



Technische Universiteit Delft
Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica
Delft Institute of Applied Mathematics

**Optimalisatie van de indeling van
instrumentennetten**
**Engelse titel: Optimization of scheduling and
assignment of instrument nets**

Verslag ten behoeve van het
Delft Institute of Applied Mathematics
als onderdeel ter verkrijging

van de graad van

BACHELOR OF SCIENCE
in
TECHNISCHE WISKUNDE

door

Suzanne de Hoog

Delft, Nederland
Juni 2014



BSc verslag TECHNISCHE WISKUNDE

“Optimalisatie van de indeling van instrumentennetten”

SUZANNE DE HOOG

Technische Universiteit Delft

Begeleider

Dr.ir. J.T. van Essen

Overige commissieleden

Dr. D.C. Gijswijt

Dr.ir. M. Keijzer

Prof.dr.ir. A.W. Heemink

Juni, 2014

Delft

Samenvatting

Tegenwoordig moet bijna overal bezuinigd worden, onder andere in ziekenhuizen. Ziekenhuizen krijgen kleinere subsidies, maar de kwaliteit van de zorg mag niet achteruit gaan. Door processen in het ziekenhuis te optimaliseren, kan er voor gezorgd worden dat de jaarlijkse kosten van een ziekenhuis achteruit gaan. Hiermee wordt dan niet de kwaliteit van de zorg aangetast.

Een kostenpost van een ziekenhuis die door middel van optimalisatie verkleint zou kunnen worden, zijn de kosten van operaties. Om te kunnen opereren heeft de chirurg instrumenten nodig, deze instrumenten liggen in instrumentennetten. Elk type instrumentennet heeft een vast inhoud qua soorten instrumenten en hoeveelheden instrumenten. Aangezien voor elke soort operaties bekend is welke instrumenten hiervoor nodig zijn, kan er voor elke operatie al de benodigde instrumentennetten in de OK worden gelegd. Echter zitten er vaak ook instrumenten in deze netten die niet gebruikt worden tijdens de operatie. Aangezien deze instrumenten wel in de OK zijn geweest en dus niet meer steriel zijn, moeten deze instrumenten onnodig gesteriliseerd worden.

Deze scriptie gaat over het optimaliseren van de indeling van instrumentennetten. Op het gebied van het optimaliseren van de indeling van instrumentennetten is nog weinig onderzoek gedaan. Er is tot nu toe één specifiek onderzoek gedaan naar het optimaliseren van de indeling van instrumentennetten. Het resultaat van dit model is echter dat het model niet oplosbaar is.

In het onderzoek van deze scriptie wordt gebruik gemaakt van een Heuristiek, genaamd Simulated Annealing. Dit is een Local Search heuristiek. Local Search algoritmes beginnen bij een begintoestand en bekijken dan de buurtoestanden, de toestanden die dicht bij de begintoestand liggen. De buuroplossingen worden bekeken en daarna wordt de beste oplossing gekozen. Dan wordt deze beste oplossing de nieuwe begintoestand en wordt er wederom naar de buuroplossingen van deze begintoestand gekeken. Dit herhaalt zich net zolang tot er geen betere oplossing gevonden wordt. Er is dan een lokaal optimum gevonden, dit hoeft echter geen globaal optimum te zijn.

Met behulp van Simulated Annealing is de indeling van de instrumentennetten van het Haga-Ziekenhuis geoptimaliseerd. Resultaat van het onderzoek geeft weer dat het mogelijk is om de totale kosten, qua opslagkosten van de netten en de sterilisatiekosten van de instrumenten, te kunnen laten dalen met 6,7% door de instrumentennetten te herindelen. Dit is een besparing van €7600 per jaar voor het HagaZiekenhuis.

Verder onderzoek naar de keuze van de parameters van het algoritme van Simulated Annealing zou wellicht een nog grotere kostenbesparing kunnen opleveren. Dit zou een vervolgonderzoek kunnen zijn op deze scriptie. Een andere mogelijk vervolgonderzoek is de indeling van de instrumentennetten te optimaliseren met een andere heuristiek.

Voorwoord

Dit verslag is geschreven als onderdeel van het behalen van de graad van Bachelor of Science aan de Technische Universiteit Delft. Tijdens het volgen van de studie Technische Wiskunde ben ik erachter gekomen dat ik het onderdeel Optimaliseren het leukste en interessantste onderdeel van mijn studie vindt. Het toepassen van wiskundige methodes op hedendaagse problemen is wat mij het meest aanspreekt. Vandaar de keus om een onderwerp gerelateerd aan Optimalisering voor mijn bacheloreindproject te kiezen. Samen met de afdeling Optimaliseren van faculteit EWI van de TU Delft heb ik een onderwerp gevonden wat mij veel aanspreekt en mij ook interessant lijkt.

In deze tijd wordt er veel gesproken over bezuinigen en er moet in bijna elke bedrijfstak bezuinigd worden. Zo ook in de quartaire sector, waaronder onder andere de ziekenhuizen vallen. Dit zijn de diensten die gesubsidieerd worden door de overheid, zonder enig winstoogmerk. Zelf verbaasde ik mij erover hoeveel er nog geoptimaliseerd kan worden in ziekenhuizen, wat naar mijn mening wel moet gaan gebeuren. Hiermee kan er deels voorkomen worden dat de kwaliteit van de zorg achteruit gaat als de ziekenhuizen kleinere subsidies krijgen. Vandaar dat ik erg blij ben met de gemaakte keuze over het onderwerp van mijn bacheloreindproject.

Graag wil ik mijn begeleider Theresia van Essen bedanken. Zij heeft veel tijd en aandacht in mijn project gestoken, waardoor ik weer de motivatie kreeg om verder te gaan met mijn onderzoek. Ook wil ik graag mijn ouders bedanken. Al drie jaar lang motiveren zij mij om het meeste uit mezelf en uit mijn studie te halen. Zo wil ik ook graag mijn vrienden bedanken, die voor de nodige afleiding buiten de studie-uren zorgden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Local Search heuristieken	3
2.1	Hill Climbing	4
2.2	Tabu Search	4
2.3	Simulated Annealing	4
2.4	Conclusie	6
3	Simulated Annealing	7
3.1	Startoplossing	7
3.2	Buuroplossingen	8
3.3	Acceptatie van buuroplossing	9
3.4	Stopcriterium	9
3.5	Aanpak	10
4	Resultaten	11
4.1	Data	11
4.2	Gekozen parameters	11
4.3	Resultaten bij gekozen parameters	12
4.4	Variatie op de gekozen parameters	13
4.4.1	Variëren met T_{start}	13
4.4.2	Variëren met T_{eind}	15
4.4.3	Variëren met α	16
4.4.4	Variëren met A	17
4.4.5	Variëren met aantal opties om een buuroplossing te verkrijgen	17
4.4.6	Variëren met het toegestane aantal netten in een netcompositie	18
4.5	Conclusie	19
5	Conclusie	21
6	Discussie	23
A	MATLAB code	27
B	Data	35
B.1	Indeling instrumentennetten van HagaZiekenhuis	35
B.2	Soorten instrumenten	38
B.3	Frequenties van de operaties	41

1 Inleiding

Elke week vinden er veel operaties plaats in een ziekenhuis. Er zijn veel verschillende soorten operaties en voor al deze operaties zijn er instrumenten nodig om te opereren. Per operatie verschilt het dan ook welke instrumenten er nodig zijn. Het kan echter wel zo zijn dat bepaalde soorten instrumenten bij meerdere soorten operaties nodig zijn. Al deze instrumenten liggen in een instrumentennet gesorteerd. Voor elk type operatie is bekend welke instrumenten er nodig zijn om te kunnen opereren en welke instrumentennetten nodig zijn om al de benodigde instrumenten ter beschikking te hebben. Deze instrumentennetten worden dan voor de operatie vanuit een opslagruimte, die zich in of buiten het ziekenhuis bevindt, naar de operatiekamer gebracht. Vaak zitten er in deze instrumentennetten instrumenten die niet gebruikt worden tijdens de operatie. Aangezien het volledige net gesteriliseerd moet worden als het in de operatiekamer is geweest, betekent dit dat er ook bepaalde instrumenten, die niet gebruikt zijn, “onnodig” gesteriliseerd moeten worden.

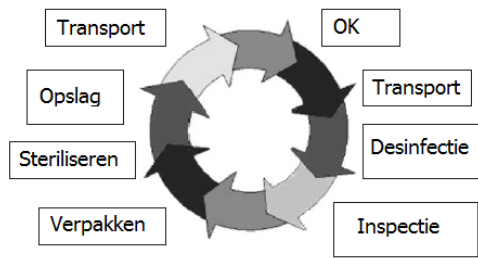
Het steriliseren van instrumenten is vaak uitbesteed en gebeurt buiten het ziekenhuis. Het steriliseren kost geld en dat betekent dus dat er “onnodige” kosten voor het steriliseren van niet-gebruikte instrumenten zijn. Het opslaan van de instrumentennetten kost ook geld, er moet een bepaalde gesteriliseerde ruimte beschikbaar zijn om de netten in op te slaan. Wanneer de netten in het ziekenhuis opgeslagen worden betekent dit dat deze opslagruimte niet gebruikt kan worden voor andere bezigheden van een ziekenhuis. Wanneer de netten buiten het ziekenhuis opgeslagen worden, zal dit extra kosten met zich meebrengen.

Tegenwoordig moet er overal bezuinigd worden, zo ook in het ziekenhuis. De kwaliteit van de zorg mag niet achteruit gaan door de bezuinigingen, dus moet er gekeken worden naar andere opties waarop bezuinigd kan worden. Het optimaliseren van instrumentennetten biedt een dergelijke mogelijkheid tot bezuinigen. Door de indeling van de instrumentennetten te optimaliseren, gelet op de “onnodige” sterilisatiekosten en de opslagkosten van de netten, kan er bezuinigd worden in de kosten die operaties met zich meebrengen.

Op het gebied van de minimalisatie van de sterilisatiekosten van instrumenten is er een deterministisch model opgezet die de opslagkosten en onnodige sterilisatiekosten van instrumenten minimaliseert. Bij deterministische optimalisatie wordt er geen rekening gehouden met onzekerheden. Een voorbeeld van zo een onzekerheid is het optreden van een complicatie tijdens het opereren, waardoor er meer en/of andere instrumenten nodig zijn dan er gepland was. Het model van Reymondon et al. [1] heeft echter een complexiteit die \mathcal{NP} -moeilijk is. Dit betekent dat het probleem in polynomiale tijd kan worden opgelost op een niet-deterministische Turingmachine. Het is echter nog niet bekend of zo’n machine in de werkelijkheid kan bestaan, waardoor er met dit model (op dit moment) geen optimale oplossing in polynomiale tijd gevonden kan worden. Verder onderzoek heeft aangetoond dat de complexiteit het model van Reymondon et al. gereduceerd kan worden. Dit vervolgonderzoek heeft echter nog niet plaatsgevonden.

Op het gebied van de minimalisatie van de kosten rondom operaties is er ook nog weinig onderzoek gedaan. Gekeken naar deterministische optimalisatie is er een model opgezet die de transportkosten van het transport van een instrumentennet naar het ziekenhuis samen met de opslagkosten van een net minimaliseert. Het model van van de Klundert et al. [2] bepaalt of het qua kosten gunstiger is om de netten in het ziekenhuis op te slaan of als het steriliseren buiten het ziekenhuis gebeurt, de netten op te slaan in de externe sterilisatiekamer. Het totale proces van instrumentengebruik, sterilisatie en transport staat beschreven in figuur 1.

Figuur 1 laat zien dat de instrumenten eerst worden gebruikt in de operatiekamer (OK) en



Figuur 1: Totale proces van instrumentgebruik, sterilisatie en transport [1]

daarna getransporteerd worden naar de sterilisatieruimte, die binnen of buiten het ziekenhuis ligt. Daar worden de instrumenten eerst gedesinfecteerd en vervolgens geïnspecteerd of ze nog niet versleten zijn. Daarna worden ze verpakt zodat ze gesteriliseerd kunnen worden. Als de instrumenten opgeslagen worden in het ziekenhuis zullen ze na het steriliseren naar een steriele opslagruimte in het ziekenhuis getransporteerd worden. Is dit niet het geval, dan worden de instrumenten eerst opgeslagen in de externe sterilisatieruimte en daarna getransporteerd naar de OK.

In dit model wordt uitgegaan van 3 mogelijke netcomposities:

1. Elk type operatie heeft zijn eigen net, met eigen voorraad.
2. Er is één net voor alle operaties.
3. Elke operatie heeft meerdere netten nodig; één specifiek toegewezen net per operatie én een algemeen net dat voor meerdere of zelfs voor alle soorten operaties gebruikt kan worden.

De resultaten van dit model geven weer dat opties 1 en 2 hogere kosten met zich mee brengen dan optie 3, dus optie 3 zal een optimale oplossing geven. Voor het vinden van deze optimale oplossing met optie 3 is een ander model nodig.

Voor het specifieke probleem over de indeling van instrumentennetten is één onderzoek bekend. Hiervoor is een integer lineair programma opgezet die zich focust op de gebruikskosten en de opslagkosten van de instrumenten [2]. Er is echter bewezen dat dit probleem sterk \mathcal{NP} -volledig is, het probleem kan niet opgelost worden door een pseudo-polynomiaal tijdalgoritme, tenzij $\mathcal{P} = \mathcal{NP}$ geldt. Er is echter nooit bewezen dat $\mathcal{P} = \mathcal{NP}$ (zie [4]). Dit betekent dus dat er een andere methode gevonden moet worden, waarmee wel een betere en wellicht optimale oplossing gevonden kan worden voor het net-optimalisatieprobleem.

In hoofdstuk 2 van dit verslag staat informatie over Local Search heuristieken. Dit is een van de methoden die gebruikt kan worden om een betere en wellicht optimale oplossing voor het probleem rondom de indeling van instrumentennetten te verkrijgen.

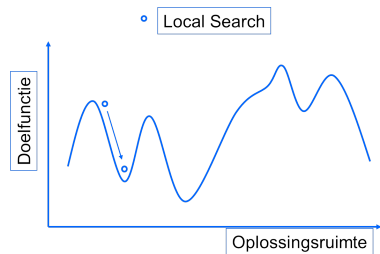
In hoofdstuk 3 staat een implementatie van de methode en in hoofdstuk 4 de resultaten die gevonden zijn met behulp van de heuristiek en de gekregen data van het HagaZiekenhuis.

2 Local Search heuristieken

Om de indeling van instrumentennetten te optimaliseren wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van een heuristiek. Een heuristiek is een oplossingsstrategie die een oplossing geeft, maar waarvan de oplossing niet gegarandeerd optimaal is. De oplossing kan dus een lokaal optimum zijn, maar mogelijk geen globaal optimum. Er zijn verschillende soorten heuristieken en voor dit onderzoek zal er gebruik gemaakt worden van een lokaal zoekalgoritme, ook wel Local Search algorithm in het Engels. Local Search algoritmes beginnen bij een begintoestand en bekijken dan de buurotoestanden, de toestanden die dicht bij de begintoestand liggen. De buuroplossingen worden bekeken en daarna wordt de beste oplossing gekozen. Dan wordt deze beste oplossing de nieuwe begintoestand en wordt er wederom naar de buuroplossingen van deze begintoestand gekeken. Dit herhaalt zich net zolang tot er geen betere oplossing gevonden wordt. Er is dan een lokaal optimum gevonden, dit hoeft echter geen globaal optimum te zijn.

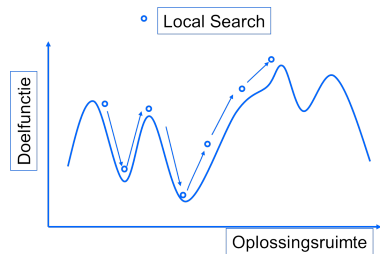
Er zijn verschillende soorten Local Search algoritmes, drie veel gebruikte methodes zijn:

- Hill Climbing



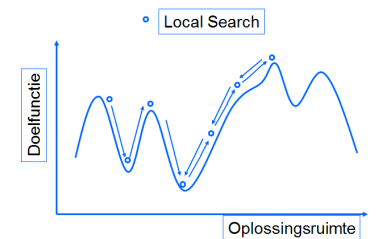
Figuur 2: Voorbeeld van verloop van de doelfunctie in het oplossingsgebied met Hill Climbing

- Tabu Search



Figuur 3: Voorbeeld van verloop van de doelfunctie in het oplossingsgebied met Tabu Search

- Simulated Annealing



Figuur 4: Voorbeeld van verloop van de doelfunctie in het oplossingsgebied met Simulated Annealing

2.1 Hill Climbing

Het algoritme van Hill Climbing ziet er als volgt uit (zie bijvoorbeeld ... [3]):

1. Kies een toegestane startoplossing voor het probleem,
2. Bekijk de buuroplossingen van de startoplossing,
3. Als er een betere oplossing tussen de buuroplossingen zit, dan wordt die oplossing de nieuwe startoplossing, anders gebeurt er niks,
4. Als de startoplossing gewijzigd is bij stap 3, dan herhalen stap 2 en 3 zich weer. Is de startoplossing niet gewijzigd bij optie 3, dan stopt het algoritme.

De laatste oplossing die in bovenstaand algoritme gevonden wordt, is een lokaal optimum voor het probleem. Er kan echter niet vanuit gegaan worden dat deze oplossing ook een globaal optimum is, aangezien niet alle mogelijke oplossingen van het probleem bekeken worden met Hill Climbing.

2.2 Tabu Search

Tabu Search is een uitbreiding van het algoritme van Hill Climbing (zie bijvoorbeeld ... [3]):

1. Kies een toegestane startoplossing voor het probleem, dit wordt de huidige oplossing,
2. Bekijk de buuroplossingen van de startoplossing. Neem de beste oplossing uit deze buuroplossingen die (nog) niet in de Tabulijst staat. Stop deze oplossing in de Tabulijst en de huidige oplossing zal gelijk worden aan deze oplossing.
3. Er wordt weer teruggekeerd naar optie 2 als er nog niet voldaan is aan de stopcriteria.

De Tabulijst houdt bij welke oplossingen bezocht zijn en wordt constant aangevuld met een nieuwe oplossing. Deze oplossing hoeft niet persé beter te zijn dan de beste oplossing van de iteratie ervoor. De Tabulijst zal steeds groter worden en een handige optie om een hele lange lijst te voorkomen is door de n oudste leden van de lijst te verwijderen als er n nieuwe leden worden toegevoegd. Tijdens elke iteratie wordt er ook bijgehouden of de beste buuroplossing ook de beste oplossing is die er tot dan toe in het algoritme gevonden is. In tegenstelling tot Hill Climbing kan met Tabu Search wel uit een lokaal optimum ontsnapt worden, waardoor er wellicht een beter lokaal optimum gevonden kan worden. De stopcriteria voor het Tabu Search algoritme kunnen zelf gekozen worden. Voorbeelden hiervan zijn: een vast aantal iteraties, een vaste CPU tijd of een vast aantal keer dat er geen verbetering van de doelfunctie gevonden wordt. Net als bij Hill Climbing is het onzeker of het best gevonden lokaal optimum ook een globaal optimum is.

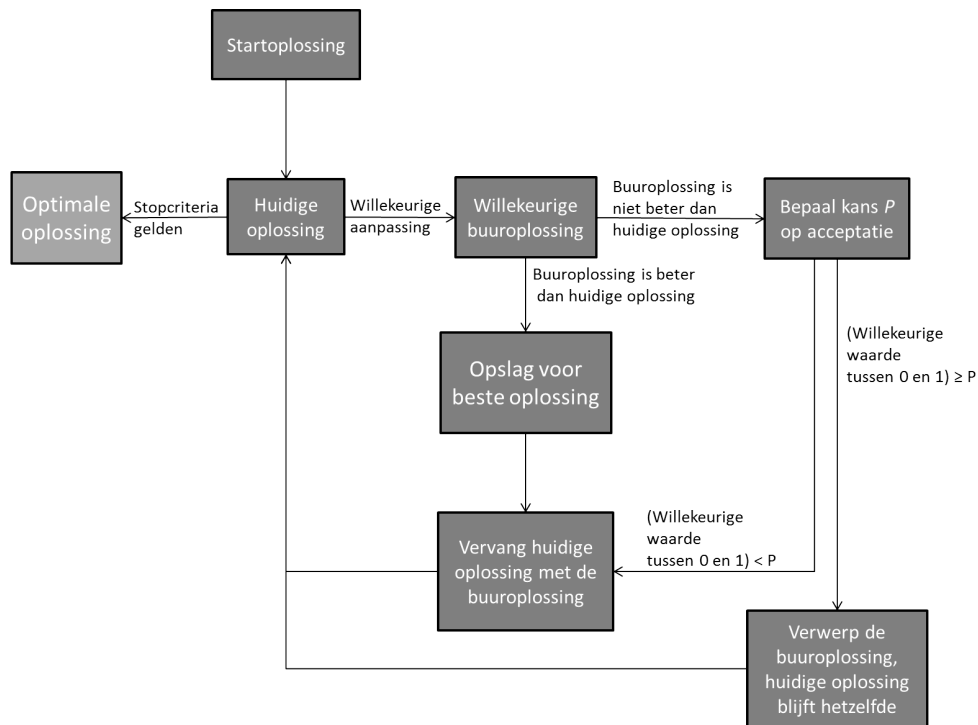
2.3 Simulated Annealing

Simulated Annealing is een variant van Hill Climbing, dit algoritme ziet er als volgt uit (zie bijvoorbeeld ... [3]):

1. Kies een toegestane startoplossing voor het probleem, dit wordt de huidige oplossing,
2. Bekijk een willekeurig toegestane buuroplossing van de huidige oplossing,

3. Als de buuroplossing beter is dan de huidige oplossing, dan wordt de huidige oplossing de buuroplossing. Is de buuroplossing slechter dan de huidige oplossing, dan wordt er een willekeurig getal tussen nul en één gegenereerd. Als dit getal kleiner is dan de Boltzmann Probability, de kans op acceptatie van een oplossing, dan wordt de buuroplossing geaccepteerd en wordt de huidige oplossing de buuroplossing. Is dit niet het geval, dan wordt de buuroplossing niet geaccepteerd en verandert er niks aan de huidige oplossing.
4. Er wordt weer teruggekeerd naar optie 2 als er nog niet voldaan is aan de stopcriteria.

Bovenstaand algoritme staat samengevat in figuur 5.



Figuur 5: Schema voor Simulated Annealing

De Boltzmann Probability P , wordt als volgt berekent:

$$P = \exp\left(\frac{-E}{T}\right),$$

met T de thermodynamische temperatuur en E het verschil in de doelfunctie tussen de nieuwe en huidige oplossing. De thermodynamische temperatuur daalt gedurende het proces. Hierdoor wordt de acceptatiekans van een slechtere oplossing steeds kleiner, zodat het algoritme uiteindelijk naar een lokaal optimum convergeert. Doordat het accepteren van slechtere oplossingen in bepaalde gevallen toegestaan wordt, kan er bij Simulated Annealing ook ontsnapt worden aan lokale optima. Tijdens het doorlopen van het algoritme wordt er bijgehouden welke oplossing het beste is, dit is dan het lokale optimum van het probleem. Dit lokale optimum hoeft net zoals bij het gevonden lokale optimum met Hill Climbing of Tabu Search geen globaal optimum te zijn. De stopcriteria voor het Simulated Annealing algoritme kunnen zelf gekozen worden. Mogelijkheden hiervoor zijn: een vast aantal iteraties of stoppen als de temperatuur onder een gekozen waarde ligt.

2.4 Conclusie

Door naar de voor- en nadelen van bovenstaande algoritmes te kijken, is voor dit project gekozen om met Simulated Annealing te werken. Met Hill Climbing zal er nooit vanuit een gevonden optimum verder gewerkt kunnen worden naar een volgend en wellicht beter optimum, dit kunnen Tabu Search en Simulated Annealing wel. Bij Tabu Search worden alle mogelijke burens van een oplossing afgelopen en met elkaar vergeleken, zodat de beste oplossing uit de verzameling buuro oplossingen over blijft. Bij Simulated Annealing daarentegen wordt er alleen een willekeurige buuro oplossing genomen en deze wordt vergeleken met de oplossing van de vorige iteratie en met de beste oplossing die tot dan toe gevonden is. Aangezien het aantal burens van een netcompositie erg groot is, zal de rekestijd voor het bepalen van een optimum voor het probleem van de indeling van instrumentennetten lager zijn met behulp van Simulated Annealing dan met Tabu Search. Voor kleinere instanties zal Tabu Search echter wel de voorkeur hebben boven Simulated Annealing.

3 Simulated Annealing

Om de indeling van instrumentennetten te optimaliseren, wordt gebruikt gemaakt van Simulated Annealing. De MATLAB code voor het oplossing van dit probleem staat in Bijlage A.

3.1 Startoplossing

De eerste stap van Simulated Annealing is het kiezen van een startoplossing en de waarde van de doelfunctie bij deze oplossing bepalen. De doelfunctie die geminimaliseerd moet worden ziet er als volgt uit:

$$C = W \cdot m + X \cdot Y \cdot n + Z \cdot m,$$

met:

- m ; het aantal (niet-lege) netten dat een ziekenhuis nodig heeft
- n ; het aantal instrumenten die in een week tijd in een operatiekamer zijn geweest en dus gesteriliseerd moeten worden
- W ; de opslagkosten voor een net per jaar
- X ; de sterilisatiekosten voor een instrument
- Y ; het aantal weken in een jaar dat er geopeerd wordt
- Z ; de kapitaalkosten voor een net per jaar

Met behulp van geschatte frequentie van alle soorten operaties kan bepaald worden hoeveel m aantal netten het ziekenhuis nodig heeft, zodat de benodigde netten op een dag ook beschikbaar zijn. De waarde van de doelfunctie is de kosten van het gebruik van instrumenten per jaar. Na het kiezen van een startoplossing moet er bepaald worden welke netten uit de netcompositie van deze startoplossing toegewezen worden aan elke operatie. Zo kan het zijn dat een net uit de compositie aan geen één operatie wordt toegewezen. Het toewijzen van al deze netten aan de verschillende operatie kan gedaan worden met behulp van het volgende Integer Linear Programming-probleem:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} u_{ij} x_{jk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in J} u_{ij} x_{jk} \geq t_{ik}, \quad \forall i \in I, k \in K \\ & x_{jk} \in \mathbb{N}, \quad \forall j \in J, k \in K. \end{aligned}$$

Verzamelingen:

- I ; verzameling van alle soorten operaties
- J ; verzameling van alle soorten instrumenten
- K ; verzameling van alle (niet-lege) netten in de netcompositie

Parameters:

- t_{ik} ; $i \in I, k \in K$ aantal benodigde instrumenten van type i voor operatie type k
- u_{ij} ; $i \in I, j \in J$ aantal instrumenten van type i in net j

Variabelen:

x_{jk} ; $j \in J, k \in K$ aantal toegewezen netten van type j aan operatie type k

Na het oplossen van bovenstaand ILP-probleem is er bekend welke netten er toegewezen zijn aan elke operatie. Bij elk ziekenhuis kan er een goede schatting gemaakt worden van de frequentie van elk type operatie. Door de hoeveelheden van alle toegewezen netten aan een type operatie te vermenigvuldigen met de frequentie van die operatie, wordt er rekening gehouden met de beschikbaarheid van de netten. Doordat de instrumenten die in de operatiekamer geweest zijn gesteriliseerd moeten worden, zullen deze instrumenten één à twee dagen niet beschikbaar zijn voor andere operaties. Na het toevoegen van deze frequentie is het duidelijk geworden hoeveel instrumentennetten van elk type nodig zijn en dus ook hoeveel instrumenten van alle types nodig zijn. Met deze data kan nu de waarde van de doelfunctie van de startoplossing bepaald worden, de zogenaamde startkosten.

Bij het kiezen van een startoplossing wordt ook een begintemperatuur gekozen. Deze temperatuur wordt als volgt gekozen:

$$T_{start} = \frac{S_1 - S_2}{\ln(0,05)},$$

met S_1 de waarde van de doelfunctie bij de startoplossing en S_2 de waarde van de doelfunctie van de slechtste buuroplossing van de startoplossing. Hierdoor zal bij de eerste iteraties van het algoritme de kans op het accepteren van een slechtere oplossing 50% zijn.

3.2 Buuroplossingen

De tweede stap van het algoritme van Simulated Annealing is een willekeurig buuroplossing onderzoeken. Om een buuroplossing te verkrijgen, zijn er vijf verschillende manieren toegepast om de samenstelling van de netten aan te passen:

1. Uitwisselen van twee verschillende instrumenten tussen twee netten; twee willekeurig gekozen waardes bepalen in welke netten er een aanpassing plaatsvindt. Twee andere willekeurig gekozen waardes bepalen welke twee instrumenten uitgewisseld worden. Hierdoor zal er één instrument uit het eerst gekozen net gehaald worden en in het andere gekozen net gestopt worden. En uit dit net wordt dan weer een ander instrument gehaald die in de eerst gekozen net wordt toegevoegd.
2. Toevoegen van één instrument aan één net; een willekeurig gekozen waarde bepaalt aan welk net er een instrument toegevoegd wordt. Een ander willekeurig gekozen waarde bepaalt welk type instrument er toegevoegd wordt.
3. Verwijderen van één instrument uit één net; een willekeurig gekozen waarde bepaalt uit welk net er een instrument verwijderd wordt. Een ander willekeurig gekozen waarde bepaalt welk type instrument er verwijderd wordt.
4. Uitwisselen van een hoeveelheid van een type instrument tussen twee netten; twee willekeurig gekozen waarde bepalen tussen welke twee netten er instrumenten uitgewisseld zullen worden. Een derde willekeurig gekozen waarde bepaalt welk type instrument uitgewisseld wordt. Het aantal instrumenten van het gekozen type uit het eerst gekozen net zal volledig naar het tweede gekozen net gaan en andersom.

5. Deel van een aantal soorten instrumenten uitwisselen tussen twee netten; twee willekeurig gekozen waarden bepalen tussen welke twee netten er instrumenten uitgewisseld zullen worden. Twee andere willekeurig gekozen waarden bepalen welke type instrumenten volledig uitgewisseld worden. Dit zijn de instrumenten met typenummer gelijk aan die twee waarden en al de instrumenten die typenummers hebben die tussen die twee waarden liggen.

Er zijn een paar voorwaarden waar de netten aan moeten blijven voldoen, nadat er één van de bovenste opties op de netten is uitgevoerd:

1. Een net kan maximaal 60 instrumenten bevatten
2. Een net kan geen negatief aantal instrumenten bevatten.
3. Alle instrumenten moeten toegewezen zijn aan een net

Welk van de vijf opties er uit moet worden gevoerd op de netten wordt bepaald aan de hand van een willekeurig getal tussen nul en één. Valt het willekeurig gekozen getal tussen 0 en $\frac{1}{5}$ dan wordt optie 1 uitgevoerd, valt het getal tussen $\frac{1}{5}$ en $\frac{2}{5}$ dan wordt optie 2 uitgevoerd, etc. Zo zijn de kansen van het uitvoeren van de verschillende opties gelijk en wordt op een eerlijke manier gekozen tussen de verschillende opties.

3.3 Acceptatie van buuroplossing

Na het uitvoeren van één van de vijf opties is er een nieuwe samenstelling van instrumenten in de netten ontstaan. Er moet nu bepaald worden of de gemaakte nettensamenstelling geaccepteerd wordt. Hiervoor moet de waarde van de doelfunctie bij deze samenstelling bepaald worden en vergeleken worden met de waarde van de doelfunctie voor de aanpassing van de netten. De waarde van de doelfunctie van de buuroplossing is op dezelfde manier te berekenen als de startoplossing, zie hoofdstuk 3.1.

Als de waarde van de doelfunctie van de aangepaste nettensamenstelling lager is dan die van de samenstelling voor de aanpassing, dan wordt de nieuwe samenstelling geaccepteerd. Is de waarde hoger dan de vorige waarde, dan moet er gekeken worden of de willekeurig gekozen waarde tussen nul en één kleiner is dan de Boltzmann factor. Is dit het geval, dan wordt de nieuwe samenstelling van de netten geaccepteerd en anders niet.

3.4 Stopcriterium

Het gekozen stopcriterium voor het algoritme van Simulated Annealing is:

$$T < T_{eind},$$

met $T_{eind} = \frac{S_3}{\ln(0,01)}$ en S_3 is het kleinst mogelijke verschil van de waarde van de doelfunctie van twee buuroplossingen. Wanneer er nog niet voldaan is aan het stopcriterium zullen stap 1 en 2 van het algoritme, te zien in hoofdstuk 2.3, herhaald worden. Wanneer er wel voldaan is aan het stopcriterium, stopt het algoritme en is er bekend of er een optimale oplossing voor het instrumentennetten indelingsprobleem gevonden is. De eindtemperatuur wordt zodanig gekozen dat in de laatste paar iteraties de kans op het accepteren van slechtere oplossingen heel klein zal zijn. Zo kan er goed geconvergeerd worden naar een (lokaal) minimum.

3.5 Aanpak

Om gebruik makend van Simulated Annealing tot een optimum van de doelfunctie van de indeling van instrumentennetten te komen, is de volgende aanpak gebruikt:

1. Kies de waarde van de parameters, dit zijn onder andere de parameters T_{start} , T_{eind}
2. Doorloop het hele algoritme van Simulated Annealing
3. Bekijk of er een optimale oplossing gevonden is
4. Bekijk de invloed van variatie van de parameters op het verloop van de doelfunctie tijdens Simulated Annealing

Door te kijken wat het effect van het variëren van de parameters op het gevonden optimum is, kan er overwogen worden om bij verder onderzoek de parameters aan te passen of toch hetzelfde te laten.

4 Resultaten

Om de indeling van instrumentennetten te optimaliseren wordt er gebruik gemaakt van Simulated Annealing. Hiervoor is een aantal data nodig, zodat het algoritme van Simulated Annealing toegepast kan worden.

4.1 Data

Het startpunt van deze heuristiek is een subsectie van de samenstellingen van de instrumentennetten van het HagaZiekenhuis in 2010. De indeling van de instrumentennetten in 2010 is te vinden in de tabellen van bijlage B.1. Deze vijf verschillende instrumentennetten worden gebruikt voor 16 verschillende operaties. In deze vijf netten zitten in totaal 84 verschillende instrumenten. Dit betekent dat bij een herindeling van de netten en het eventueel vergroten of verkleinen van het aantal netten, er de mogelijkheid ontstaat dat je 84 verschillende netten krijgt met in elk net één type instrument. Zie bijlage B.2 voor de 84 verschillende instrumenten met hun typenummer erbij. In bijlage B.3 staat een tabel met de frequenties van alle 16 soorten operaties. De frequentie van een type operatie is het aantal operaties die van dit type operatie in 2 dagen tijd gepland zullen zijn. Door rekening te houden met deze frequenties kan er geen situatie ontstaan dat er een net dat nodig is voor een operatie niet beschikbaar is doordat al de netten van dit type gesteriliseerd worden.

Er is gegeven dat de sterilisatiekosten van een instrument €1,- bedraagt. De opslagkosten van een instrumentennet zijn €29,70 per jaar. Alle bovenstaande data staat weergegeven in tabel 1.

Opslagkosten	€29,70
Sterilisatiekosten	€1,-
Kapitaalkosten	€475,-
Aantal weken dat er een operatie plaatsvindt	50
Aantal verschillende soorten instrumenten	84
Aantal verschillende soorten operaties	16
Aantal verschillende netten in HagaZiekenhuis	5

Tabel 1: Data uit 2010 van het HagaZiekenhuis

De netcompositie van het HagaZiekenhuis in 2010 wordt de startoplossing. De waarde van de doelfunctie bij deze oplossing is €113302,10, met $m = 43$ netten en $n = 1832$ instrumenten.

4.2 Gekozen parameters

Er zijn een aantal parameters waarvan de waarde gekozen moeten worden voordat het algoritme van Simulated Annealing start. De starttemperatuur wordt zo gekozen dat bij de eerste paar iteraties van het algoritme, de kans op het accepteren van slechtere oplossingen 50% zal zijn. De eindtemperatuur wordt zodanig gekozen dat in de laatste paar iteraties de kans op het accepteren van slechtere oplossingen heel klein zal zijn. Zo kan er goed geconvergeerd worden naar een (lokaal) minimum. Ook moet het aantal iteraties gekozen waarna de temperatuur afneemt. Verder moet α gekozen worden. De temperatuur wordt namelijk met α vermenigvuldigd, zodat de temperatuur na een aantal iteraties met α afneemt. Er is voor gekozen om het aantal netten

tijdens de iteraties niet gelijk te houden aan vijf, hierdoor is er de mogelijkheid dat er een optimum gevonden wordt waarvan de netcompositie meer of minder dan vijf netten bevat.

De gekozen waarden voor de parameters staan in tabel 2:

Starttemperatuur T_{start}	$\frac{-2904,70}{\ln(0,5)} \approx 4190,60$
Eindtemperatuur T_{eind}	$\frac{-50}{\ln(0,01)} \approx 21,71$
α	0,95
Aantal iteraties A waarna T afneemt	50

Tabel 2: Gekozen waarde van parameters

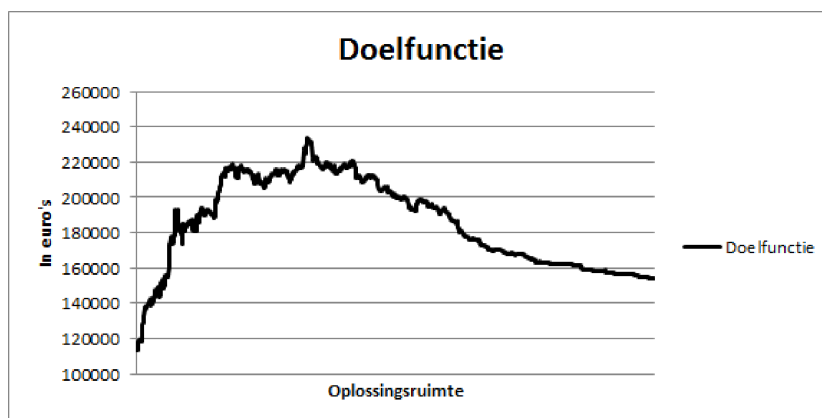
De geschatte slechtste buuroplossing van de startoplossing heeft een doelfunctiewaarde van €116206,80. Hierbij zijn twee instrumenten uit net vier en vijf van de startoplossing uitgewisseld, waardoor het aantal netten m in de doelfunctie met één net stijgt ten opzichte van het aantal netten m van de startoplossing. Bij deze slechtste oplossing worden ook 48 instrumenten meer per week gesteriliseerd.

4.3 Resultaten bij gekozen parameters

De netcompositie van het HagaZiekenhuis in 2010 is de startoplossing. Met de gekozen parameters uit tabel 2 wordt het algoritme van Simulated Annealing toegepast op de de startoplossing van het HagaZiekenhuis. Hieruit volgt de volgende waarde voor de doelfunctie van het kleinst gevonden minimum:

$$C = 113202,10,$$

met $m = 43$ netten en $n = 1830$ instrumenten. Dit betekent dat de kosten voor de opslag en sterilisatie van instrumenten per jaar gereduceerd kunnen worden van €113302,10 naar €113202,10. Het gevonden optimum heeft dus een verbetering op de doelfunctie van €100 op jaarbasis. Dit is een procentuele daling van 0,1%.



Figuur 6: Verloop doelfunctie bij gekozen parameters

In figuur 6 is te zien dat na een paar iteraties de optimale netcompositie gevonden wordt. De netcompositie bij het gevonden optimum bevat twee instrumenten minder dan de netcompositie van het HagaZiekenhuis. Hierdoor wordt het aantal instrumenten n in de doelfunctie 1830 in plaats van 1832. Het aantal netten m in de doelfunctie neemt echter niet af ten opzichte van de m

van de startoplossing. Het aantal iteraties van het algoritme is 5850, het programma MATLAB heeft ongeveer één uur moeten runnen om het volledige algoritme van Simulated Annealing met deze parameters door te lopen.

4.4 Variatie op de gekozen parameters

Met de gekozen parameters uit tabel 2 is een (lokaal) optimum gevonden dat een verbetering van 0,1% heeft op de waarde van de doelfunctie van de startoplossing. Door te variëren met de gekozen parameters kan er bepaald worden of er een beter (lokaal) optimum met behulp van Simulated Annealing kan worden gevonden.

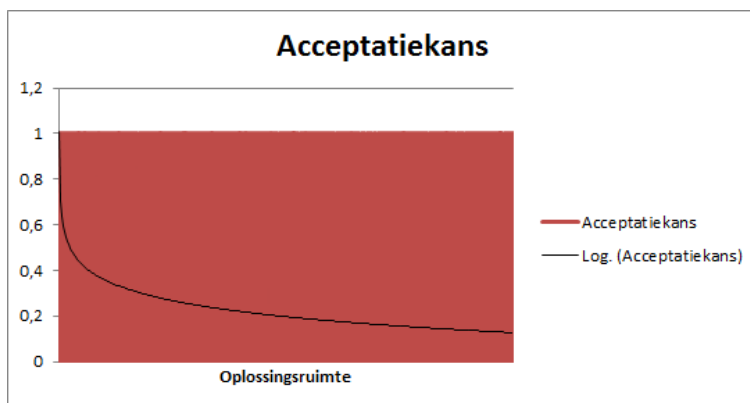
Hiervoor worden de volgende parameters aangepast: T_{start} , T_{eind} , α en A . Twee andere aspecten van het algoritme van Simulated Annealing waarmee gevarieerd kunnen worden zijn het aantal opties waarmee een willekeurige buuroplossing vanuit een oplossing gevonden wordt (zie hoofdstuk 3.2) en de hoeveelheid netten die in een netcompositie zitten.

Bij het variëren van deze parameters wordt er telkens maar één parameter uit tabel 2 verandert. Hierdoor kan het best gekeken worden naar de invloed van elk specifieke parameter.

4.4.1 Variëren met T_{start}

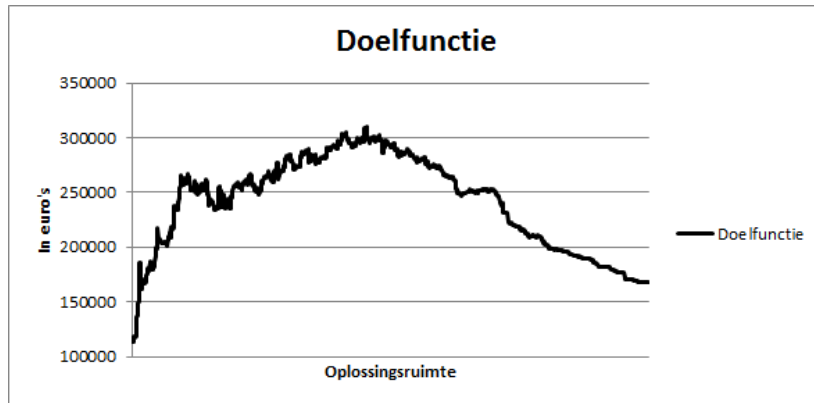
Er worden twee (willekeurige) variaties op T_{start} bekeken, namelijk $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$ en $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$. De originele T_{start} is het gemiddelde van de twee variaties.

Bij een verandering van $T_{start} = \frac{-2904,70}{\ln(0,5)}$ naar $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$ wordt er met behulp van het algoritme van Simulated Annealing geen lokaal optimum gevonden die beter is dan de startoplossing. In figuur 7 is een logaritmische benadering van het verloop van de acceptatiekans met $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$ te zien.



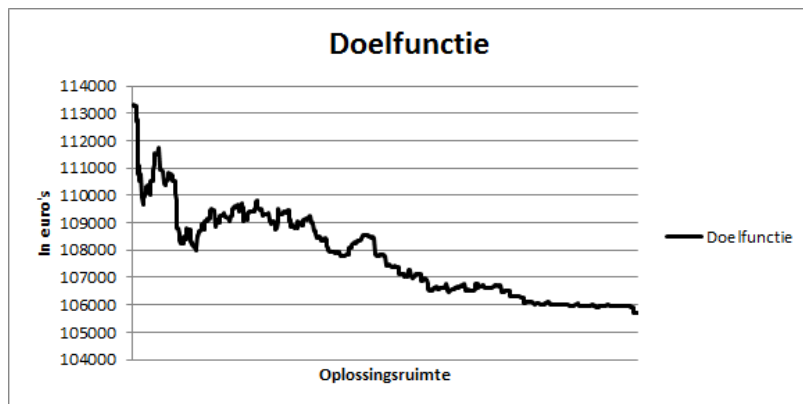
Figuur 7: Logaritmische benadering van verloop acceptatiekans, met $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$

In figuur 7 is te zien dat met $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$ de acceptatiekans in de eerste iteraties van het algoritme heel groot is. Hierdoor wijkt het algoritme te “ver” af van de startoplossing, waardoor er niet ver genoeg wordt geconvergeerd naar een ander beter lokaal optimum, zie figuur 8.



Figuur 8: Verloop doelfunctie bij aangepaste parameter $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$

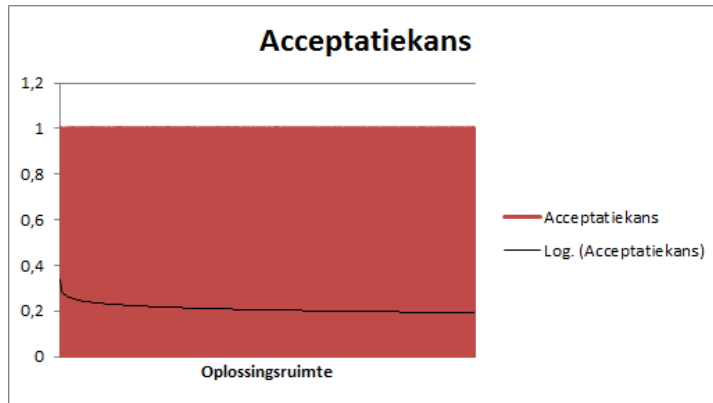
Bij een verandering van $T_{start} = \frac{-2904,70}{\ln(0,5)}$ naar $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$ wordt daarentegen wel een betere oplossing gevonden. De waarde van de doelfunctie is nu $C = 105702,10$. Dit is een verbetering van 6,7% ten opzichte van de startoplossing. Deze oplossing bestaat uit een netcompositie van zeven netten, met m uit de doelfunctie gelijk aan 43 en n is 1680. Het aantal iteraties van het algoritme van Simulated Annealing is 3200, dit betekent dat MATLAB ongeveer 45 minuten nodig heeft om door het hele algoritme te lopen. In figuur 9 is het verloop van de doelfunctie te zien met de aangepaste T_{start} .



Figuur 9: Verloop doelfunctie bij aangepaste parameter $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$

In figuur 9 is duidelijk te zien dat de doelfunctiewaarde naar het gevonden optimum toe convergeert. In figuur 10 is een logaritmische benadering van de acceptatiekans met $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$ te zien.

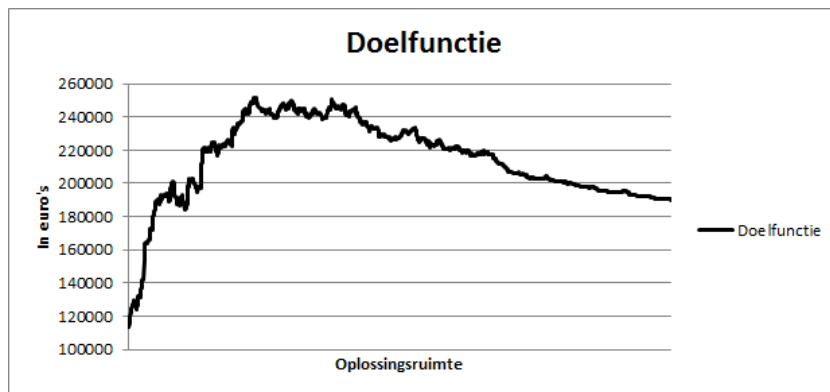
Er is een duidelijk verschil te zien tussen de grafieken in figuur 7 en in figuur 10. De acceptatiekans bij $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$ is namelijk in het begin van het algoritme van Simulated Annealing veel lager dan bij $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$. Dit kan het verschil verklaren tussen het wel en niet vinden van een betere oplossing met $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$ en $T_{start} = \frac{-5611,5}{\ln(0,5)}$.



Figuur 10: Logaritmische benadering van verloop acceptatiekans, met $T_{start} = \frac{-179,9}{\ln(0,5)}$

4.4.2 Variëren met T_{eind}

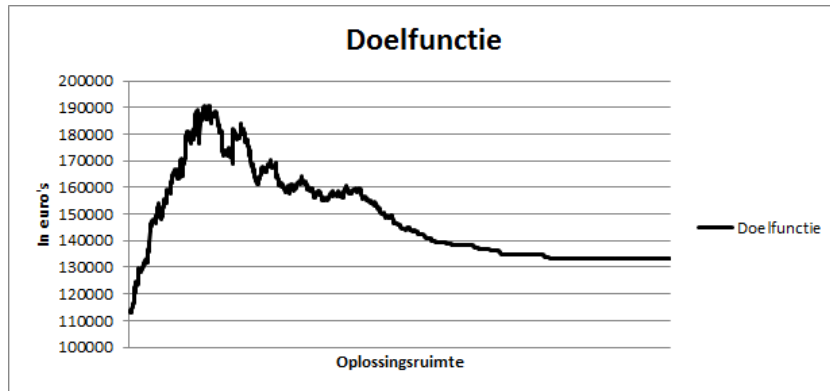
Er worden twee (willekeurige) variaties op T_{eind} bekeken, namelijk $T_{eind} = \frac{-100}{\ln(0,01)}$ en $T_{eind} = \frac{-0,1}{\ln(0,01)}$. Door het aanpassen van parameter T_{eind} naar $\frac{-100}{\ln(0,01)}$ vindt het algoritme van Simulated Annealing geen betere oplossing dan de startoplossing. Uit figuur 11 is af te lezen dat de doelfunctie niet ver genoeg convergeert om een optimum te bereiken.



Figuur 11: Verloop van de doelfunctie, met $T_{eind} = \frac{-100}{\ln(0,01)}$

Het aanpassen van parameter T_{eind} naar $\frac{-0,1}{\ln(0,01)}$ levert echter wel een betere oplossing op, namelijk een netcompositie met vijf netten, waar m uit de doelfunctie gelijk is aan 43 en n gelijk aan 1824. Deze oplossing heeft een doelfunctiewaarde die 0,4% beter is dan de doelfunctiewaarde van de startoplossing. In figuur 12 is het verloop van de waarde van de doelfunctie met $T_{eind} = \frac{-0,1}{\ln(0,01)}$ weergegeven. Uit dit figuur is te concluderen dat het optimum al in een van de eerste iteraties gevonden is. Het aantal iteraties van het algoritme van Simulated Annealing bij deze parameters is 11900, dit betekent dat MATLAB ongeveer twee uur nodig heeft om door het hele algoritme te lopen.

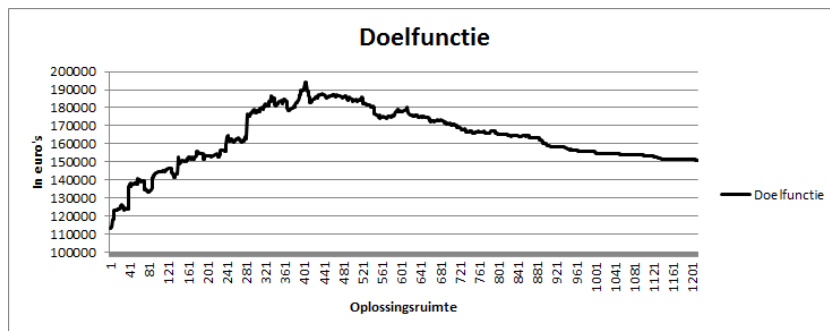
Aan de hand van deze twee variaties van T_{eind} lijkt het aannemelijk dat een kleinere T_{eind} een positiever effect heeft op het vinden van een betere oplossing dan bij een grotere T_{eind} .



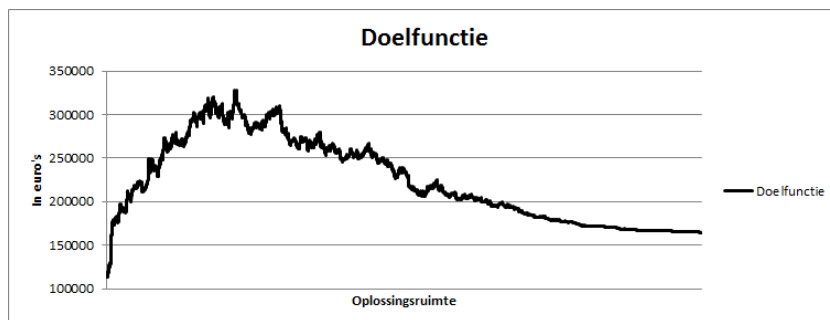
Figuur 12: Verloop van de doelfunctie, met $T_{eind} = \frac{-0,1}{\ln(0,01)}$

4.4.3 Variëren met α

Er worden twee (willekeurige) variaties op α bekeken, namelijk $\alpha = 0,99$ en $\alpha = 0,90$. Beide variaties geven echter geen betere oplossing dan de startoplossing. Zie figuur 13 en 14 voor het verloop van de waarde van de doelfunctie bij deze twee gekozen α 's.



Figuur 13: Verloop van de doelfunctie, met $\alpha = 0,90$

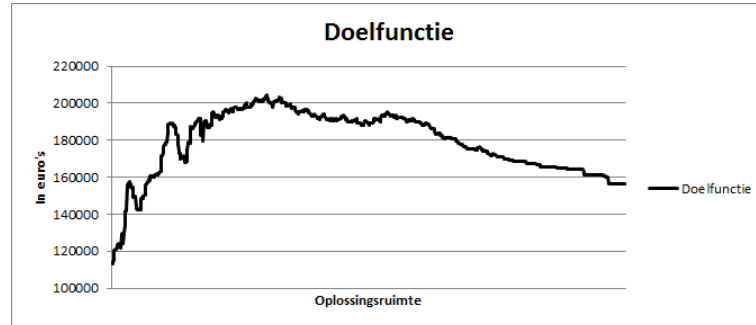


Figuur 14: Verloop van de doelfunctie, met $\alpha = 0,99$

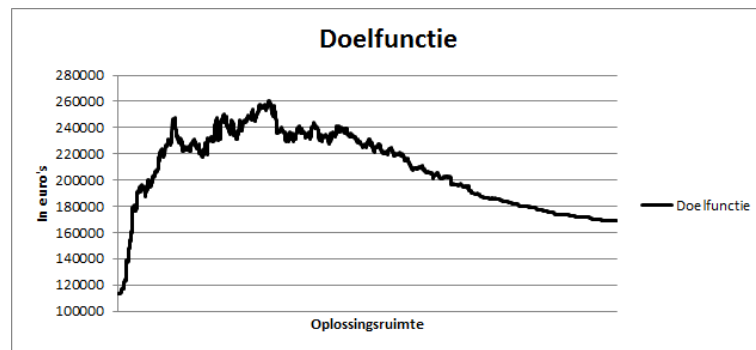
Het variëren van α heeft een negatief effect op de gekozen $\alpha = 0,95$, aangezien er met deze $\alpha = 0,95$ wel een betere oplossing gevonden is.

4.4.4 Variëren met A

Er worden twee (willekeurige) variaties op A bekeken, namelijk $A = 25$ en $A = 100$. Beide variaties van A leveren echter, net zoals bij de variaties van α , geen betere oplossing dan de startoplossing op. Zie figuur 15 en 16 voor het verloop van de waarde van de doelfunctie bij deze twee gekozen A 's.



Figuur 15: Verloop van de doelfunctie, met $A = 25$

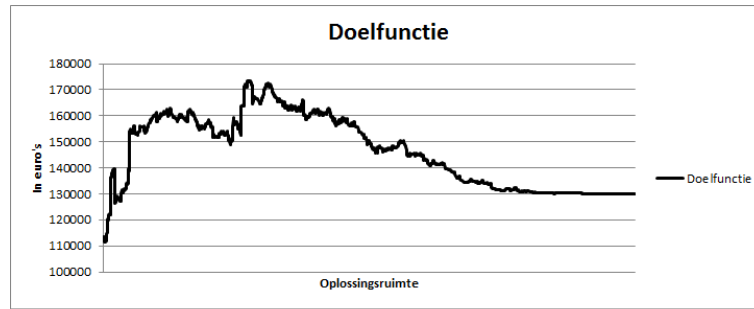


Figuur 16: Verloop van de doelfunctie, met $A = 100$

Beide grafieken convergeren niet ver genoeg om een betere oplossing dan de startoplossing te vinden. Het variëren van A heeft dus een negatief effect op de gekozen $A = 50$, aangezien met deze waarde wel een betere oplossing dan de startoplossing is gevonden.

4.4.5 Variëren met aantal opties om een buuroplossing te verkrijgen

Tijdens het doorlopen van de heuristiek zijn er telkens vijf opties die een buuroplossing van een oplossing verkrijgen. Dit kan echter ook beperkt worden naar de eerste drie opties, zie hoofdstuk 3.2 voor de uitleg van deze drie opties. Het algoritme van Simulated Annealing zonder de laatste twee opties verkrijgt een oplossing, die beter is dan de startoplossing. De waarde van de kostenfunctie bij deze oplossing is $C = 113052,10$, dit is een procentuele stijging van 1,7% ten opzichte van de startoplossing. Het aantal iteraties van het algoritme van Simulated Annealing bij deze parameters is 5850, dit betekent dat MATLAB ongeveer één uur nodig heeft om door het hele algoritme te lopen. Het verloop van de waarde van de doelfunctie staat weergegeven in figuur 17.



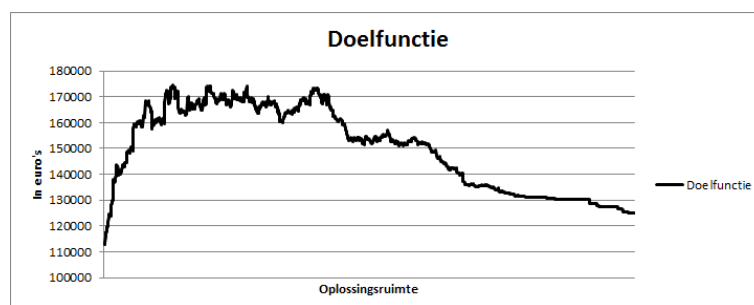
Figuur 17: Verloop van de doelfunctie, met 3 opties

De netcompositie van dit optimum bevat vijf verschillende netten, de waarde m van de doelfunctie is 43 en de waarde voor n is 1793. Dit betekent dat er met dit optimum per week 37 instrumenten minder gesteriliseerd hoeven te worden ten opzichte van de startoplossing. Aangezien deze oplossing 1,7% kostenverlaging met zich meebrengt, en de oplossing in hoofdstuk 4.3 slechts 0,1%, heeft het wel degelijk effect als het aantal opties om een buuroplossing te verkrijgen van vijf naar drie gereduceert wordt.

4.4.6 Variëren met het toegestane aantal netten in een netcompositie

In het algoritme dat toegepast is om de optimale oplossing in hoofdstuk 4.3 te verkrijgen is het aantal verschillende netten die in een netcompositie mogen zitten niet constant gehouden. Er kan echter voor gekozen worden om dit aantal netten vast te zetten, bijvoorbeeld op zes netten. Het algoritme van Simulated Annealing verkrijgt dan een betere oplossing dan de startoplossing. De waarde van de doelfunctie van dit optimum is $C = 112702,10$, dit is een verbetering van 0,5% ten opzichte van de waarde van de doelfunctie van de startoplossing. Het aantal iteraties van het algoritme van Simulated Annealing bij deze parameters is 5850, dit betekent dat MATLAB ongeveer één uur nodig heeft om door het hele algoritme te lopen.

Het verloop van de waarde van de doelfunctie is weergegeven in figuur 18. De waarde van m uit de doelfunctie is 43 en voor n is deze 1820. Dit betekent dat er per week 10 instrumenten minder gesteriliseerd hoeven te worden, ten opzichte van de startoplossing. Dit is dus een beter lokaal optimum, dan het gevonden optimum waar het aantal netten in een netcompositie variabel is (zie hoofdstuk 4.3).



Figuur 18: Verloop van de doelfunctie, met 6 netten in een netcompositie

4.5 Conclusie

Met behulp van Simulated Annealing is er een optimale oplossing voor de netcompositie van het HagaZiekenhuis te vinden. Door de parameter T_{start} kleiner te nemen dan de gekozen waarde in tabel 2, kan er nog een kleiner optimum gevonden worden. Variatie van een andere parameter heeft weinig effect op de uitkomst van het algoritme van Simulated Annealing bij de dataset van het HagaZiekenhuis. Voor de variaties van de gekozen parameters kost het MATLAB maximaal twee uur om het algoritme te laten runnen. Dit is een acceptabele tijd voor het runnen van het algoritme van Simulated Annealing.

5 Conclusie

Met behulp van Simulated Annealing en de gekozen parameters in tabel 2 kan de indeling van de instrumentennetten van het HagaZiekenhuis geoptimaliseerd worden. Resultaat van het onderzoek geeft weer dat het mogelijk is om de totale kosten, qua opslagkosten van de netten en de sterilisatiekosten van de instrumenten, te kunnen laten dalen met 0,1% door de instrumentennetten te herindelen. Dit is een besparing van €100 per jaar voor het HagaZiekenhuis.

Door de parameter T_{start} kleiner te nemen dan de gekozen waarde in tabel 2, kan er nog een kleiner optimum gevonden worden, namelijk een oplossing die 6,7% beter is dan de startoplossing. Dit is een besparing van €7600 per jaar voor het HagaZiekenhuis ten opzichte van de indeling van de instrumentennetten in 2010.

Variatie van een andere parameter dan T_{start} heeft weinig effect op de uitkomst van het algoritme van Simulated Annealing bij de dataset van het HagaZiekenhuis. Met een aanpassing van de waarde van de parameter T_{eind} of α vindt het algoritme van Simulated Annealing zelfs geen één betere oplossing dan de startoplossing. Ditzelfde geldt als de het aantal iteraties waarna de temperatuur elke keer daalt wordt verandert ten opzichte van de gekozen waarde in tabel 2.

Met de gekozen restricties voor de parameters van het algoritme van Simulated Annealing is het hoofdresultaat van dit onderzoek een netcompositie waarvan de waarde van de doelfunctie 0,1% beter is dan de waarde van de doelfunctie van de netcompositie van het HagaZiekenhuis in 2010. De runtijd van het programma MATLAB is maximaal twee uur, dit is een acceptabele runtijd.

6 Discussie

De heuristiek Simulated Annealing kan de indeling van instrumentennetten optimaliseren, dit was ook mijn verwachting bij het maken van de keuze voor deze heuristiek. Het hoofdresultaat van dit onderzoek had ik echter hoger verwacht dan een verbetering van 0,1%. MATLAB heeft het algoritme met de keuze van deze parameters (zie tabel 2) vijf keer volledig doorlopen, elke keer kwam er een ander (lokaal) optimum uit. Van deze vijf optima was de oplossing met een verbetering van 0,1% het kleinste lokale optimum. De resultaten zullen betrouwbaarder zijn als het algoritme vaker dan vijf keer gerunt wordt.

Bij het variëren van de gekozen parameters onder subsectie 4.4 wordt er telkens één parameter aangepast aan de vooraf gekozen restricties van de parameters (zie tabel 2). De parameters zijn echter afhankelijk van elkaar, waardoor het algoritme van Simulated Annealing met een combinatie van meerdere aangepaste parameters wellicht een nog kleiner (lokaal) optimum vindt. Gezien de extra tijd die het zou kosten om alle mogelijke combinaties van aangepaste parameters uit te voeren op het algoritme van Simulated Annealing, heb ik dit buiten beschouwing gelaten tijdens mijn onderzoek. Een mogelijk vervolgonderzoek is het optimaliseren van de gekozen parameters voor het algoritme van Simulated Annealing met de dataset van het HagaZiekenhuis.

De formules van de gekozen parameters T_{start} en T_{eind} kunnen wellicht voor een andere dataset positiever effect hebben op het vinden van een optimale oplossing dan het effect bij de dataset van het HagaZiekenhuis. Aangezien ik maar één dataset tot mijn beschikking heb, heb ik dit effect niet kunnen onderzoeken. Een vervolgonderzoek op mijn onderzoek zou dan ook het toepassen van de heuristiek met de gekozen parameters op andere datasets kunnen zijn.

Over het geheel genomen ben ik zeer tevreden met het verloop van mijn onderzoek, het duurde een aantal weken voordat mijn MATLAB code van het algoritme van Simulated Annealing werkte. Hiermee is nu wel aangetoond dat met behulp van Simulated Annealing de indeling van instrumentennetten geoptimaliseerd kan worden.

Referenties

- [1] F. Reymondon, B. Pellet, E. Marcon, Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages, *International Journal of Production Economics* vol. 112, pp. 326-335, 2008.
- [2] J. van der Klundert, P. Muls, M. Schadd, Optimizing sterilization logistics in hospitals, *Health Care Management Science*, vol. 11, no. 1, pp. 23-33, 2008.
- [3] F.S. Hillier, G.J. Lieberman, Introduction to Operations Research, *McGraw-Hill: Boston MA* 9th. Edition, 2010.
- [4] S. Gawiejnowicz S, *Time-Dependent Scheduling* Springer: Berlin, 2008.

A MATLAB code

```
opslagkosten=29.70;    %per jaar
sterilisatiek=1;     %per sterilisatie van een instrument
abn=6;                %aantal beschikbare netten
avi=84;               %aantal verschillende instrumenten
weken=50;             %aantal weken dat er wordt geopereerd
kapitaalk=475;       %afschrijvingskosten per net per jaar

%Dataset HagaZiekenhuis 2010
net = xlsread('Datnieuw','Netmatrix6net');
ope = xlsread('Datnieuw','Operatiematrix');
freqnet = xlsread('Datafreq','Freqopslag');

%Bepalen #instrumenten per net bij startoplossing
aantalinstrumenten=zeros(abn,1);
for i=1:abn
    aantalinstrumenten(i,1)=sum(net(:,i));
end

%#integers
intcon=zeros(1,abn);
for i=1:abn
    intcon(i)=i;
end

%Toewijzen van netten aan operaties
opnet=ones(abn,16);
for i=1:16
    functie=aantalinstrumenten;
    netten=-net;                %-net*x<=-ope
    operaties=-ope(:,i);       %net*x=>ope
    lb=zeros(abn,1);
    x=intlinprog(functie,intcon,netten,operaties,[],[],lb,[]);
    opnet(:,i)=x;
end

%Frequentie operaties toevoegen
for i=1:16
    opnet(:,i)=freqnet(i)*opnet(:,i);
end

%Aantallen toegewezen instrumenten
totinstr0=net*opnet;

%Instrumenten die in de OK komen (inclusief frequentie operaties)
h=0; % # instrumenten
```

```

for i=1:16
    h=h+sum(totinstr0(:,i));
end

%Bepalen hoeveel netten daadwerkelijk toegewezen zijn
%(inclusief frequentie operaties)
j=0; % # toegewezen netten
for i=1:abn
    j=j+sum(opnet(i,:));
end

%startkosten: 113.302,10
oud=opslagkosten*j + sterilisatiek*h*weken + kapitaalk*j;
nieuw=oud;

%(Start)Optimum opslaan
optimumkosten=oud;
optimumkostenstart=oud;
optimumnet=net;
optimumnetstart=net;

%Parameters
T=(oud-315423)/log(0.5);
Teind=-1/log(0.01);
z=0;
zz=1;

%Opslag voor grafieken
kansopslag2=zeros(100000,1);
kansopslag2(zz)=nieuw;
kansopslag=zeros(1000000,7);

a1=0;
b1=0;
c1=0;

%Op zoek naar een (betere) andere oplossing
while T>Teind

    a=rand;
    netoud=net;
    verandering=0;

    %2 instrumenten uitwisselen (hoeven niet niet dezelfde instr te zijn)
    if a<=1/5

        while verandering==0
            a1=ceil(avi*rand); %4 random getallen (ongelijk 0)
            a2=ceil(abn*rand);

```

```

a3=ceil(avi*rand);
a4=ceil(abn*rand);

if net(a1,a2)>0 && net(a3,a4)>0
    net(a1,a2)=net(a1,a2)-1;
    net(a1,a4)=net(a1,a4)+1;
    net(a3,a2)=net(a3,a2)+1;
    net(a3,a4)=net(a3,a4)-1;
    verandering=1;
end
end

%1 instrument erbij stoppen
elseif a>1/5 && a<=2/5

while verandering==0
    b1=ceil(avi*rand);
    b2=ceil(abn*rand);

    %Mogen niet meer dan 60 instr in een net
    if sum(net(:,b2))<60
        net(b1,b2)=net(b1,b2)+1;
        verandering=1;
    end
end

%1 instrument eruit halen
elseif a>2/5 && a<=3/5

while verandering==0
    c1=ceil(avi*rand);
    c2=ceil(abn*rand);

    %Kan geen negatief aantal van type instr. in een net
    %Een type instrument moet in minstens 1 net zitten
    if net(c1,c2)>0
        if sum(net(c1,:))>1
            net(c1,c2)=net(c1,c2)-1;
            verandering=1;
        end
    end
end

%Hoeveelheid van een type instrumenten uit 2 netten volledig uitwisselen
elseif a>3/5 && a<=4/5

while verandering==0

```

```

d1=ceil(avi*rand);
d2=ceil(abn*rand);
d3=ceil(abn*rand);
if (sum(net(:,d2))-net(d1,d2)+net(d1,d3))<=60 && ...
    (sum(net(:,d3))-net(d1,d3)+net(d1,d2))<=60
    if net(d1,d2)~=net(d1,d3)
        opslag=net(d1,d2);
        net(d1,d2)=net(d1,d3);
        net(d1,d3)=opslag;
        verandering=1;
    end
end
end
end

%Deelverzameling van 2 netten volledig uitwisselen
else

while verandering==0
    e1=ceil(avi*rand);
    e2=ceil(abn*rand);
    e3=ceil(avi*rand);
    e4=ceil(abn*rand);
    if (sum(net(1:e1-1,e2))+sum(net(e1:e3,e4))+...
        sum(net(e3+1:avi,e2)))<=60 && (sum(net(1:e1-1,e4))+...
        sum(net(e1:e3,e2))+sum(net(e3+1:avi,e4)))<=60
        if e1<e3
            net(e1:e3,[e2 e4])=net(e1:e3,[e4 e2]);
            verandering=1;
        else
            net(e3:e1,[e2 e4])=net(e3:e1,[e4 e2]);
            verandering=1;
        end
    end
end
end
end

%-----
%Methode om te bepalen welke instrumentennetten er voor elk type
%operatie moeten worden gebruikt

%Zo sorteren dat lege netten/kolommen allemaal rechts in de matrix liggen
f=0; %aantal nulkolommen/lege netten
for i=1:abn-1
    if sum(net(:,i))==0
        for e=i:abn-1
            net(:,[e e+1])=net(:,[e+1 e]); %blijven verwisselen totdat
        end %nulkolom achteraan staat
        f=f+1; %in de matrix net
    end
end

```



```

        end;
    end

%Verzameling van alle niet-lege netten
net=net (:,1:(abn-f));

%-----
%ILP-probleem: bepalen welk instrumentennetten toegewezen zijn aan
%aan elke operatie

aantalinstrumenten=zeros(abn-f,1);
for q=1:abn-f
    aantalinstrumenten(q,1)=sum(net(:,q));
end

%#integers
intcon=zeros(1,abn-f);
for i=1:abn-f
    intcon(i)=i;
end

%ILP-probleem
opnet=ones(abn-f,16);
for g=1:16
    functie=aantalinstrumenten;
    netten=-net;                %-net*x<=ope
    operaties=ope(:,g);        %net*x=>ope
    lb=zeros(abn-f,1);
    x=intlinprog(functie,intcon,netten,operaties,[],[],lb,[]);
    opnet(:,g)=x;
end

%Frequentie operaties toevoegen
for i=1:16
    opnet(:,i)=freqnet(i)*opnet(:,i);
end

%-----
%Bepalen welke instrumenten er toegewezen zijn aan de operaties
totinstr=net*opnet;

%Instrumenten die in de OK komen
i=0; % # instrumenten
for h=1:16
    i=i+sum(totinstr(:,h));
end

%Bepalen hoeveel netten daadwerkelijk toegewezen zijn
j=0; % # toegewezen netten

```

```

for k=1:abn-f
    j=j+sum(opnet(k,:));
end

netecht=net;
n=f;
o=0; %houdt bij hoeveel netten verwijderd zijn
%Bepalen welke netten toegewezen zijn
for m=1:abn-f
    if sum(opnet(m,:))=0
        netecht=[netecht(:,1:(m-1-o)),netecht(:,(m+1-o):abn-n)];
        n=n+1;
        o=o+1;
    end
end

net=netecht;

%Nieuwe kosten
nieuw2=opslagkosten*j + sterilisatiek*i*weken + kapitaalk*j;
kansopslag(z+1,3)=nieuw2;
kansopslag(z+1,2)=a;
%


---


deltaE=nieuw2-nieuw;
kansopslag(z+1,4)=deltaE;
kansopslag(z+1,5)=b1;
kansopslag(z+1,6)=c1;
%Bepalen of de nieuwe samenstelling geaccepteerd wordt
if nieuw2<nieuw
    oud=nieuw;
    nieuw=nieuw2;
    if nieuw2<optimumkosten
        optimumkosten=nieuw2;
        optimumnet=net;
    end
    kansopslag2(z+1)=nieuw;
    zz=zz+1;
    %legenetten=zeros(avi,1);
    legenetten=zeros(avi,o+f); %Maakt weer een 84*6 net
    net=[net,legenetten];
    %abn=abn-o-f+1;
    kansopslag(z+1,7)=1;

elseif rand<exp(-deltaE/T) %rand<Boltzmann prob.
    oudkosten=oud;
    oud=nieuw;
    nieuw=nieuw2;
    kansopslag2(z+1)=nieuw;

```

```

zz=zz+1;
kansopslag(z+1,1)=exp(-deltaE/T);

%legenetten=zeros(avi,1);
legenetten=zeros(avi,o+f);
net=[net,legenetten];
%abn=abn-o-f+1;

%Samenstelling wordt niet geaccepteerd
else
    net=netoud; %Neem netsamenstelling van voor de aanpassing
end

z=z+1;
if mod(z,50)==0
    T=0.95*T;
end

end

```


B Data

B.1 Indeling instrumentennetten van HagaZiekenhuis

ID	Basisnet	Lap. Chol. I Trocars	Lap. Chol. II Tangen	Laparatomie	Mamma amputatie
1	2	0	0	0	2
2	2	0	0	0	2
3	2	0	0	0	2
4	2	0	0	0	2
5	2	0	0	0	0
6	1	0	0	0	1
7	1	0	0	0	0
8	2	0	0	0	2
9	2	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0
11	2	0	0	0	2
12	2	0	0	0	2
13	2	0	0	2	0
14	2	0	0	4	0
15	1	0	0	0	0
16	1	0	0	0	1
17	1	0	0	0	1
18	1	0	0	0	1
19	1	0	0	0	1
20	1	0	0	0	1
21	4	0	0	0	0
22	4	0	0	0	2
23	4	0	0	0	2
24	2	0	0	0	2
25	2	0	0	0	1
26	1	0	0	0	1
27	2	0	0	0	0
28	1	0	0	0	0

Tabel 3: Indeling instrumentennetten(1)

ID	Basisnet	Lap. Chol. I Trocars	Lap. Chol. II Tangen	Laparatomie	Mamma amputatie
29	2	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0
31	1	0	0	0	0
32	1	0	0	0	0
33	0	2	0	0	0
34	0	1	0	0	0
35	0	2	0	0	0
36	0	1	0	0	0
37	0	1	0	0	0
38	0	2	0	0	0
39	0	1	0	0	0
40	0	1	0	0	0
41	0	1	0	0	0
42	0	1	0	0	0
43	0	1	0	0	0
44	0	1	0	0	0
45	0	0	3	0	0
46	0	0	1	0	0
47	0	0	1	0	0
48	0	0	1	0	0
49	0	0	1	0	0
50	0	0	1	0	0
51	0	0	1	0	0
52	0	0	1	0	0
53	0	0	1	0	0
54	0	0	0	1	0
55	0	0	0	1	0
56	0	0	0	1	0

Tabel 4: Indeling instrumentennetten(2)

ID	Basisnet	Lap. Chol. I Trocars	Lap. Chol. II Tangen	Laparatomie	Mamma amputatie
57	0	0	0	1	0
58	0	0	0	1	0
59	0	0	0	1	0
60	0	0	0	1	0
61	0	0	0	1	0
62	0	0	0	1	0
63	0	0	0	2	0
64	0	0	0	2	0
65	0	0	0	1	0
66	0	0	0	2	0
67	0	0	0	2	0
68	0	0	0	2	0
69	0	0	0	2	0
70	0	0	0	2	0
71	0	0	0	1	0
72	0	0	0	2	0
73	0	0	0	2	0
74	0	0	0	1	0
75	0	0	0	1	0
76	0	0	0	1	0
77	0	0	0	4	0
78	0	0	0	1	0
79	0	0	0	0	1
80	0	0	0	0	2
81	0	0	0	0	2
82	0	0	0	0	1
83	0	0	0	0	2
84	0	0	0	0	4

Tabel 5: Indeling instrumentennetten(3)

B.2 Soorten instrumenten

Instrument ID	Omschrijving instrument
1	Wondhaak vlgs Kocher-Langenbeck 41 x 11 mm. 215 mm.
2	Wondhaak vlgs Kocher 60 x 20 mm. 230 mm.
3	Wondhaak vlgs Middeldorf 28 x 28 mm. 235 mm.
4	Wondhaak vlgs Middeldorf 215 mm. 20 x 22 mm.
5	Wondhaak vlgs Kocher half scherp 6-tands 220 mm.
6	Mesheft nr.3
7	Mesheft nr.7
8	Pincet chir. vlgs Gillies 1 x 2 tand gegroefd 155 mm.
9	Pincet chir. vlgs Waugh 1 x 2 tand gegr. bek 200 mm.
10	Pincet chir. 2 x 3 tand 160 mm.
11	Pincet, atraumatisch vlgs De Bakey recht 200 mm. bek: 2,8 mm.
12	Korentang vlgs Maier geb. met crmalliere 265 mm.
13	Prepareerklem vlgs Mixer geb. 230 mm.
14	Arterieklem vlgs Pean geb. 240 mm.
15	Naaldvoerder vlgs De Bakey 180 mm.
16	Naaldvoerder vlgs Mayo-Hegar 205 mm.
17	Ligatuur schaar geb. 180 mm.
18	Prepareer schaar vlgs Toenis-Adson geb. fijn 175 mm.
19	Prepareer schaar vlgs Mayo geb. 165 mm.
20	Schaar, chir. vlgs Deaver, recht sp/st 145 mm.
21	Arterieklem vlgs Crile fijn recht 160 mm.
22	Arterieklem vlgs Crile fijn geb. 160 mm.
23	Arterieklem vlgs Halsted-Mosquito geb. 125 mm. fijn
24	Weefsel paktang vlgs Allis 155 mm. 5 x 6 tand
25	Doekklem mod. Peers 140 mm.
26	Wondspreider vlgs Cone scherp 3 x 4 tand 265 mm.
27	Wondhaak vlgs Trachea scherp 165 mm. 3-tand
28	Redonnaald char. 10, zwak geb. mespunt

Tabel 6: Soorten instrumenten(1)

Instrument ID	Omschrijving instrument
29	Kom, R.V.S. 400 cc.
30	Nierbekken 250 mm.
31	Diathermiesnoer + mes
32	Polypropyleen kom 60 cc.
33	Schacht 11 mm. met blauwe afsluitring
34	Trocar 11 mm. Scherp
35	Reduceer clip 11 naar 5,5 mm.
36	Reduceer schacht
37	Conus vlgs Hasson met grijs afsluitring
38	Schacht 5,5 mm met rode afsluitring
39	Trocar, scherp 5,5 mm.
40	Trocar, stomp 5,5 mm.
41	Fascie spreider vlgs Ricard
42	Koudlicht snoer 4,8 mm. x 2,5 meter
43	HF snoer, monopolair
44	Troc doc # 217145
45	Darmpaktang vlgs Dorsey met crem. 5 mm. 310 mm.
46	Paktang met crem. 5 mm. 310 mm.
47	Universele klem met crem. 5 mm. 310 mm.
48	Myoom paktang met crem. 10 mm. 310 mm.
49	Prepareerklem vlgs Maryland 5 mm. 310 mm.
50	Prepareerklem vlgs Overholt 10 mm. 310 mm.
51	Schaar vlgs Metzenbaum 5 mm. 310 mm.
52	Monopolair haak elektrode met haak (GK384)
53	Punctienaald mod. Carina, 3 x 330 mm.
54	Speculum vlgs Doyen 120 x 60 mm. 240 mm.
55	Speculum vlgs Doyen 120 x 45 mm. 240 mm.
56	Speculum vlgs Doyen 90 x 45 mm. 240 mm.

Tabel 7: Soorten instrumenten(2)

Instrument ID	Omschrijving instrument
57	Speculum vlgs Doyen 60 x 45 mm. 240 mm.
58	Wondhaak vlgs Fritsch fig. 3; 41 x 60 mm. 240 mm.
59	Buikspatel vlgs Reverdin 285 mm. 45/63 mm. br.
60	Wondspreider vlgs Collin (zonder bladen)
61	Middenblad 63 x 74 mm. Collin (tbv BV535R)
62	Abdominale bladen (lateraal) (2 st.) 48 x 59 mm.
63	Pincet chir. vlgs Waugh 1 x 2 tand 250 mm.
64	Pincet, atruam. vlgs De Bakey recht 2,8 x 240 mm.
65	Korentang vlgs Maier geb. 265 mm. met crem.
66	Naaldvoerder vlgs De Bakey 250 mm.
67	Naaldvoerder vlgs De Bakey 230 mm.
68	Arterieklem vlgs Rochester-Pean recht 240 mm.
69	Weefsel paktang vlgs Collin 195 mm.
70	Weefsel paktang vlgs Allis 190 mm. 5 x 6 tand
71	Ovariumklem vlgs Doyen 185 mm. recht
72	Darmklem vlgs Doyen geb. licht verend 240 mm.
73	Aortaklem atraum. vlgs De Bakey recht 80x240 mm.
74	Ligatuurklem vlgs Semb sterk geb. 240 mm.
75	Prepareer schaar vlgs Metzenbaum geb. 230 mm.
76	Depperklem vlgs Foerster-Ballinger geb. 240 mm.
77	Arterieklem vlgs Nissen fijn geb. 185 mm.
78	Diathermieverlengstuk
79	Haemorrhoidenhaak
80	Wondhaak vlgs Volkmann half scherp 3 x 4 tand 130 mm.
81	Pincet chir. Vlgs Waugh 1 x 2 tand 184 mm.
82	Wondspreider vlgs Weitlaner scherp 3 x 4 tand 130 mm.
83	Prepareerklem vlgs Overholt-Geissendoerfer 195 mm
84	Doekklem vlgs Backhaus 135 mm.

Tabel 8: Soorten instrumenten(3)

B.3 Frequenties van de operaties

Type operatie	Frequentie
35355 cholecystectomie laparoscopisch	3
34910 appendectomie	2
35710 endoscopische operatie hernia inguinali	1
33911 mammatumorexcisie	1
38912 diepere, grotere tum.,hydrad. etc.	1
38675 achillespeesruptuur operatie	1
34911 endoscopische appendectomie	1
35750 hernia epigastrica	1
35700 hernia inguinalis enkelzijdig	1
35740 h.cicatricialis	1
34638 dunne darmresectie	1
35512 proeflaparotomie	1
34738 dikke darmres. al dan niet met coecosto	1
38853 behandeling grote diepe abcessen	2
38942 klinische wondexcisie en wondtoilet	2
38943 wondexc./wondtoilet (na verwijzing)	1

Tabel 9: Operatiefrequentie