408	231.370,85	323.979	28,6%
(8)	17.685.900	42.548	416	236.652,15	326.354	27,5%
(8) + (12)	30.188.407	69.908	432	237.237,50	344.729	31,2%
(10)	20.951.988	19.564	1.071	230.828,67	349.839	34,0%
(8) + (10)	12.495.263	16.632	751	230.806	350.254	34,1%
(8) + (9)	12.172.636	10.911	1.116	228.969,77	373.182	38,6%
(12)	9.443.589	10.069	938	230.806,00	385.029	40,1%
(9)	5.862.756	2.701	2.171	226.959,85	Geen	Geen

Tabel 4: Vergelijking prestaties verschillende modelsamenstellingen na 12 uur

In tabel 5 is een vergelijking gemaakt op basis van een aantal kenmerken van CPLEX, een uitleg van de werking van CPLEX is te vinden in appendix A. Het aantal iteraties is het aantal rekenstappen dat CPLEX in totaal uit heeft gevoerd. Bij elke nieuwe gevonden oplossing wordt een zogenoemde node gemaakt. De ondergrens (OG) geeft de beste niet-geheeltallige oplossing, en de kolom ernaast de beste geheeltallige (en dus haalbare) oplossing. Het verschil tussen beide (de "integrity gap") geeft een indicatie hoe dicht het model bij de optimale oplossing is.

Uit tabel 5 concluderen we dat, opvallend genoeg, het model zonder symmetrie-beperkende restricties de beste geheeltallige oplossing geeft, net iets beter dan het model met toevoeging van restrictie (8). Toevoeging van restrictie (8) zorgt er echter wel voor dat de ondergrens hoger is dan zonder toevoeging van een restrictie, de "integrity gap" (het verschil tussen de OG en de beste geheeltallige oplossing) is ook lager met restrictie (8) waardoor deze oplossing dichterbij het optimum is. De beste OG komt van configuratie (8) + (12), deze configuratie heeft ook de meeste nodes gecreëerd, maar de beste geheeltallige oplossing is veel slechter dan die van de twee eerstgenoemde configuraties. Uit deze resultaten is niet direct te concluderen welke van de drie bovenste configuraties het effectiefst een optimum kan vinden voor onze dataset, aangezien die met 87 instrumenten aanzienlijk kleiner is en dus ook sneller opgelost zal kunnen worden. In hoofdstuk 6 zullen we onze dataset dan ook nog testen met de drie modelconfiguraties geen, (8) en (8)+(12); aangezien die tot respectievelijk de beste oplossing, beste "integrity gap" en beste OG leiden.

In theorie zouden de symmetrie-beperkende restricties de rekentijd moeten doen afnemen, maar bij het experiment blijkt dat deze modellen een slechtere OG, geheeltallige oplossing en integrity gap hebben. Hieruit lijkt het of de symmetrie-beperkende restricties niet werken zoals verwacht. Een oorzaak hiervan kan zijn dat het model moeilijker opgelost kan worden met het simplex algoritme, waardoor het langer duurt om een node te creëren en dus ook langer voordat er goede oplossingen kunnen worden gevonden. Dit lijkt het geval te zijn bij de meeste symmetrie-beperkende restricties. In tabel 5 hebben we het gemiddeld aantal iteraties voor het maken van één node weergegeven, hieruit concluderen we dat de eerder genoemde drie beste configuraties (veel) minder iteraties nodig hebben dan de overige configuraties. Wij vermoeden dat het oplossingsproces hierdoor dusdanig inefficiënt wordt dat de rekentijd enorm toeneemt.

Wat ook opvalt, is het feit dat toevoeging van alleen (9) evenals alleen (12) de twee slechtste resultaten geven, terwijl in theorie deze twee configuraties dezelfde zijn als (8)+(9) en (8)+(12). Met

restricties (9) en (12) komen de netten waaraan geen instrumenten toegewezen worden namelijk ook achteraan, hetzelfde wat we willen bereiken met restrictie (8). Dit kan aan meerdere factoren liggen, onder andere aan de efficiëntie van het oplossingsproces en de computer. Het zou kunnen dat de iteraties meer rekentijd kosten met de configuraties. Daarnaast kunnen de prestaties van de computer ook wisselen, door bijvoorbeeld andere processen waar de computer mee bezig is en warmte die moeilijk afgevoerd kan worden.

4.4 Conclusie

In dit hoofdstuk hebben we het model geformuleerd waarmee we de samenstelling van de netten zullen optimaliseren, dit model bestaat uit de volgende doelfunctie en restricties.

$$\min \quad vk \cdot \sum_n (Open_n) + \sum_o (sk \cdot f_o \cdot \sum_i \sum_n Z_{i,n,o}) \quad (1)$$

$$z. d. d. \quad \sum_n Z_{i,n,o} \geq b_{i,o} \quad \forall i, o \quad (2)$$

$$\sum_i (X_{i,n} \cdot bzg_i) \leq 1 \quad \forall n \quad (3)$$

$$Z_{i,n,o} \leq M \cdot Y_{n,o} \quad \forall i, n, o \quad (4)$$

$$Z_{i,n,o} \leq X_{i,n} \quad \forall i, n, o \quad (5)$$

$$Z_{i,n,o} \geq X_{i,n} + M \cdot (Y_{n,o} - 1) \quad \forall i, n, o \quad (6)$$

$$X_{i,n} \leq M \cdot Open_n \quad \forall i, n \quad (7)$$

$$Open_1 \geq Open_2 \geq Open_3 \geq \dots \geq Open_m \quad (8)$$

$$\text{Symmetrie beperkende restrictie} \quad (9), (10), (11) \text{ of } (12)$$

$$X_{i,n}, Z_{i,n,o} \in \mathbb{Z}^+ ; Y_{n,o}, Open_n \in \mathbb{B} \quad (13)$$

De doelfunctie (1) minimaliseert de kosten, waarbij rekening gehouden wordt met de vraag op de OK's (2) en de capaciteit van een net (3). De relatie $Z_{i,n,o} = X_{i,n} \cdot Y_{n,o}$ wordt in (4), (5) en (6) geformuleerd, en (7) opent een net n als daar instrumenten aan toegewezen worden. Een experiment met betrekking tot de symmetrie-beperkende restricties (restricties (8) tot en met (12)) geeft geen eenduidig resultaat, waardoor we in hoofdstuk 6 nog experimenten uitvoeren met de configuraties geen symmetrie-beperkende restricties, (8) en (8) + (12). De waarden die de variabelen aan mogen nemen worden door (13) bepaald. Dit model zullen we oplossen voor de dataset van met behulp van CPLEX, voordat dat mogelijk is zullen we in het volgende hoofdstuk eerst data moeten verzamelen. We zullen hier een selectie maken van operatietypes en waardes geven aan de (input) parameters.

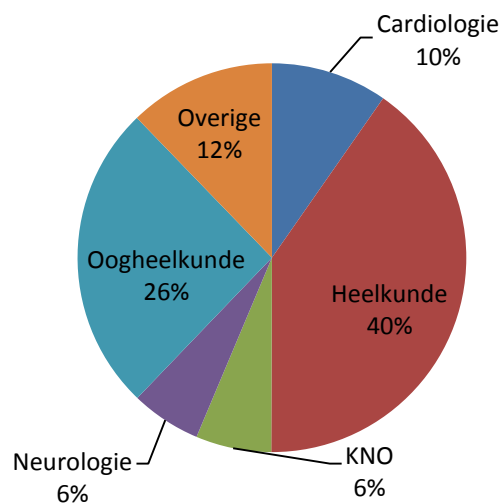
5 Data verzameling

In dit hoofdstuk verzamelen we de data die nodig zijn om de optimale samenstelling te bepalen. Allereerst maken we in paragraaf 1 een keuze voor de meest effectieve symmetrie-beperkende restrictie. Vervolgens bespreken we de waardes van de parameters uit het model (de kostenaspecten en overige input) in paragraaf 2.

5.1 Selectie operatietypes

Het HagaZiekenhuis heeft in totaal 2200 netten, met het oog op de rektijd is het niet mogelijk om alle netten in het model mee te nemen. We moeten dus een selectie maken voor een aantal operatietypes, waar veelal basisnetten aan toegewezen zijn. Allereerst kiezen we ervoor om ons te beperken tot operaties uitgevoerd op de locatie aan de Leyweg, omdat op de Sportlaan veel orthopedische operaties worden uitgevoerd waarvan het instrumentengebruik onregelmatig is. Daarnaast nemen we de poliklinieken ook niet mee, omdat die een eigen voorraad instrumenten hebben. Bovendien is er momenteel een onderzoek op de poliklinieken om met disposable materiaal te gaan werken, waardoor het onzeker is of de instrumenten die nu gebruikt worden in de toekomst ook nog gebruikt worden.

Op de locatie aan de Leyweg worden jaarlijks ongeveer 10.000 operaties uitgevoerd, in figuur 3 is te zien hoe deze productie over de specialismes verdeeld is. Gezien de beperkte tijd richten we ons op het specialisme Heelkunde, aangezien ongeveer 40% van de totale productie door dit specialisme geleverd wordt. Oogheelkunde is ook verantwoordelijk voor een groot deel, 26%, maar dit specialisme gebruikt zeer specifiek materiaal waardoor een combinatie met Heelkunde voor ons onderzoek niet interessant is.



Figuur 3: Verdeling van totale productie over specialismes

De selectie van operatietypes doen we op basis van frequentie en de toegewezen netten. Om een keuze te maken hebben we eerst een lijst gemaakt van de 40 meest voorkomende operatietypes op de OK-planning in 2010. Vervolgens hebben we met een OK assistent bepaald welke van deze operatietypes specifiek instrumentarium gebruikt, deze operaties gebruiken we niet in ons model.

Uiteindelijk hebben we van de overgebleven operatietypes (circa 25), de 15 meest voorkomende operaties uitgekozen. Deze selectie van operatietypes is te zien in tabel 3, waarin naast de jaarlijkse frequentie ook te zien is welke netten aan de operatietypes toegewezen zijn.

Operatietype (CTG code)	Omschrijving	Frequentie (jaarlijks, 2010)	Toegewezen netten
35355	Cholecystectomie laparoscopisch	329	Basismand, Lap. Chol. I, Lap. Chol. II, Laparotomie
38853	Behandeling grote diepe abcessen	187	Basismand, Laparotomie
38942	Wondexcisie en wondtoilet	158	Basismand
34910	Appendectomie	155	Basismand
35710	Endoscopische operatie hernia inguinalis	132	Basismand, Lap. Chol. I, Lap. Chol. II, Laparotomie
33911	Mammatumorexcisie	109	Mamma amputatie
35700	Hernia inguinalis enkelzijdig	108	Basismand
35512	Proeflaparotomie	99	Basismand, Laparotomie
34738	Dikke darmresectie, al dan niet met coecostomie	95	Basismand, Laparotomie
35740	Hernia cicatricialis	47	Basismand
38912	Diepere, grotere tum.,hydrad. etc.	46	Basismand, Laparotomie
38675	Achillespeesruptuur	35	Basismand
34911	Endoscopische appendectomie	30	Basismand, Lap. Chol. I, Lap. Chol. II, Laparotomie
35750	Hernia epigastrica	24	Basismand
34638	Dunne darmresectie	22	Basismand, Laparotomie

Tabel 5: Selectie operatietypes

In totaal maken de operatietypes gebruik van 5 verschillende netten, waarop in totaal 87 verschillende instrumententypes liggen. Dit lijkt op het eerste oog een vrij kleine dataset, maar als we kijken naar de productie van zowel de operatietypes als de netten (sterilisatie productie) zien we dat de operaties en netten een relatief groot aandeel hebben. De 5 netten bedragen namelijk 15,9% van de totale productie op de CSA. De jaarlijkse frequentie van de operatietypes, 1576, bedraagt in totaal bijna 40% van de totale heekkundige productie.

5.2 Input parameters

In hoofdstuk 4 hebben we een aantal parameters voor het model gedefinieerd, in deze paragraaf zullen we een waarde aan deze parameters toekennen. Allereerst zullen we data verzamelen van de vaste kosten voor een type net en de sterilisatiekosten voor een type instrument. Naast de kostenaspecten zijn er nog drie andere onbekende parameters; de benodigde instrumenten voor elk operatietype, de jaarlijkse frequentie van operatietypes en de bezettingsgraad van de instrumenten.

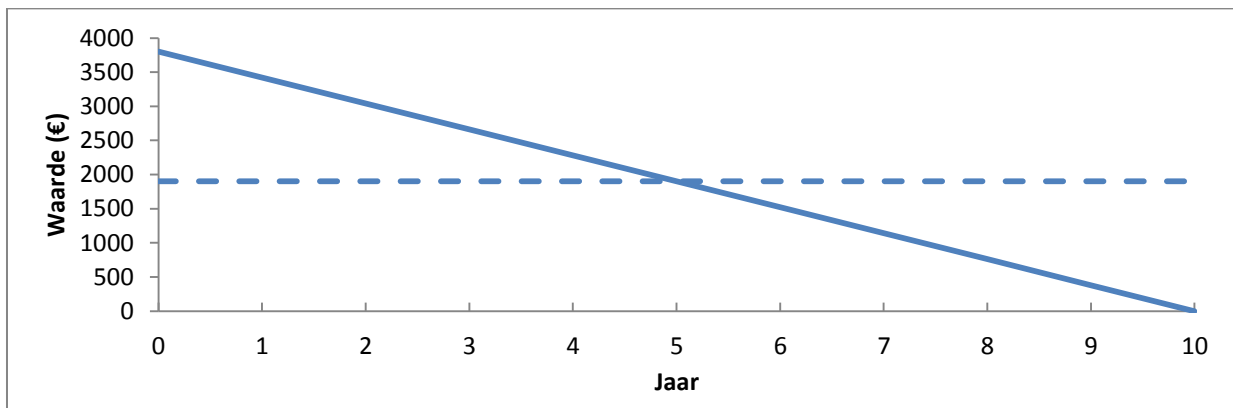
Kostenaspecten

De sterilisatieafdeling wordt verplaatst naar Combi-Ster, dus voor de dataverzameling van de sterilisatiekosten maken we gebruik van data beschikbaar bij Combi-Ster. Voor de uitplaatsing van de

CSA van het HagaZiekenhuis heeft Combi-Ster een business case van de kosten gemaakt, gebaseerd op de huidige kosten van Combi-Ster en verbruiksgegevens van de netten van het HagaZiekenhuis. De totale kosten bestaan uit personeelskosten, huishoudelijke kosten, hulpmaterialen, gebouw gebonden kosten en kapitaalslasten. Wanneer we deze totale kosten omrekenen naar de kosten voor één instrument, komen we uit op sterilisatiekosten van circa €1 per instrument. Dit is ook de waarde die Florijn (2008) en Wolbers (2008) aan sterilisatiekosten hebben toegekend, dus we nemen aan dat €1 een reële waarde is.

Daarnaast zitten er jaarlijks kosten aan het hebben van een type net, waarvan kapitaalkosten en voorraadkosten de twee grootste posten zijn. De kapitaalkosten zijn afhankelijk van de waarde van de netten, uit de inventarisatie van Braun blijkt dat de gemiddelde nieuwwaarde van een net €3.800,- bedraagt. Dit is echter de waarde van een los net, waarvan er per type meerdere op voorraad liggen. Om de nieuwwaarde van een type net te weten, moeten we de waarde van een net vermenigvuldigen met de gemiddelde voorraad. Op dit moment zijn er gemiddeld 3 netten van elk type, maar met uitbesteding naar Combi-Ster worden dit er waarschijnlijk meer vanwege de langere doorlooptijd van het sterilisatieproces. In de gevoeligheidsanalyse zullen we een experiment uitvoeren waarbij we uitgaan van gemiddeld 4 netten van elk type.

De kapitaalkosten bestaan uit afschrijvingen en rente. De netten worden over 10 jaar afgeschreven, zoals te zien is in figuur 4, waardoor er ieder jaar 10% van de waarde van de netten wordt afgeschreven. Daarnaast wordt er een rentepercentage van 5% betaald over de waarde van de netten, deze waarde is in het eerste afschrijvingsjaar €3800,- en €0,- in het laatste jaar. De rente wordt betaald over de huidige waarde, waardoor het rentepercentage gemiddeld over een waarde van €1900 betaald wordt (zie de stippellijn). Uitgaande van drie netten per type bedragen de kapitaalkosten dus jaarlijks $3 \cdot (10\% \cdot €3800 + 5\% \cdot €1900) = €1425$ per type net.



Figuur 4: Afschrijving van de waarde van een net over een periode van 10 jaar

In de administratie van het HagaZiekenhuis wordt per vierkante meter voorraadruimte €297,- gerekend. Per vierkante meter kunnen meerdere netten gestapeld worden, waardoor je per vierkante meter ongeveer tien netten kwijt kunt. Hierdoor blijken de voorraadkosten per type net laag te zijn in vergelijking met de eerder genoemde kapitaalkosten. Daarnaast is het moeilijk om deze kosten direct toe te wijzen aan een type net, omdat het sterk afhankelijk is van het voorraadbeheer. Als je namelijk een type net minder hebt, zul je de netten waarschijnlijk aan meer operaties

toewijzen waardoor je meer voorraad aan moet houden. De hoogte van de voorraad valt buiten dit onderzoek, om de voorraadkosten toch mee te nemen zullen we een gevoeligheidsanalyse uitvoeren op de vaste kosten per type net.

Overige inputparameters

Naast de kostenaspecten moet er nog data worden verzameld met betrekking tot een drietal inputparameters; het aantal netten, de benodigdheden per operatie en de bezettingsgraad van de instrumenten.

Uitgangssituatie aantal netten

Het model heeft een beginwaarde nodig voor het aantal netten dat geopend kan worden. In de uitgangssituatie stellen we het aantal netten gelijk aan 5, het aantal netten in de huidige samenstelling. Indien blijkt dat het aantal netten in de optimale samenstelling gelijk is aan deze waarde, lossen we het model opnieuw op met meer netten. Gebruikt de optimale oplossing minder netten, dan kunnen we er van uit gaan dat de optimale oplossing gevonden is.

Benodigdheden per operatie

De inputparameter waarvan de dataverzameling de meeste tijd kost is het benodigde aantal instrumenten per operatietype. Van alle operatietypes uit tabel 3 moeten we weten welke instrumenten daadwerkelijk gebruikt worden. Aangezien we beperkt zijn in de tijd waarbinnen dit onderzoek afgerond moet worden, laten we de OK-assistenten aan de hand van lijsten met netbeschrijvingen aangeven welke instrumenten gebruikt worden tijdens de operatie.

Bezettingsgraad instrumenten

De laatste inputparameter die vereist is voor het model is de bezettingsgraad per instrument. In overleg met CSA medewerkers bleek dat onze dataset voor het grootste deel bestaat uit klein instrumentarium, zoals pincetten. Daarom hebben we besloten dat we geen bezettingsgraad formuleren per instrument, maar dat elk net maximaal 60 instrumenten mag bevatten ofwel een bezettingsgraad heeft van 1,66%.

5.3 Conclusie

Uit testresultaten met de fictieve dataset is gebleken dat de symmetrie-beperkende restricties niet het gewenste resultaat geven, namelijk het verminderen van de rekentijd. In het volgende hoofdstuk zullen we met onze eigen dataset nog testen of symmetrie-beperkende restrictie (8) eventueel in combinatie met (12) sneller is dan het model zonder symmetrie-beperking. Daarnaast zijn wel alle data verzameld om het model op te lossen, hierbij zijn we tot de conclusie gekomen dat de sterilisatiekosten €1 per instrument bedragen en de vaste kosten €1425 per type net. De uitgangssituatie van het aantal netten is 5, en de bezettingsgraad per instrument is 0,0166. Zowel de handlingkosten als de voorraadkosten zullen in de gevoeligheidsanalyse mee worden genomen.

6 Resultaten

Aan de hand van de dataset die is gekozen in het vorige hoofdstuk, zullen we in dit hoofdstuk bekijken welke kostenbesparing er mogelijk is door de netsamenstelling te wijzigen. Hiertoe zullen we in de eerste paragraaf de definitieve modelconfiguratie bepalen met onze dataset. Vervolgens analyseren we de huidige netsamenstelling in de tweede paragraaf, waarna we in de derde paragraaf de optimale samenstelling zullen bepalen.

6.1 Definitieve modelconfiguratie

In het vorige hoofdstuk bleek bij het testen van de modelconfiguraties dat op basis van de criteria de configuraties *geen*, (8) en (8+12) tot respectievelijk de beste geheeltallige oplossing, “integrality gap” en ondergrens leiden. Aan de hand hiervan is het niet mogelijk om te zeggen welk model het meest effectief is, dus zullen we met onze kleinere dataset (87 instrumenten) hetzelfde experiment opnieuw uitvoeren. De resultaten zijn te zien in tabel 6.

Toegevoegde restricties	Beste OG (€)	Beste geheeltallige oplossing (€)	“Integrality gap” (%)
Geen	134.808,92	136.585	1,3%
(8)	136.585	136.585	0% (optimaal na 11 uur)
(8) + (12)	133.612,96	138.081	3,2%

Tabel 6: Vergelijking prestaties verschillende modelsamenstellingen na 12 uur

Dit tweede experiment geeft een beter beeld van de beste modelconfiguratie, toevoegen van (8) geeft namelijk een optimale oplossing na 11 uur rekentijd. De symmetrie-beperkende restrictie (8) zorgt er dus voor dat de optimale oplossing sneller gevonden wordt dan het model zonder toegevoegde restricties, waar weliswaar dezelfde oplossing gevonden is, maar met een “integrality gap” van 1,3% weet je nog niet dat de oplossing ook de optimaal is. In dit experiment is tevens te zien dat configuratie (8) + (12) op alle fronten minder presteert dan de andere twee configuraties.

Wat verder opvalt, is dat ons kleinere model veel sneller op te lossen is als het fictieve model dat twee keer zo groot is. Met een rekentijd van 11 uur hebben we een optimale oplossing gevonden; waar we met de fictieve dataset een “integrality gap” van net onder de 30% bereikten na 12 uur rekentijd.

6.2 Huidige netsamenstelling

De 87 instrumententypes zijn op dit moment verdeeld over 5 netten. In tegenstelling tot onze verwachting op basis van voorgaande onderzoeken naar de instrumentennetten, blijkt dat er op deze netten eigenlijk geen compleet ongebruikte instrumenten liggen. Bij navraag bleek dan ook dat er anderhalf jaar geleden vanuit de CSA besloten is om de compleet ongebruikte instrumenten van deze netten af te halen. Aan de hand van de data blijkt dat er per operatietype gemiddeld 92% van de instrumenten die beschikbaar zijn gebruikt worden, dat betekent dat 8% van de instrumenten onnodig gesteriliseerd wordt. Dit leidt jaarlijks tot bijna €12.000,- aan onnodige sterilisatiekosten.

In vergelijking met de onderzoeksresultaten van Florijn (2008) en Wolbers (2008), is het aantal onnodige sterilisaties vrij klein. Bij de dataverzameling hebben we de aanname gemaakt dat elk

instrument dat ooit bij de operatie zou kunnen worden gebruikt, ook bij elke operatie gebruikt wordt. Voor het model is deze aanname noodzakelijk, aangezien we anders niet kunnen garanderen dat ieder operatietype de benodigde instrumenten heeft. In werkelijkheid treedt er niet bij iedere operatie een complicatie op, waardoor het aantal onnodige sterilisaties hoger ligt. Daarnaast valt het ons op dat er een grote diversiteit is aan klein instrumentarium, de artsen hebben namelijk grote verschillen in de voorkeur voor bepaalde soorten. Zo zijn er in de dataset 7 type pincetten, 8 wondhaken en 6 arterieklemmen; bij de laparoscopische operatietypes zijn er in totaal 13 pincetten, 15 wondhaken en 18 arterieklemmen beschikbaar. Wanneer de artsen onderling af zouden kunnen spreken dezelfde type instrumenten te gebruiken, zou er per pincet, wondhaak of arterieklem dat er minder op de basismand ligt een kostenbesparing van €2.000,- gerealiseerd kunnen worden. Dit is gebaseerd op de CSA productie, waar jaarlijks 2.000 basisnetten gesteriliseerd worden.

De totale kosten, bestaande uit sterilisatie- en vaste kosten, bedragen jaarlijks €150.345,- met de huidige netsamenstelling. In de volgende paragraaf zullen we aan de hand van het model bepalen welke kostenbesparing er mogelijk is met wijziging van de netsamenstelling.

6.3 Optimale netsamenstelling

Bij het experiment in paragraaf 6.1 hebben we, na 11 uur rekentijd, een optimale oplossing gevonden voor het model met een uitgangswaarde van 5 netten. Om te kijken of een oplossing met 6 netten een beter resultaat kan geven, hebben we een nieuw experiment uitgevoerd met een uitgangswaarde van 6 netten. Met dit experiment vinden we dezelfde oplossing, dus de oplossing met vijf netten is optimaal met totale jaarlijkse kosten €136.585,-. Dit betekent dat we jaarlijks een besparing kunnen realiseren van €13.760,-.

In vergelijking tot de oude samenstelling zijn er in de optimale samenstelling grofweg een tweetal veranderingen te zien: een samenvoeging van de netten *Lap. Chol. I* en *Lap. Chol. II*, en een apart net voor de procedures *mammatumorexcisie* en *wondexcisie/wondtoilet*.

Gevoeligheidsanalyse

Om te bepalen hoe afhankelijk de optimale samenstelling is van de waardes van de inputparameters, hebben we experimenten uitgevoerd waarbij we getest hebben op verschillende waardes voor de kostenaspecten (sterilisatie- en vaste kosten) en de bezettingsgraad van de instrumenten. Aangezien we in het experiment van paragraaf 6.1 al na 1.5 uur de oplossing gevonden hadden die uiteindelijk optimaal bleek te zijn, nemen we aan dat een rekentijd van 2 uur volstaat voor de gevoeligheidsanalyse. We kunnen niet vergelijken op basis van de kosten, omdat we daarop variëren, dus we nemen aan dat de oplossing niet gevoelig is voor de inputparameters als het aantal geopende netten in de experimenten gelijk is aan het optimale aantal netten, en het aantal sterilisaties (redelijk) overeenkomt. De oplossing is op dezelfde manier bepaald als in paragraaf 6.2, dus als het aantal geopende netten gelijk is aan de uitgangswaarde, wordt het model opnieuw opgelost met een verhoging van het aantal netten.

Vaste kosten (€)	Sterilisatiekosten (€)	Capaciteit netten (aantal instrumenten)	Aantal geopende netten	Aantal sterilisaties
1425	1	60	5	129.460
1325	1	60	6	128.158
1525	1	60	5	129.526
2000	1	60	4	131.190
1425	0,95	60	5	130.236
1425	1,05	60	8	128.249
1425	1	55	7	128.742
1425	1	65	5	129.460

Tabel 7: Gevoeligheidsanalyse op de optimale netsamenstelling

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op de vaste kosten, sterilisatiekosten en de capaciteit van de netten. Bij bepaling van de hoogte van de vaste kosten hebben we de voorraadkosten (€297 per m²) niet meegenomen. Om te bepalen of dit invloed heeft op de oplossing hebben we de vaste kosten per type net verhoogd met €100, er kunnen namelijk ongeveer 3 type netten op een vierkante meter geplaatst worden. In tabel 7 is te zien dat het aantal netten gelijk blijft bij een verhoging van de vaste kosten, ook het aantal sterilisaties is nagenoeg gelijk. De optimale oplossing is dus niet gevoelig voor een verhoging van de vaste kosten. Daarnaast hebben we de vaste kosten ook met €100,- verlaagd, met als gevolg dat er 6 netten geopend worden. Dit lijkt dus invloed te hebben op de optimale samenstelling, maar als we de optimale oplossing berekenen met vaste kosten van €1325,- komen we op (vrijwel) dezelfde totale kosten. De optimale oplossing blijkt dus ook niet gevoelig voor een verlaging van de vaste kosten. Echter, met uitbesteding naar Combi-Ster zullen er 4 netten per type nodig zijn, waardoor de kapitaalkosten €1900,- per type net bedragen. Met toevoeging van de voorraadkosten (€100,-) worden de totale vaste kosten €2.000,-, waarop ook getest is in de gevoeligheidsanalyse. Het resultaat opent 4 netten, waardoor er meer sterilisaties nodig zijn (131.190). Dit zijn net iets minder dan 2.000 extra sterilisaties in vergelijking met de huidige samenstelling, waardoor de oplossing met 4 netten iets beter wordt, maar in de uiteindelijke kostenbesparing is dit resultaat verwaarloosbaar.

Verlaging van de sterilisatiekosten leidt niet tot een andere oplossing, het aantal geopende netten en de sterilisaties zijn (redelijk) gelijk. De verhoging van €0,05 op de sterilisatiekosten is gebaseerd op het meenemen van de handlingkosten per instrument, zoals in paragraaf 5.2 besproken is. Bij het experiment bleek dat er 8 netten geopend waren, met 128.249 sterilisaties; een groot verschil met de optimale oplossing. Als we echter de kosten van de optimale samenstelling berekenen met €1,05 sterilisatiekosten, zien we dat de optimale oplossing beter is. We hebben besloten om het experiment daarom langer uit te voeren, maar na 24 uur rekentijd kwam het model weer met de oplossing met 8 netten. Het kan zijn dat door een verhoging van de sterilisatiekosten het model eerst de nodes bekijkt die weinig sterilisaties hebben, waardoor een betere oplossing met minder netten pas veel later gevonden wordt. Aangezien de huidige oplossing beter is, nemen we aan dat een verhoging van de sterilisatiekosten geen invloed heeft op de optimale samenstelling.

Ook op de capaciteit van de netten is geëxperimenteerd, in eerste instantie hebben we aangenomen dat er maximaal 60 instrumenten op een net geplaatst kunnen worden. Dit kan echter zowel meer

als minder zijn, we hebben het model dan ook getest met zowel een capaciteit van 55 als 65 instrumenten. Met een capaciteit van 65 instrumenten per net is er geen probleem, de optimale oplossing is namelijk exact dezelfde als de oplossing met de standaardwaardes. Met een lagere capaciteit van 55 instrumenten is de oplossing echter wel verschillend, er worden namelijk 7 netten geopend in plaats van 5. Bij dit experiment kunnen we ook de kosten vergelijken, en de kosten met een netcapaciteit van 55 instrumenten bedragen €138.717 in vergelijking tot de optimale oplossing van €136.585. De beide oplossingen verschillen dus niet veel qua kosten, waardoor we aannemen dat de kostenbesparing niet gevoelig is voor de netcapaciteit, maar de toewijzing van instrumenten aan netten is wel gevoelig voor de netcapaciteit.

6.4 Conclusie

Een tweede experiment met de symmetrie-beperkende restricties toont aan dat toevoegen van (8) de rekentijd vermindert in vergelijking met het originele model. We hebben restrictie (8) dan ook opgenomen in het model, na oplossing blijkt dat er jaarlijks €13.760,- bespaard kan worden. Na een gevoeligheidsanalyse bleek dat deze oplossing niet gevoelig is voor een verandering in de sterilisatie- of vaste kosten. De oplossing is echter wel afhankelijk van de capaciteit van de netten.

7 Conclusie, discussie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk presenteren we in de eerste paragraaf de conclusie met betrekking tot het onderzoeksdoel, waarna we in de tweede paragraaf een discussie op de resultaten geven. Tenslotte doen we een aantal aanbevelingen in paragraaf 3.

7.1 Conclusie

Met het oog op een beperking van de kosten voor de uitbesteding van de CSA hebben we in dit onderzoek bij het HagaZiekenhuis een betere samenstelling van de instrumentennetten geprobeerd te vinden. Hiertoe hebben we onderstaand onderzoeksdoel geformuleerd.

Het vinden van een optimale samenstelling van de instrumentennetten, waarbij door standaardisatie en netoptimalisatie de kosten geminimaliseerd worden.

Wat betreft de optimale samenstelling van de netten hebben we ons beperkt tot de netten toegewezen aan 15 van de meest voorkomende heekundige operaties. Voor deze netten hebben we met behulp van een lineair wiskundig model een optimale samenstelling bepaald, waaruit bleek dat er jaarlijks €13.760,- bespaard kan worden. In vergelijking tot de oude samenstelling zijn er in de optimale samenstelling grofweg een tweetal veranderingen te zien: een samenvoeging van de netten *Lap. Chol. I* en *Lap. Chol. II*, en een apart net voor de procedures *mammatumorexcisie* en *wondexcisie/wondtoilet*.

In het onderzoek van Florijn (2008) was er sprake van een groot aantal compleet ongebruikte instrumenten op de netten, maar als gevolg van een CSA onderzoek van een paar jaar terug bleek dat het HagaZiekenhuis vrijwel geen ongebruikte instrumenten op de netten heeft liggen. Het aantal onnodig gereinigde instrumenten bleek ook mee te vallen, gemiddeld wordt 90% van de instrumenten die op de netten liggen ook daadwerkelijk (ooit) bij die operatie gebruikt.

In de huidige samenstelling valt daarnaast op dat de artsen veel verschillend basisinstrumentarium gebruiken, met als gevolg dat er op de netten veel verschillende soorten pincetten, wondhaken en klemmen liggen. Dit leidt tot hoge sterilisatiekosten: per instrument dat van het basisnet verdwijnt, bespaar je jaarlijks €2.000,- aan sterilisatiekosten. Daarbij zitten dus niet eens de aanschaf- en vervangingskosten voor deze instrumenten.

De dataset waarover de optimale oplossing bepaald is, is met 87 instrumenten vrij klein. Hierdoor bleek het model goed in staat om binnen een redelijke tijd (2 uur) een goede oplossing te vinden. Naarmate de dataset groter wordt, wordt de rekentijd ook enorm veel langer, zo bleek uit experimenten met een dataset van 195 instrumenten dat het vinden van een redelijke oplossing binnen een redelijke tijd niet te realiseren was. Het model is wel toe te passen op andere specialismes om ook daar kostenbesparingen te realiseren, maar het aantal instrumenten in de dataset zal rond de 100 moeten zijn om met dit model binnen een redelijke tijd een oplossing te vinden. Met een andere oplossingsmethodiek, zoals "Simulated Annealing", is het wel mogelijk om het probleem op te lossen voor de gehele netvoorraad. In de praktijk moet dit ook mogelijk zijn, de instrumenten van specialismes als orthopedie en neurochirurgie hebben weliswaar zeer

gespecialiseerde en grote instrumenten, maar met een bezettingsgraad per instrument kan het model wel toegepast worden. De besparing die op de hele netvoorraad gerealiseerd kan worden, is te schatten op basis van de CSA productie. De gekozen netten dragen bij aan 15,9% van de CSA productie, waardoor een jaarlijkse besparing €80.000,- tot €90.000,- gerealiseerd kan worden.

7.2 Discussie

Tijdens het onderzoek hebben we een aantal keuzes gemaakt en aannames gedaan die van invloed zijn op het resultaat van dit onderzoek. In deze paragraaf bespreken we de belangrijkste keuzes en aannames.

- De aanname die de meeste invloed heeft gehad op de resultaten, is de aanname dat elk instrument dat ooit bij een operatietype gebruikt wordt, ook daadwerkelijk bij iedere operatie van dat type gebruikt wordt. Deze aanname was noodzakelijk om te garanderen dat elk operatietype alle benodigde instrumenten tot zijn beschikking heeft, maar het resulteerde ook in een terughoudendheid bij de OK-assistenten om aan te geven dat een instrument nooit gebruikt wordt. Hierdoor lijkt het dat de instrumenten die beschikbaar zijn voor 90% ook gebruikt worden, terwijl wij verwachten dat dit in werkelijkheid (veel) lager is.
- We hebben de aanname gemaakt dat de capaciteit van de netten bepaald wordt door een vast aantal instrumenten per net. Als het model wordt toegepast op bijvoorbeeld Orthopedie, dat bekend staat om de grote instrumenten, is het noodzakelijk om de grote instrumenten een hogere bezettingsgraad toe te kennen. Bovendien bleek uit de gevoeligheidsanalyse van de capaciteit van de netten, dat een verlaging van de capaciteit invloed heeft op de optimale samenstelling van de netten. Om meer zekerheid te krijgen of de optimale oplossing wel haalbaar is met betrekking tot de capaciteit, zou het formuleren van bezettingsgraden voor elk instrument een betrouwbaarder beeld geven. De beste netsamenstelling die wij gevonden hebben, is wel haalbaar, blijkt uit overleg met de OK-assistenten.
- Vanwege de beperkte tijd, hebben we het gebruik van de instrumenten tijdens de verschillende operatietypes slechts besproken met OK-assistenten. Hierdoor is er misschien geen volledig beeld ontstaan over het instrumentengebruik, aangezien de artsen bepalen welke instrumenten ze willen gebruiken.
- We hebben in het model toegestaan dat instrumenten op meerdere netten geplaatst kunnen worden, hierdoor kan het voorkomen dat er meer instrumenten nodig zijn in de optimale oplossing. In de optimale oplossing waren er in totaal 14 instrumenten extra nodig.
- De instrumenten hoeven in werkelijkheid niet op netten geplaatst te worden, ze kunnen namelijk ook los steriel verpakt worden in laminaatzakken. Tijdens het onderzoek bleek dat er instrumenten op de netten liggen die slechts sporadisch gebruikt worden, voor deze instrumenten is het verstandig om eens te kijken naar los verpakken, aangezien het instrument dan niet voortdurend onnodig gesteriliseerd hoeft te worden.

7.3 Aanbevelingen

Voordat de nieuwe samenstelling geïmplementeerd kan worden, zal er eerst overleg plaats moeten vinden met de artsen. Zij zijn als gebruikers namelijk erg afhankelijk van de samenstelling van de

netten. De artsen zijn echter erg terughoudend in dergelijke veranderingen, waardoor we aanbevelen dat er naast de experts van de logistieke afdeling ook een unithoofd van de OK aanwezig is, omdat die iets meer invloed hebben op de artsen. Bij dit overleg met de artsen bevelen we aan dat er bewustwording gecreëerd moet worden met betrekking tot de kostenaspecten aan het steriliseren van de instrumenten. Vanuit dit oogpunt kan er namelijk een grote kostenbesparing gerealiseerd worden door meer harmonie te krijgen in het gebruik van verschillende soorten instrumenten van hetzelfde type. Nadat hierdoor al een grote kostenbesparing is te realiseren, kan vervolgens het model eventueel nog een tweede stap in de richting van een optimale oplossing geven. Wij bevelen dus aan om, voordat de nieuwe samenstelling geïmplementeerd wordt, overleg te plegen met de artsen.

Met betrekking tot het model is gebleken dat dit niet in staat is om voor grote datasets, met meer dan 100 instrumenten, binnen redelijke tijd een goede oplossing te vinden, ook niet met toevoeging van symmetrie-beperkende restricties. De grootste kostenbesparing is echter te realiseren als de dataset ook groter is, daarom bevelen we aan om een andere oplossingsmethodiek te gebruiken, die niet in staat is om een optimale oplossing te vinden maar wel sneller een redelijke oplossing kan vinden. Een goed alternatief hiervoor is “Simulated Annealing”, ook gebruikt door Florijn (2008) en Reymondon et al. (2008), waarbij vanuit een willekeurige startoplossing instrumenten random verplaatst worden over de netten.

Combi-Ster

Tenslotte geven we nog een aantal aanbevelingen met betrekking tot uitplaatsing van de CSA naar Combi-Ster, dit was namelijk de trigger om eens naar de samenstelling van de instrumentennetten te kijken. De Geyter (2009) geeft aan dat uitbesteden van de CSA zeker een optie is, maar dat er vooral ook grote scepsis heerst vanwege eerdere minder succesvolle pogingen. Volgens hem is het van belang dat er goed gekeken wordt naar de risico's die bij een uitbesteding een rol spelen, en dat een goed overzicht van deze risico's (door bijvoorbeeld scenario planning) essentieel is voor het succesvol verlopen van de uitbesteding. Ook moet de samenwerking tussen de belanghebbenden goed verlopen. Klundert et al. (2008) geven aan dat, bij een uitbesteding van de CSA, het voorraadbeheer een grote rol kan spelen bij kostenbesparingen. Zij geven aan dat er een model opgesteld kan worden dat, rekening houdend met transportkosten en voorraadkosten, resulteert in een optimale voorraad. Fineman & Kapadia (1978) sturen aan op eenzelfde soort model en maken onderscheid in twee typen voorraad: proces- en vervangingsvoorraad, waarbij er onderscheid wordt gemaakt in voorraad om onregelmatigheden in het proces op te vangen (procesvoorraad) en een voorraad om defecte instrumenten of netten te vervangen.

Bij het HagaZiekenhuis ontbreekt momenteel een duidelijk voorraadbeheer, wat tot problemen kan leiden bij uitbesteding van de CSA. De ruimtes op de OK zijn beperkt, waardoor het erg onoverzichtelijk is en niet meteen te zien is hoeveel netten er van een type nog op voorraad liggen. Voor uitbesteding van de CSA zou het dus goed zijn om eens te kijken naar de hoogte van de voorraad, en eventueel met een model de optimale voorraad te bepalen. De hoogte van de voorraad is echter wel erg afhankelijk van de OK-planning, waar momenteel vaak dezelfde operatieprocedures op twee achtereenvolgende dagen ingepland worden. Dit heeft als gevolg dat er met de langere sterilisatietijd (24 uur) een tekort aan netten gaat ontstaan. Dit probleem is op te lossen door de

planning te spreiden over de week, zodat dezelfde operatieprocedures niet twee dagen op rij uitgevoerd worden. Daarnaast speelt de locatie van de voorraad ook een rol (Klundert et al., 2008), momenteel ligt de gehele voorraad op de (dure) OK, terwijl er ook met een “just-in-time” levering een deel van de voorraad op de goedkopere locatie bij Combi-Ster geplaatst kan worden. Dit leidt tot meer overzicht op de OK, waardoor er ook beter voorraadbeheer plaats kan vinden.

8 Referenties

- Crawford, J., Ginsberg, M., Luks, E., & Roy, A. (1996). Symmetry-breaking predicates for search problems. *Proc. of the Intl. Conference Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 148-159.
- De Geyter, N. (2009). Outsourcing van de centrale sterilisatieafdeling van ziekenhuizen. Universiteit van Gent, Faculteit Economie en Bedrijfskunde.
- Denton, B., Miller, A., Balasubramanian, H., & Huschka, T. (2010). Optimal allocation of surgery blocks to operating rooms under uncertainty. *Operations Research*, 58 (4 part 1), 802-816.
- Fineman, S., & Kapadia, A. (1978). An analysis of the Logistics of Supplying and Processing Sterilized Items in Hospitals. *Computers and Operations Research*, vol. 5, 47-54.
- Florijn, E. (2008). Optimization of the Distribution of Surgical Instruments over Trays. University of Twente.
- Liberti, L. (2012). Reformulations in mathematical programming: automatic symmetry detection and exploitation. *Mathematical Programming* 131(1-2), 273-304.
- Maarse, H., & Paulus, A. (2011). The politics of health-care reform in the Netherlands since 2006. *Health Economics, Policy and Law* 6, 125-134.
- Reymondon, F., Pellet, B., & Marcon, E. (2008). Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages. *International journal of production economics* 112(1), 326-335.
- Sherali, H., & Cole Smith, J. (2001). Improving discrete model representations via symmetry considerations. *Management Science* 47 (10), 1396-1407.
- van de Klundert, J., Muls, P., & Schadd, M. (2008). Optimizing sterilized logistics in hospitals. *Health Care Management Science* 11(1), 23-33.
- Wolbers, P. (2008). Instrument trays revised. University of Twente.

Appendix A, werking van CPLEX

Voor het oplossen van het model gebruiken we software dat CPLEX gebruikt voor optimalisatie, CPLEX gebruikt het branch-and-bound algoritme van Dakin. Dit algoritme zullen we beschrijven aan de hand van een voorbeeldprobleem: het budgetteringsprobleem. Hierbij is er €100,- beschikbaar om te investeren in 7 mogelijke investeringen, die verschillen op basis van investeringskosten en winst. De verschillende investeringen zijn in tabel 8 te zien.

Investering i	1	2	3	4	5	6	7
Kosten $k(€)$	30	30	50	20	40	10	30
Winst $w(€)$	40	20	80	10	30	4	60

Tabel 8: Investeringskosten en winst van de zeven investeringsmogelijkheden

Het doel is om de winst te maximaliseren, waarbij de enige restrictie is dat de totale investeringskosten lager zijn dan het budget van €100. De beslissingsvariabele X_i is binair, en geeft aan of investering i in het investeringspakket opgenomen wordt ($X_i = 1$) of niet ($X_i = 0$). Om de rest te kunnen formuleren zijn de parameters Kosten (index k) en Winst (index w) gedefinieerd. Het model is uiteindelijk als volgt te formuleren.

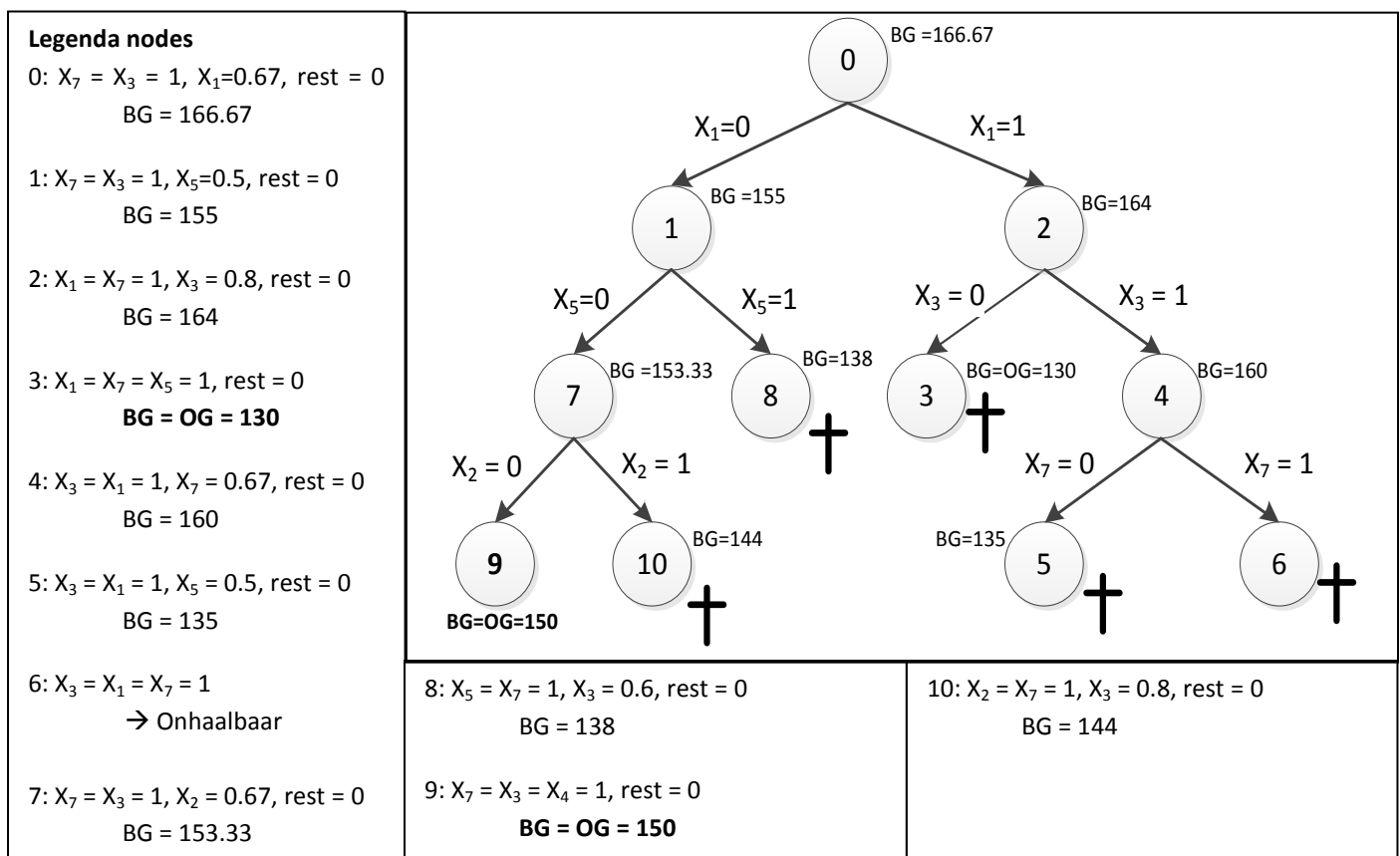
$$\begin{aligned} \max \text{TotaleWinst} &= \sum_i w_i X_i \\ \text{z. d. d.} \quad &\sum_i k_i X_i \leq 100 \\ &X_i \in \mathbb{B} \end{aligned}$$

Branch-and-bound is een algoritme dat systematisch de gehele oplossingsruimte afzoekt naar de beste oplossing. De oplossingsruimte bestaat uit alle mogelijke oplossingen voor het probleem, in dit geval alle combinaties van investeringen die qua kosten onder het budget van €100,- vallen. Deze gehele oplossingsruimte staat in de zogenoemde root node, node 0 in onderstaande figuur 5. Elke node in de boom heeft een zogenoemde bovengrens (BG), de hoogste waarde (=winst) die de oplossing maximaal aan kan nemen. Deze bovengrens berekent de computer door het probleem te beschouwen als een niet-geheeltallig probleem (de LP-relaxatie), waarbij X_i ook fractionele waarden aan kan nemen. Deze LP-relaxatie is voor de computer op te lossen met behulp van het simplex algoritme. De werking hiervan zullen we niet verder uitleggen, we gaan er van uit dat de computer het probleem binnen afzienbare tijd optimaal op kan lossen. De optimale oplossing van de LP-relaxatie is de bovengrens van de node, in het geval van de root node is deze BG 166.67. De optimale oplossing in elke node bestaat bij dit probleem altijd uit één waarde van X_i met een fractie. Bij het algoritme van Dakin wordt de oplossingsruimte nu gesplitst (de branch) op basis van de fractionele X_i ; er worden twee onderliggende nodes gecreëerd waarvan de X_i bij de ene gelijk wordt gesteld aan 0 en bij de andere gelijk aan 1. Op deze manier wordt de boom uitgebreid, verdergaand met de

node met de hoogste BG. De boom groeit niet oneindig, er zijn een drietal regels op basis waarvan een node wordt afgesloten (de bound).

1. De oplossing van de LP-relaxatie is haalbaar/voldoet aan de restricties op geheeltalligheid.
In dit geval is er een mogelijke oplossing gevonden, en de waarde van deze oplossing is gelijk aan de nieuwe ondergrens (OG) voor het probleem.
2. De oplossing van de relaxatie is onhaalbaar.
Dit is het geval als de totale kosten van de optimale oplossing boven het budget vallen, dat wil zeggen dat er niet meer voldaan kan worden aan de restricties
3. De BG in een node is lager dan de huidige OG.
Als de BG van een node (de maximaal haalbare totale winst) lager is dan de huidige OG (een inmiddels al gevonden oplossing in een andere node), dan kan er geen betere oplossing gevonden worden in deze node en wordt deze dus afgesloten.

Uitgaande van deze regels, wordt de boom net zo lang geconstrueerd totdat er nog één node over is. Deze oplossing is de optimale oplossing, het proces van het vinden van deze oplossing is te zien in figuur 5.



Figuur 5: Branch-and-bound boom (rechtsboven) en legenda (links) voor het budgetteringsprobleem

In figuur 5 is te zien dat de optimale niet-geheeltallige oplossing uit de root node, met een BG van 168.67, een fractionele waarde heeft van X_1 . Daarom wordt er een branch gemaakt naar node 1 en 2, met respectievelijke waarden van X_1 van 0 en 1. Van daaruit wordt een branch gemaakt naar node 3 en 4, op basis van de waarde van X_3 . De optimale oplossing in node 3 is geheeltallig en valt binnen het budget, daardoor is deze oplossing haalbaar en dit levert een ondergrens van 130 op. Node 4 heeft vervolgens de hoogste BG en daaruit komen nodes 5 en 6, waarvan node 6 niet voldoet aan het budget en dus onhaalbaar is. Na nog een tweetal branches, vanuit node 1 en daarna node 7, krijgen we de oplossing in node 9. Deze oplossing is haalbaar en levert een nieuwe ondergrens van 150 op. Vanuit hier kan elke andere node afgesloten worden, omdat de OG van 150 hoger is dan de BG van alle andere nodes (nodes 3, 5, 8 en 10). Node 9 is de enige overgebleven node en daarmee is er een optimale oplossing gevonden, met investeringen 3, 7 & 4 die gezamenlijk een maximale winst van €150,- opleveren.

Bij het oplossen van het probleem gebruikt CPLEX hetzelfde algoritme, het verschil met het voorbeeldprobleem is dat het probleem in ons onderzoek een minimaliseringsprobleem is. Het verschil hiermee is dat de oplossing van de LP-relaxatie een ondergrens geeft, en de gevonden haalbare oplossingen leveren een bovengrens. Nodes worden afgeschreven als de ondergrens in een node hoger is dan de huidige bovengrens.