

Volgorde van operaties in OK

Wendy Chew

BWI-werkstuk

Vrije Universiteit te Amsterdam
Faculteit der Exacte Wetenschappen
Bedrijfskunde & Informatica
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam

Maart 2011

Voorwoord

Het schrijven van een BWI werkstuk is een verplicht onderdeel van de master opleiding Bedrijfswiskunde en Informatica. Het doel van het BWI werkstuk is zelfstandig een (literatuur)onderzoek doen, betreffende een onderwerp dat zowel maatschappelijke relevantie heeft als raakvlakken op het gebied van wiskunde en/of informatica.

Dit werkstuk gaat over de volgorde van operaties in OK's. In bestaande literatuur is naar heuristieken gezocht voor het bepalen van de volgorden van operaties in OK's waarbij bepaalde prestatie-maten geoptimaliseerd worden. Enkele experimenten zijn uitgevoerd in Excel door middel van simulatie met Crystal Ball waarbij sommige van de heuristieken zijn nagebootst.

Graag zou ik mijn begeleider, René Bekker willen bedanken voor zijn begeleiding tijdens het schrijven van dit werkstuk.

Samenvatting

Operatiekamers (OK's) zijn een grote kostenpost voor ziekenhuizen, daarom is het belangrijk dat de OK's zo optimaal mogelijk worden benut. In dit werkstuk is er gekeken welke volgorden van operaties in OK's voor de meest optimale resultaten zorgen voor bepaalde prestatie-maten, zoals bezetting en afzegging.

In bestaande literatuur zijn vanuit verschillende invalshoeken verschillende heuristieken gevonden die men gebruikt om de volgorde van operaties in OK's te bepalen. Er zijn gevallen gevonden waarbij men tegengestelde heuristieken aanbeveelt. De één beveelt operaties ordenen in aflopende duur aan en de ander in oplopende duur. De aanbevelingen verschillen, doordat in het eerste geval de bezettingsgraad in een OK veel zwaarder meeweegt dan andere prestatie-maten en in het tweede geval weegt het aantal afzeggingen juist zwaarder mee. Wat de gekozen prestatie-maten zijn en hoe belangrijk men deze vindt, leidt dus tot verschillende heuristieken. Voor het testen van de verschillende heuristieken heeft men in de literatuur in de meeste gevallen gebruikt gemaakt van echte data in tegenstelling tot de fictieve data die in dit werkstuk zijn gebruikt. Daarnaast zijn de situaties ook anders, waardoor sommige heuristieken in dit werkstuk als minder goed presterend kunnen overkomen dan in de literatuur.

Enkele experimenten zijn gesimuleerd in Excel met Crystal Ball waarbij gekeken is (in geval van één OK) in welke volgorde, de operaties het beste kunnen worden geordend gebaseerd op de resultaten van de volgende prestatie-maten, zoals afzegging, bezettingsgraad, uitloop en voorloop. Uit onderzoek is gebleken dat men operaties het beste in aflopende duur kan ordenen in een OK vergeleken met ordenen in oplopende duur, zodat de bezettingsgraad, uitloop en voorloop zo optimaal mogelijk zijn. Door operaties in aflopende duur te ordenen, zal het aantal afzeggingen wel meer zijn dan wanneer de operaties in oplopende duur worden geordend. Door operaties in oplopende standaarddeviatie van operatieduur te ordenen, verlaagt het de kans op lange wachttijden voor de patiënten. Daarnaast hebben we gezien dat de grootte van de witte vlek een belangrijke rol speelt. Door een witte vlek in te plannen om uitloop of spoed op te vangen, zal er minder afzeggingen zijn en de kans op uitloop neemt af.

Naast de experimenten voor één OK, zijn er ook nog drie andere experimenten gedaan waarbij vier OK's zijn betrokken. Naast de prestatie-maten die hierboven zijn genoemd, is er ook gekeken naar de volgende prestatie-maten: het aantal patiënten op de verkoeverkamer en min max BII. (De maximum break-in interval is het grootste interval tussen twee inbreekmomenten. Een inbreekmoment is een moment waarop een operatie is geëindigd en de volgende nog niet is begonnen. Op zo een moment is de OK in feite vrij en kan een spoedpatiënt plaatsnemen in de OK.) Uit de resultaten van de drie experimenten is gebleken dat heuristiek HIHD (operaties geordend als volgt: $x(1), x(3), \dots, x(n), \dots, x(4), x(2)$) het beste presteert op het maximum aantal patiënten op de verkoeverkamer. Terwijl LCF (Longest Case First) het beste presteert op uitloop en voorloop, en SCF (Shortest Case First) presteert juist het beste op het aantal afzeggingen. Als men een evenwicht wil tussen al de prestatie-maten, dan is heuristiek C1 (doel van C1 is om de inbreekmomenten voor spoed te maximaliseren en de grootte van het break-in interval te minimaliseren) het beste. In één

experiment presteert HIHD ook goed waarbij korte en lange operaties in dezelfde sessie plaatsvonden.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting.....	iii
Inhoudsopgave	v
1. Inleiding	1
2. Invalshoeken.....	2
2.1 Bezetting versus afzegging	2
2.2 Verkoeverkamer	4
2.3 Randvoorwaarden	6
2.4 Spoed	7
2.5 Overzicht relevante literatuur	12
3. Simulatie.....	13
3.1 Operatieduur	13
3.2 Standaarddeviatie	14
3.3 Variatiecoëfficiënt	15
3.4 Witte vlek	15
3.5 Inbreekmomenten en verkoeverkamer	17
3.5.1 Overzicht prestatie heuristieken.....	23
4. Conclusie	25
Literatuurlijst	27
Bijlage A.....	28
Bijlage B	28
Bijlage C	31
Bijlage D.....	34

1. Inleiding

Operatiekamers (OK's) zijn een grote kostenpost voor ziekenhuizen. Het is dus belangrijk dat de OK's zo optimaal mogelijk worden benut, zodat de kosten zo laag mogelijk worden gehouden. Om dit te kunnen bereiken is een goede OK planning erg belangrijk. Deze bestaat uit de volgende vier niveaus die Hans [13] beschrijft:

- Strategisch: capaciteit van OK personeel, medische instrumenten en OK's verdelen over de verschillende specialismen
- Tactisch: blok/slot planning, OK personeel planning, schedulen van shift en team, planning postoperatieve bedden
- Offline operationeel: toewijzen van operaties aan blokken, volgorde bepalen van operaties in OK, witte vlekken plannen
- Online operationeel: schedulen van spoedoperaties

In dit werkstuk kijken we naar OK planning op het offline operationele niveau, waarbij alleen gefocust wordt op de volgorde van operaties binnen OK's.

In hoofdstuk 2 gaan we kijken welke methoden er worden gebruikt voor het bepalen van de volgorde van operaties in de OK die in bestaande literatuur te vinden zijn waarbij bepaalde prestatieparameters worden geoptimaliseerd. We gaan kijken vanuit de volgende invalshoeken: afzegging versus bezetting, inbreekmomenten spoed, gevolgen andere afdeling (verkoever) en randvoorwaarden zoals patiënten van ver weg en kinderen.

Vervolgens gaan we in hoofdstuk 3 met behulp van simulatie kijken hoe operaties het beste kunnen worden geordend. We doen enkele experimenten waarbij de eerder genoemde prestatieparameters worden gesimuleerd. In het laatste hoofdstuk worden de conclusies die zijn getrokken in hoofdstuk 3 nog een keer op rij gezet.

2. Invalshoeken

In dit hoofdstuk gaan we vanuit verschillende invalshoeken kijken welke methoden men gebruikt om de volgorde van operaties in een OK te bepalen, die leiden tot een optimalisatie van een bepaalde prestatie maat. Wat de volgorde is van de operaties hangt in sterke mate af van de gekozen prestatie maat. We gaan kijken naar de volgende: afzegging versus bezetting, verkoeper, inbreekmoment spoed en randvoorwaarden (patiënten van ver, kinderen, operaties met hoge infectierisico's).

2.1 Bezetting versus afzegging

Bezetting en afzegging zijn twee prestatie maten die niet los van elkaar te zien zijn. Hoge bezettingsgraad kan voor uitloop zorgen en afzeggingen. Afzeggingen daarentegen kunnen voor voorloop zorgen, dus een lagere bezettingsgraad.

Er is sprake van uitloop wanneer de laatste operatie eindigt na het eind van de sessieduur (de totaal toegewezen tijd voor alle operaties die in een OK plaatsvinden). Uitloop die aan het begin van de dag is opgelopen, wordt doorgeschoven naar de volgende operaties. Soms is de uitloop zo groot, dat de witte vlek (tijd die gereserveerd is om uitloop en/of spoedgevallen op te vangen [6]) de uitloop niet kan opvangen en geplande operaties die in de middag zouden plaatsvinden, worden afgezegd. Maar het kan ook zo zijn dat de uitloop onvoldoende groot is, waardoor de geplande laatste operatie toch doorgaat. Dit betekent overwerk voor OK personeel en extra kosten voor het ziekenhuis.

Naast het feit dat uitloop kan zorgen voor afzeggingen, kunnen afzeggingen zorgen voor voorloop. Er is sprake van voorloop wanneer de laatste operatie eindigt voor het eind van de sessieduur. Als men denkt dat een operatie niet voor het eind van de sessieduur kan worden afgerond, dan wordt de operatie afgezegd waardoor er voorloop ontstaat en dat zorgt voor een lagere bezettingsgraad [8]. Afzegging van operaties kan veroorzaakt worden door uitloop of door spoedgevallen, maar ook wanneer een patiënt op het laatste moment afziet van de operatie, door gewijzigde medische conditie van patiënt, tekort aan postoperatieve bedden, geen chirurg beschikbaar of door communicatie fouten [4].

Denton et al. [1] hebben onderzoek gedaan hoe men operaties het beste kan ordenen zodat de wachttijd van patiënten, tijd dat OK ongebruikt is en de uitlooptijd worden geminimaliseerd. In dat artikel beschrijven ze een stochastisch optimalisatie model en heuristieken die hedgen tegen onzekerheid in operatieduur. Het model dat ze beschrijven is een stochastisch gemengd geheeltallig programmeringsmodel. Omdat deze moeilijk op te lossen is, hebben ze drie verschillende heuristieken gebruikt om de optimale oplossing te bepalen. Heuristiek 1 is operaties in een blok/slot ordenen gebaseerd op toenemende gemiddelde operatieduur, heuristiek 2 op toenemende variantie van operatieduur en heuristiek 3 op de toenemende variatiecoëfficiënt van de operatieduur. Naast deze drie heuristieken hebben ze ook nog een andere heuristiek gebruikt, namelijk de verwissel heuristiek (lokaal zoeken). Deze wordt gebruikt in geval het aantal gevallen te groot wordt, waardoor de drie heuristieken niet in staat zijn om tot een optimale oplossing te komen in redelijke rekentijd. De heuristiek begint met de oorspronkelijke volgorde van operatie en berekent de optimale starttijd van operaties. Bij elke iteratie wordt gekeken naar random

paarsgewijze wisselingen; als deze een betere oplossing oplevert, wordt deze wissel geaccepteerd. Uit hun resultaten is gebleken dat heuristiek 2 het beste presteert met prestatie-maten uitlooptijd, onderbezetting en wachttijd patiënt. In deze heuristiek worden operaties geordend in toenemende variantie van operatieduur. Het minimaliseert de kans op wachttijd later op de dag, dus ook op mogelijke uitloop van operaties. Zoals eerder is gezegd, kan uitloop zorgen voor afzeggingen van operaties. Dus als uitloop zoveel mogelijk wordt geminimaliseerd, dan neemt de kans op het aantal afzeggingen ook af. In de praktijk worden juist lange, variabele operaties aan het begin van de dag uitgevoerd.

Ait Haddou Ou Ali et al. [7] hebben een onderzoek gedaan naar de volgorde van operaties in een OK waarbij de bezettingsgraad en het aantal afzeggingen als prestatie-maten worden genomen. Hier hebben ze gebruikt gemaakt van een simulatiemodel. Ze hebben twee scenario's onderzocht, gebaseerd op echte data (uit onderzoek is gebleken dat de operatieduur het meest dicht bij de normale verdeling zit). In het eerste scenario hebben ze onderzocht of het beter is om lange en korte operaties in aparte OK's te laten plaatsvinden. Uit de resultaten die ze hebben verkregen, concludeerden ze dat het beter is om korte en lange operatieduren te scheiden. In het tweede scenario hebben ze de volgorde van operaties in een sessie onderzocht. Ze gebruiken drie methoden, namelijk: ordenen in oplopende operatieduur, ordenen in aflopende operatieduur en willekeurig. Uit hun resultaten bleek dat de laatste twee methoden dezelfde bezettingsgraad van 81% opleveren, 7% hoger dan de eerste manier. Manier 1 leidt wel tot lagere afzeggingen (>10% minder dan manier 2 en 3). Hieruit concludeerden ze dat het beter is om operaties in oplopende duur te ordenen binnen een sessie.

Een jaar later hebben Bekele et al. [8] ook onderzocht wat de beste operatievolgorde is met prestatie-maten bezettingsgraad, uitloop en afzeggingen. Ook hier hebben ze een simulatiemodel gebruikt en de twee scenario's van Ait Haddou Ou Ali et al. [7] onderzocht met de aanname dat de operatieduur normaal verdeeld is. Daarnaast is in Bekele et al. [8] nog onderzocht wat het verschil in prestaties is, wanneer de volgorde wordt gebaseerd op standaarddeviaties. Ze concludeerden dat operaties het beste kunnen worden geordend in een OK in oplopende standaarddeviatie en dit komt overeen met de resultaten van Denton et al. [1]. En operaties kunnen het beste op aflopende operatieduur worden uitgevoerd in een OK. Dit in tegenstelling tot het de onderzoek van Ait Haddou Ou Ali et al. [7].

Jebali et al. [11] introduceerden een twee-staps benadering voor OK planning. In stap 1 worden de operaties toegewezen aan OK's waarbij het doel is om de kosten voor uitloop, voorloop en wachttijd van patiënt in OK te minimaliseren. Stap 2 is het ordenen van de operaties in de OK met als doel de uitlooptijd te minimaliseren. Stap twee bestaat uit twee strategieën: 1. toegewezen operaties aan OK's worden in de oorspronkelijke volgorde uitgevoerd en 2. toegewezen operaties aan OK's worden hergeordend (voor betere OK benutting). Jebali et al. [11] hebben stap 1 als een gemengd geheeltallig programmeringsprobleem gemodelleerd. Uit de resultaten van hun onderzoek is gebleken dat strategie 1 in stap 2 goede resultaten oplevert. Jebali et al. [11] zeggen dat de kosten van een goede toewijzing niet veel zou moeten verschillen vergeleken met stap 2 in strategie 2. En uit de resultaten is dat ook gebleken.

2.2 Verkoeverkamer

De verkoeverkamer is een afdeling waar patiënten verblijven die net een operatie hebben ondergaan waarbij de patiënt onder narcose is geweest. Op deze afdeling worden de patiënten streng bewaakt en gecontroleerd op vitale functies. Ze slapen hier uit totdat ze voldoende zijn hersteld van de narcose. Vervolgens, met toestemming van de chirurg, worden ze weer terug gebracht naar de verpleegafdeling. De patiënten verblijven meestal een paar uur op de verkoeverkamer, afhankelijk van de operatie. In sommige gevallen wordt de patiënt naar de afdeling Intensive Care gebracht in plaats van de verpleegafdeling. Dit in gevallen van grote, complexe operaties [5].

De instroom van patiënten vanuit de OK's naar de verkoeverkamer is geheel afhankelijk van de operatievolgorde. Dus de werkdruk van het personeel op deze afdeling is hier geheel van afhankelijk. In het volgende voorbeeld laten Dexter et al. [2] zien dat verschillende volgordes van operaties tot een andere werkdruk van verpleging op de verkoeverkamer leiden.

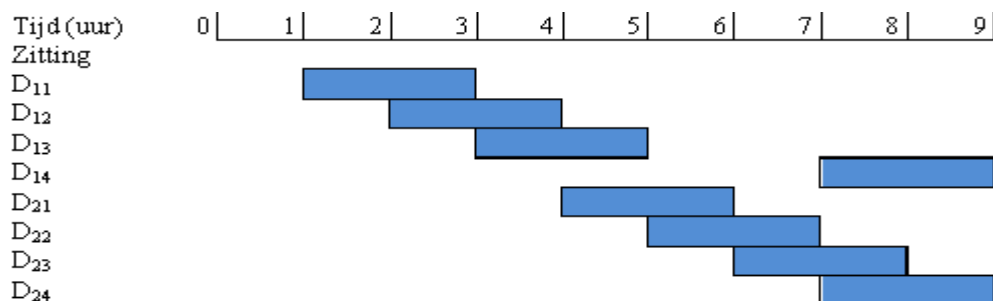
Voorbeeld (Dexter et al. [2])

Stel er zijn twee OK's en twee chirurgen. Beide hebben vier operaties, drie van de operaties duren 1 uur en één duurt 4 uur. Er wordt aangenomen dat de verblijftijd van alle patiënten in de verkoeverkamer twee uur is. Er wordt gekeken naar twee situaties. In situatie 1 worden in OK1 eerst de korte zittingen uitgevoerd en vervolgens de lange zitting en in OK2 het omgekeerde. In situatie 2 worden zowel in OK1 als OK2 de korte zittingen eerst uitgevoerd en vervolgens de lange zitting.

Situatie 1

OK1	OK2
D ₁₄	D ₂₄
	D ₂₃
	D ₂₂
D ₁₃	D ₂₁
D ₁₂	
D ₁₁	

Tabel 1.



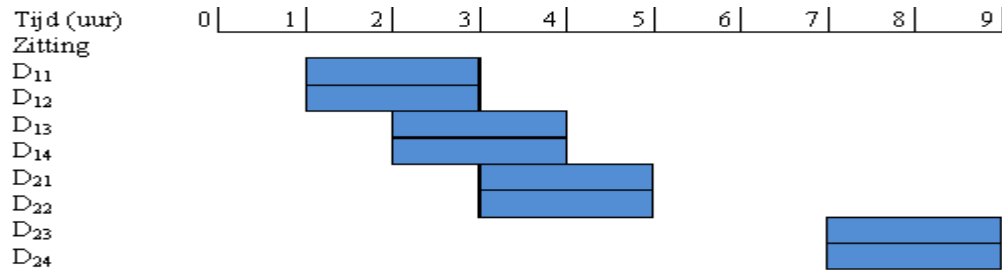
Figuur 1. Verblijf aantal patiënten op verkoeverkamer in situatie 1

In figuur 1. is het aantal patiënten die aanwezig zijn in de verkoeverkamer weergegeven in geval van situatie 1. Uit de figuur is af te lezen dat het maximaal aantal patiënten op de verkoeverkamer drie is.

Situatie 2

OK1	OK2
D ₁₄	D ₂₄
D ₁₃	D ₂₃
D ₁₂	D ₂₂
D ₁₁	D ₂₁

Tabel 2.



Figuur 2. Verblijf aantal patiënten op verkoeverkamer in situatie 2

In tabel 2 en figuur 2. is situatie 2 weergegeven waarbij eerst de korte zittingen worden uitgevoerd. In figuur 2 is te zien dat het maximale aantal patiënten die in de verkoeverkamer verblijven vier is. Door eerst de korte zittingen uit te voeren, wordt de wachttijd van de patiënten geminimaliseerd, maar dit leidt het tot een hogere werkdruk dan in situatie 1. Uit situaties 1 en 2 is te concluderen dat de volgorde waarin de zittingen uitgevoerd worden, gevolgen heeft voor de verkoeverkamer. Uit situatie 2 is te concluderen dat korte zittingen niet allemaal aan het begin of eind van dag moeten plaatsvinden, want het leidt tot grotere pieken in het aantal patiënten die in de verkoeverkamer zijn. Patiënten die lang moeten verblijven in de verkoeverkamer, zouden het beste aan het begin van de sessie gepland worden [3], maar dit gaat ten koste van de wachttijd van andere patiënten. En de piek van het aantal patiënten vindt dan in de middag plaats. Naast de verkoeverkamer zouden ook andere afdelingen zoals de verpleegafdeling en de afdeling Intensive Care in verschillende situaties verkeren door de volgorde van zittingen. We hebben hier alleen gefocust op de verkoeverkamer, omdat de meeste patiënten die narcose hebben gehad na de operatie direct naar deze afdeling gaan. Op deze afdeling verblijft men voor een bepaalde tijd die afhangt van de soort operatie.

We hebben gezien dat verschillende volgorden van operaties leiden tot verschillende werkdruk op de verkoeverkamer. Dexter en Marcon [10] hebben een simulatiestudie gedaan en onderzocht wat het effect is van de operatievolgorde op de verkoeverkamer/personeel en OK uitlooptijd gebaseerd is op zeven regels. De zeven regels zijn als volgt:

1. willekeurig (de volgorde van de operaties is volgens de volgorde waarop het in het OK informatie systeem is ingevoerd)
2. kortste operatieduur eerst; oplopende operatieduur (SCF)
3. langste operatieduur eerst; aflopende operatieduur (LCF)
4. Johnson's regel, hier wordt de hersteltijd in de verkoeverkamer meegenomen in het ordenen van operaties. De regel gaat als volgt: zet alle operaties met corresponderende verblijftijd in de verkoeverkamer in een lijst en selecteer een kortste tijd uit de lijst, als de geselecteerde tijd een operatieduur is, plan deze zo

vroeg mogelijk op dag in en als de geselecteerde de verblijftijd is, laat deze zo laat mogelijk op de dag plaatsvinden, en dit herhalen totdat alle operaties geselecteerd zijn

5. half toename half afname (HIHD); operatieduur ordenen op volgende manier: kortste, twee na kortste, vier na kortste,..., langste, ..., drie na kortste, een na kortste
6. half afname half toename (HDHI); langste, twee na langste, vier na langste, ..., kortste, ..., drie na langste, een na langste
7. mix: kortste, langste, een na kortste, een na langste, twee na kortste, twee na langste, etc.

Zowel de verdeling van de operatieduur als de verblijftijd op de verkoeverkamer, hebben ze in hun simulatiestudie lognormaal genomen. Uit de analyse concluderen ze dat LCF en HDHI het slechtste presteren op uitlooptijd en het aantal patiënten per uur op de verkoeverkamer/het aantal benodigde personeel, dit in tegenstelling tot HIHD en MIX. Deze zorgen voor de laagste piek van patiënten op de verkoeverkamer en minste uitlooptijd. Betreft de Johnson's regel presteert deze even slecht als LCF en HDHI op uitlooptijd, maar zorgt wel voor een lagere piek van patiënten op de verkoeverkamer vergeleken met LCF en HDHI.

2.3 Randvoorwaarden

In het chirurgisch dagcentrum van de UZ Leuven Campus Gasthuisberg worden patiënten op dezelfde dag opgenomen, geopereerd en ontslagen. Deze patiënten worden "outpatients" genoemd. Patiënten komen ruim van te voren op de dag van de operatie en melden zich. Vervolgens worden ze voorbereid op de operatie en na de operatie gaan de patiënten op dezelfde dag naar huis. De operaties die in het dagcentrum worden uitgevoerd, zijn geen moeilijk operaties en er komt weinig onzekerheid kijken. Daarom wordt de duur van deze operaties als deterministisch beschouwd. [9]

Voor het bepalen van de volgorde van de operaties in het dagcentrum, moet er rekening gehouden worden met bepaalde randvoorwaarden, zoals operaties van kinderen jonger dan zes jaar en prioriteitspatiënten vroeg op de dag laten plaatsvinden. Maar ook randvoorwaarden als patiënten van ver niet voor een bepaald tijdstip inplannen, minimalisatie van de piek in het aantal bezette bedden in de verkoeverkamer (PACU) 1&2 en minimalisatie van de verblijfsduur in PACU 2. In PACU 1 verblijven de patiënten totdat ze weer bij bewustzijn zijn en in PACU 2 verblijven de patiënten in bed totdat ze door de chirurg worden ontslagen. Cardoen et al. [9] formuleren dit als een multi-criteria combinatorische optimalisatie probleem. Omdat dit probleem NP-moeilijk is, hebben ze met behulp van gemengd geheeltallig lineair programmering (MILP) en heuristische gekeken welke methode beter presteert waarbij in de criteriumfunctie de randvoorwaarden zijn opgenomen. Bij de criteriumfunctie horen ook restricties en een van de restricties is MRSA. Als een MRSA patiënt een operatie heeft ondergaan, is het nodig om de OK extra grondig schoon te maken met een speciale vloeistof (tenzij de volgende ook een MRSA patiënt is). Deze vloeistof moet opgedroogd zijn voordat de OK weer gereed is voor de volgende operatie. De inactieve periode van de OK neemt 30 minuten in beslag.

Cardoen et al. [9] hebben drie varianten van MILP gebruikt om de volgorde van de operaties te bepalen, namelijk basis MILP, voorverwerkte MILP en iteratieve MILP. Om de basis MILP te formuleren hebben ze een beslissingsvariabele geïntroduceerd. De voorverwerkte MILP is opgedeeld in drie niveaus. Het eerste niveau bestaat uit het afstemmen van parameters (aanpassen van sommige CPLEX gebaseerde parameters). Het tweede niveau is het exploiteren van MRSA eigenschappen. Patiënten met MRSA vereenvoudigen het ordenen van operaties, want wanneer de operaties van MRSA patiënten achterelkaar plaatsvinden, is het niet nodig om de OK extra grondig schoon te maken en zal dus het aantal inactieve perioden worden gereduceerd die in het model als operaties worden gezien. En het derde niveau is het identificeren van toegestane operatie starttijden. Hier wordt het als een veelvoudig knapzak probleem gezien. De vraag is als een operatie op een bepaald tijdstip wordt gepland, passen de resterende operaties dan nog in de resterende tijd van blok/slot s. Naast basis MILP en voorverwerkte MILP hebben ze ook nog iteratieve MILP gebruikt en iteratieve Branch-and-Bound (B&B). De iteratieve MILP begint met de voorverwerkte MILP en de starttijden van een bepaalde groep van operaties worden dan vervolgens iteratief vastgesteld.

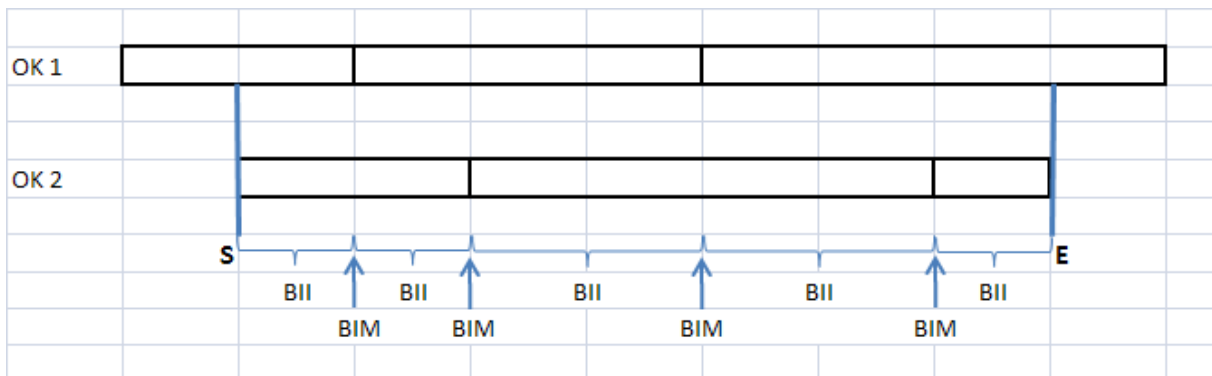
Voor het testen van de verschillende methoden, hebben Cardoen et al. [9] echte data gebruikt. Uit hun resultaten is gebleken dat de MILP methoden vrij goed presteren, maar basis MILP is in het onderzoek in 4% van de gevallen niet in staat om ten minste een toegelaten oplossing te vinden, terwijl dit bij de andere twee MILP methoden 0% van de gevallen is. Omdat iteratieve MILP en iteratieve B&B heuristische zijn en niet in staat zijn om te bewijzen dat de gevonden oplossing de optimale oplossing is, hebben ze het percentage gevallen waarbij de kloof tussen de optimale en de verkregen oplossing gelijk is aan nul vergeleken. Hieruit bleek dat iteratieve MILP veel beter presteert dan iteratieve B&B.

2.4 Spoed

Naaste electieve operaties zijn er ook urgente operaties, dat zijn operatie die niet van tevoren worden ingepland. Van der Lans et al. [6] hebben onderzocht of men spoed het beste kan opvangen met wel of geen spoed OK's. Ze concludeerden uit hun simulatiestudie dat het beter is om geen spoed OK's te hebben. Bij acht of meer OK's presteren spoed OK's slechter dan geen spoed OK's betreft de wachttijd van de spoedpatiënt, uitloop en bezettingsgraad van de OK. Geen spoed OK's betekent dus dat de spoedoperaties in de OK's van electieve operaties moeten plaatsvinden. Electieve operaties moeten dus uitwijken voor spoed en hierdoor moeten operaties worden uitgesteld tot later op dag of zelfs worden afgezegd. Maar wanneer alle OK's bezig zijn met een operatie, dan moet de spoedpatiënt wachten totdat een van de OK's vrijkomt. Daarnaast hebben ze ook nog onderzocht hoe de spoedoperaties zo goed mogelijk kunnen worden opgevangen. Ze concluderen dat het beste is om witte vlekken (tijd gereserveerd voor geval van spoedoperatie of uitloop) in te plannen in alle OK's zodat spoedoperaties zo goed mogelijk kunnen worden opgevangen.

Naast wel of geen spoed OK's hebben ze ook onderzocht hoe de wachttijd van spoedpatiënten kan worden geminimaliseerd, want een operatie die gaande is kan niet worden onderbroken. Het is belangrijk dat de wachttijd van een spoedpatiënt voor een OK zo kort mogelijk is, daarom is het belangrijk dat operaties in een bepaalde volgorde in OK's worden gepland waarbij er zoveel mogelijk inbreekmomenten zijn en de tijd tussen

inbreekmomenten zo kort mogelijk is. Een inbreekmoment is een moment waarop een operatie in een OK is geëindigd en de volgende operatie nog niet is begonnen. Op zo een moment kan een spoedoperatie plek nemen in de OK. Om de inbreekmomenten tussen de electieve operaties te optimaliseren hebben Van der Lans et al.[6] en Hans [12, 13] constructieve heuristieken gebruikt en lokale zoekmethodes om de resultaten van de constructieve heuristieken te verfijnen. Ze hebben drie heuristieken gebruikt, namelijk kortste operatieduur eerst (SCF), heuristiek C1 en C2. In heuristiek C1 en C2 wordt een ondergrens berekend voor het minimaliseren van de maximum break-in interval (BII). Die ondergrens noemen ze $\lambda = \frac{(E - S)}{1 + \sum_{j \in J} (M_j - 1)}$, waarbij S de laatste starttijd is van alle OK's, E de vroegste eindtijd van alle OK's, M_j het aantal operaties in OK j.



Figuur 3. de derde en vierde BII zijn hier het grootste, met de heuristieken C1 en C2 wordt er geprobeerd om de operaties zo te plannen dat de maximum BII zo klein mogelijk is

We gaan nu kijken naar de heuristieken voor het optimaliseren van de inbreekmomenten die Van der Lans et al.[6] en Hans [12, 13] hebben gebruikt.

Heuristiek C1 (Van der Lans et al. [6]) gaat als volgt:

- Bereken λ
- Voorwaarts ordenen: kies een operatie die nog niet is geordend van een OK met een eindtijd die het meest dichtbij de eindtijd is van een al voorwaarts geordende operatie in een van de OK's + λ en orden het in de betreffende OK. Als er nog geen voorwaarts geordende operatie is, kies een ongeordende operatie van een OK met een eindtijd meest dichtbij de laatste starttijd van alle OK's + λ
- Achterwaarts: kies een operatie die nog niet is geordend van een OK met starttijd meest dichtbij de starttijd van de operatie die al achterwaarts is geordend - λ en orden deze achterwaarts. Als er nog geen enkele operatie die achterwaarts is geordend, kies een ongeordende operatie van een OK met starttijd zo dicht mogelijk bij de vroegste eindtijd van alle OK's - λ
- Twee laatste stappen herhalen totdat alle operatie geordend zijn

Heuristiek C2 (Van der Lans et al.[6]):

Deze heuristiek is gebaseerd op kortste operatie eerst (SCF) en hier wordt er geprobeerd om de operaties zo te ordenen in de OK dat de eindtijd van de operaties buiten $\frac{1}{2} \lambda$ valt en niet overeenkomt met de eindtijd van een al geordende operatie in een OK.

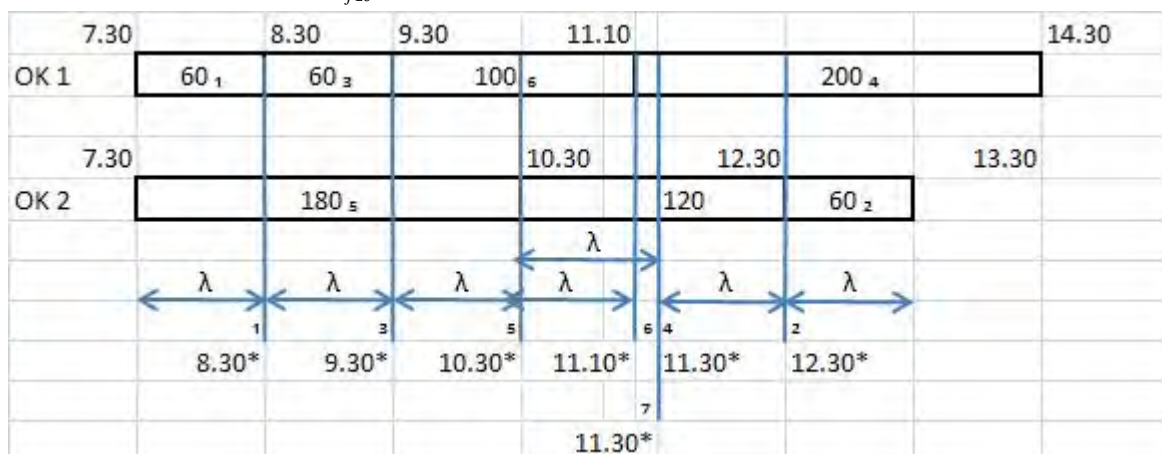
- Bereken λ

- Kies OK met het hoogst aantal operaties en orden deze volgens SCF
- Kies van de overige OK's de OK met het hoogst aantal operaties en orden deze volgens SCF tenzij de eindtijd binnen de $\frac{1}{2} \lambda$ valt van S of als er al een geordende operatie is met dezelfde eindtijd in een van de OK's. In dat geval, orden de eerste operatie in SCF van deze OK waarbij de eindtijd buiten $\frac{1}{2} \lambda$ valt van S of $\frac{1}{2} \lambda$ buiten een eindtijd van een al geordende operatie valt in een van de OK's. Als geen van de overgebleven operaties voldoet aan deze eis, orden de operatie met het grootste absolute verschil tussen de eindtijd van deze operatie en S of de dichtstbijzijnde eindtijden van een van de al geordende operaties
- Herhaal laatste stap totdat alle operaties in alle operaties in de OK's zijn geordend.

Voorbeeld

Stel we hebben twee OK's. In OK1 zijn vier operaties {60, 60, 100, 200} toegewezen en OK2 zijn er drie operaties {60, 120, 180}. Beide OK's beginnen om 7.30 uur, OK1 eindigt om 14.30 uur en OK2 eindigt om 13.30 uur. Er wordt aangenomen dat de geschatte operatieduur gelijk is aan de werkelijke operatieduur. De OK's eindigen precies op tijd. We passen heuristieken

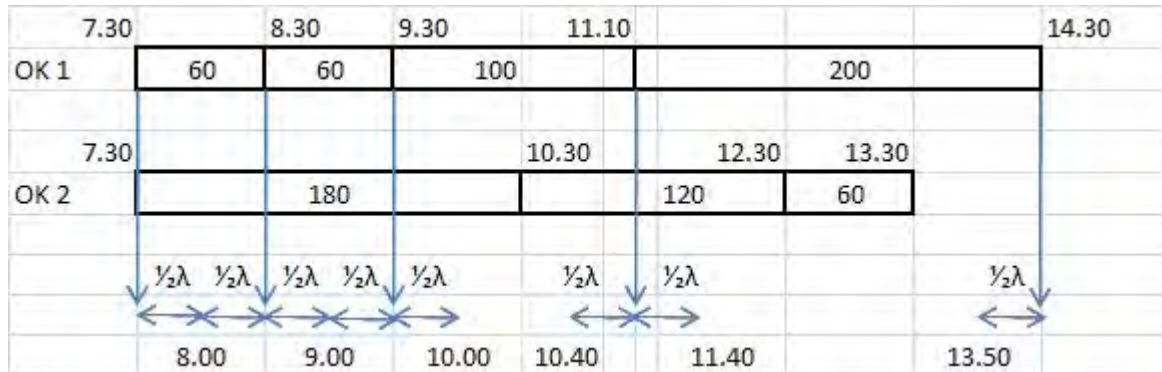
C1 en C2 toe met $\lambda = \frac{(E - S)}{1 + \sum_{j \in J} (M_j - 1)} = \frac{(13.30 - 7.30)}{1 + (4 - 1 + 3 - 1)} = \frac{6 * 60}{6} = 60 \text{ min}$ en $\frac{1}{2} \lambda$ is 30 min.



Figuur 4. BIM optimalisatie met heuristiek C1 (voorwaarts geordend: oneven nummers, achterwaarts geordend: even nummers)

Door het toepassen van heuristiek C1 hebben we de figuur hierboven gekregen. De operaties worden iteratief voorwaarts en achterwaarts geordend in de OK's. Allereerst wordt een operatie geselecteerd waarvan de eindtijd het meest dichtbij de laatste starttijd van alle OK's + λ ligt. Hier in het voorbeeld liggen de operaties met operatieduur 60 min het meest dichtbij de laatste starttijd (7.30 uur) + λ . Omdat er hier twee operaties zijn uit verschillende OK's even dichtbij de laatste starttijd + λ ligt, wordt de operatie van OK1 genomen om voorwaarts te ordenen. (Als de operatie van OK2 eerst voorwaarts wordt geordend, krijgen we uiteraard een andere volgorde van operaties als eindresultaat.) Vervolgens volgt achterwaarts ordenen. Omdat er nog geen enkele operatie achterwaarts is geordend, wordt een operatie geselecteerd waarvan de starttijd het meest dichtbij de vroegste eindtijd (13.30 uur) van alle OK's - λ ligt. Er wordt dus gekeken welke operatie starttijd heeft die het meest dichtbij 12.30 uur ligt. Hier is het een operatie (van 60 min) in OK2. Daarna wordt er weer voorwaarts een operatie geordend en weer wordt er gekeken welke van de nog ongeordende operaties in de OK's met eindtijd meest dichtbij de als laatste voorwaartse geordende operatie + λ ligt. Vervolgens volgt weer achterwaarts

ordenen. Weer wordt er gekeken welke van de ongeordende operaties in beide OK's een starttijd hebben die het meest dichtbij de starttijd van de laatst achterwaarts geordende operatie - λ ligt. Dit wordt herhaald totdat alle operaties geordend zijn. Hierboven is de laatste operatie die geordend is, is de operatie van 120 min in OK2.



Figuur 5. BIM optimalisatie met heuristiek C2

In figuur 5 zien we het resultaat van heuristiek C2. OK1 heeft het hoogst aantal operaties en dus worden de operaties in deze OK geordend volgens SCF. De volgorde van de operaties in OK2 wordt zo gekozen dat de eindtijden van de operaties in OK2 niet samenvallen met de eindtijden in OK1 en ook niet binnen $\frac{1}{2} \lambda$ vallen. In OK2 is de operatie van 180 min eerst geordend, omdat de eindtijd van de andere twee operaties al in OK1 voorkomen. Vervolgens is de operatie van 120 min als tweede geordend. Dit is omdat de eindtijd van de andere operatie binnen $\frac{1}{2} \lambda$ valt.

C1		C2	
BIM	BII	BIM	BII
7.30		7.30	
	60		60
8.30		8.30	
	60		60
9.30		9.30	
	60		60
10.30		10.30	
	40		40
11.10		11.10	
	80		80
12.30		12.30	
	60		60
13.30		13.30	

Tabel 3. BII heuristiek C1 en C2

In tabel 3 is af te lezen dat beide heuristieken dezelfde BII opleveren in dit voorbeeld. De minimum max BII van beide heuristieken is 80 minuten.

Voor het testen welke van de heuristieken SCF, C1 en C2 voor de kleinste max BII zorgt, hebben Van der Lans et al. [6] en Hans [12, 13] gekeken naar 12 gevallen. Elk geval is een

unieke combinatie van drie parameters, namelijk: het aantal OK's (4, 8 en 12), de soort operatie (mix A: lange operatie met vrij onzekere duur en mix B: korte operatie met vrij zekere duur) en operatie flexibiliteit (alle operatie volgorden zijn toegestaan in OK, ingeval van bijvoorbeeld jonge patiënt of MRSA patiënt, dan is er beperkte flexibiliteit). Uit resultaten van Van der Lans et al. [6] en Hans [12, 13] is gebleken dat heuristiek C2 voor een kleinere maximum BII zorgt in vergelijking met de heuristieken C1 en SCF. Betreffende de rekentijd verschilt heuristiek C2 met de heuristieken C1 en SCF zeer weinig (0.0001 sec). Als heuristiek C2 wordt verfijnd met de steepest descent methode en simulated annealing, levert de laatste methode een veel kleinere maximum BII op, maar dit gaat wel ten koste van de rekentijd.

Van der Lans et al. [6] en Hans [12, 13] concluderen uit hun simulatiestudie dat de wachttijd voor spoed met optimalisatie van inbreekmomenten korter is dan zonder optimalisatie (het levert kortere BII op), vooral voor het eerste spoedgeval is de wachttijd waarbij patiënt minder dan 10 minuten hoeft te wachten, toegenomen van 29% naar 49%.

2.5 Overzicht relevante literatuur

Artikel/Working paper/Bedrijfs-case	Bezetting	Uitloop	Afzegging	Verkoeverkamer	Spoed	Heuristiek
OK-planning afdeling Heelkunde VUmc (Ait Haddou Ou Ali et al. [7])	x	x	x		x	Oplopende standaarddeviatie van operatieduur
OK planning afdeling heelkunde VUmc (Bekele et al [6])	x	x	x			Aflopende operatieduur
Operating rooms scheduling (Jebali et al. [11])	x	x				Twee-staps MIP
Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem (Cardoen et al. [9])		x		x		Iteratieve MILP
Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing (Marcon en Dexter [10])				x		HIHD, MIX
Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty (Denton et al. [1])	x	x				Oplopende variantie van operatieduur
Anticipating urgent surgery in operating room departments (Van der Lans et al. [6])					x	C2 met simulated annealing

3. Simulatie

In dit hoofdstuk worden sommige heuristische die in hoofdstuk 2 zijn besproken, nagebootst. Deze worden in Excel gesimuleerd met behulp van Crystal Ball. In het eerste deel gaan we kijken of de operaties in één OK het beste kan worden geordend in oplopende/aflopende operatieduur ($E[\text{operatieduur}]$), oplopende/aflopende standaarddeviatie (stdev) van operatieduur en oplopende/aflopende variatiecoëfficiënt ($c = \text{standaarddeviatie operatieduur} / \text{verwachting operatieduur}$). Welke beter is, wordt gebaseerd op resultaten van de volgende prestatie-maten: uitloop (= gemiddelde uitloop gegeven als er uitloop is), voorloop (= gemiddelde voorloop gegeven als er voorloop is), afzeggings- en bezettingsgraad.

In het tweede deel kijken we naar vier OK's waarbij we kijken naar de min max BII en het aantal patiënten op de verkoeverkamer. Ook hier kijken we naar dezelfde prestatie-maten en simuleren we 10.000 keer.

Er is aangenomen dat alle operatieduren normaal verdeeld zijn. De gebruikte operatieduren zijn allemaal inclusief wisseltijden. Dat zijn perioden waarin men de OK's schoonmaakt en voorbereid op de volgende operatie. Ook is er aangenomen dat operaties worden afgezegd als de resttijd kleiner is dan de verwachte duur van de nog uit te voeren operaties.

3.1 Operatieduur

Om te testen of het beter is operaties in oplopende of aflopende duur in te plannen, wordt er in het volgende experiment de standaarddeviatie van de operatieduur constant gehouden waarbij de operatieduur varieert. Omdat de standaarddeviatie constant wordt gehouden, varieert de variatiecoëfficiënt. Bij toenemende operatieduur, neemt de variatiecoëfficiënt af en bij afnemende operatieduur geldt dat de variatiecoëfficiënt toeneemt.

$E[\text{operatieduur}]$	stdev	c	$E[\text{operatieduur}]$	stdev	c
240	20	0,08	60	20	0,33
120	20	0,17	60	20	0,33
60	20	0,33	120	20	0,17
60	20	0,33	240	20	0,08

Tabel 3.1 volgorde van operaties gebaseerd op de verwachte duur

<i>Gemiddelde</i>	<i>Aflopende $E[\text{operatieduur}]$</i>	<i>Oplopende $E[\text{operatieduur}]$</i>
#Afzeggingsen	0,52	0,50
Bezettingsgraad	93,30%	74,69%
Kans op uitloop > 0 min	0,12	0,08
Kans op voorloop > 0 min	0,88	0,92
Uitloop (min)	12,26	12,37
Voorloop (min)	36,55	132,43

Tabel 3.2 resultaten voor aflopende en oplopende verwachte operatieduur

In tabel 3.2 zijn de resultaten van de prestatie-maten te zien waarbij de sessie volledig is vol gepland en de standaarddeviatie constant wordt gehouden.

We zien dat voor aflopende (oplopende) verwachte operatieduur (variatiecoëfficiënt), voorloop en de bezettingsgraad beter is dan wanneer de verwachte operatieduur in oplopende volgorde wordt uitgevoerd bij een constante standaarddeviatie.

De voorloop is bij aflopende kleiner dan bij oplopend, maar dat is logisch want als een lange operatie wordt afgezegd, krijgt men een grotere voorloop dan wanneer een korte operatie wordt afgezegd. Het aantal afzeggingen is bij aflopend iets meer dan bij oplopend, dit komt doordat er meer korte operaties worden afgezegd. Als bijvoorbeeld de resttijd 50 min is, dan worden bij aflopend de laatste twee operaties van 60 min afgezegd, terwijl bij oplopende slechts één operatie van 240 min wordt afgezegd en deze geeft een voorloop van 190 min en aflopend levert het een voorloop van 50 min. Betreft de uitloop verschilt het niet veel van elkaar.

We concluderen uit de bovenstaande resultaten dat het beter is om operatie te plannen volgens aflopende duur, als we kijken naar de bezettingsgraad, uitloop en voorloop. Dit komt overeen met de conclusie die Bekele et al. [8] trokken. In het geval als het aantal afzeggingen veel zwaarder meeweegt, dan zou het beter zijn om operaties in oplopende duur te ordenen. Naast het feit dat dit voor een lager aantal afzeggingen zorgt, minimaliseert het ordenen in oplopende duur de wachttijd van de patiënten.

3.2 Standaarddeviatie

Als tweede kijken we naar de standaarddeviatie van de operatieduur waarbij de verwachte operatieduur constant wordt gehouden.

E[operatieduur]	stdev	c	E(operatieduur)	stdev	c
120	30	0,25	120	10	0,08
120	30	0,25	120	10	0,08
120	10	0,08	120	30	0,25
120	10	0,08	120	30	0,25

Tabel 3.3 operaties ordenen op aflopende en oplopende standaarddeviaties

<i>Gemiddelde</i>	<i>Aflopende stdev</i>	<i>Oplopende stdev</i>
#Afzeggingen	0,51	0,50
Bezettingsgraad	87,43%	86,84%
Kans op uitloop > 0 min	0,04	0,11
kans op voorloop > 0 min	0,96	0,89
Uitloop	5,78	19,66
Voorloop	62,53	71,30

Tabel 3.4 resultaten gebaseerd op aflopende en oplopende standaarddeviaties

Hierboven zien we dat de volgorde van operaties in een OK gebaseerd op standaarddeviatie, waarbij de verwachte operatieduur constant wordt gehouden. Er kan geconcludeerd worden dat het beste is om de operaties in aflopende standaarddeviaties te ordenen. Ook hier is de sessie volledig vol gepland. Drie van de vier prestatie-maten presteren beter dan wanneer de operaties in oplopende standaarddeviaties worden gepland.

Wat we hier concluderen, komt niet overeen met de conclusie die Bekele et al. [8] hebben getrokken. Bekele et al. [8] hebben ook aangenomen dat de operatieduren normaal verdeeld zijn en ze zeggen een operatie af als de verwachte operatieduur > resttijd + 5 min. Denton et al. [1] zeggen dat het beter is om operaties in oplopende standaarddeviatie te ordenen, want het ordenen in oplopende standaarddeviatie zorgt voor kortere wachttijd voor de volgende operaties, dus kortere wachttijd voor de patiënten.

3.3 Variatiecoëfficiënt

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van de operatieduur en standaarddeviatie. In de volgende experiment kijken we wat het effect is op de prestatie-maten als de variatiecoëfficiënt constant worden gehouden voor alle operaties.

E[operatieduur]	stdev	c	E[operatieduur]	stdev	c
240	48	0,20	60	12	0,20
120	24	0,20	60	12	0,20
60	12	0,20	120	24	0,20
60	12	0,20	240	48	0,20

Tabel 3.5 constante variatiecoëfficiënt met bijhorende verwachte operatieduur en standaarddeviatie

<i>Gemiddelde</i>	<i>Aflopende E[operatieduur]</i>	<i>Oplopende E[operatieduur]</i>
#Afzeggingen	0,64	0,51
Bezettingsgraad	91,83%	73,98%
Kans op uitloop > 0 min	0,06	0,16
Kans op voorloop > 0 min	0,94	0,84
Uitloop (min)	7,78	32,92
Voorloop (min)	41,78	148,49

Tabel 3.6 resultaten gebaseerd op constante variatiecoëfficiënt

Hoewel er meer afzeggingen zijn als de operaties op aflopende operatieduur worden uitgevoerd bij een constante variatiecoëfficiënt, leidt het wel tot een hogere bezettingsgraad van de OK, kortere uitloop en voorloop.

3.4 Witte vlek

Een witte vlek wordt gebruikt om uitloop op te vangen. In deze paragraaf wordt er gekeken wat het effect is als er een witte vlek is ingepland. Eerst wordt er gekeken naar een situatie zonder witte vlek, vervolgens één met een witte vlek van 40 min en als laatste met een witte vlek van 60 min.

E[operatieduur]	stdev	c	E[operatieduur]	stdev	c
240	40	0,20	60	20	0,33
120	30	0,25	60	20	0,33
60	20	0,33	120	30	0,25
60	20	0,33	240	40	0,20

Tabel 3.7 volgorde van operaties in OK zonder witte vlek

Gemiddelde	Aflopende E[operatieduur]	Oplopende E[operatieduur]
#Afzeggingen	0,62	0,50
Bezettingsgraad	91,91%	74,29%
Kans op uitloop > 0 min	0,10	0,12
Kans op voorloop > 0 min	0,90	0,88
Uitloop (min)	12,51	25,89
Voorloop (min)	43,32	140,45

Tabel 3.8 resultaten zonder witte vlek

E[operatieduur]	stdev	c	E[operatieduur]	stdev	c
180	35	0,19	60	20	0,33
120	30	0,25	80	25	0,31
80	25	0,31	120	30	0,25
60	20	0,33	180	35	0,19

Tabel 3.9 Volgorde van operaties in OK met witte vlek van 40 min

Gemiddelde	Aflopende E[operatieduur]	Oplopende E[operatieduur]
#Afzeggingen	0,24	0,17
Bezettingsgraad	88,62%	84,39%
Kans op uitloop > 0 min	0,07	0,10
Kans op voorloop > 0 min	0,93	0,90
Uitloop (min)	12,31	22,25
Voorloop (min)	59,04	83,66

Tabel 3.10 resultaten met witte vlek van 40 min

In tabel 3.8 staan de resultaten waar een witte vlek van 40 min is ingepland, dus slechts 440 min is aan operaties ingepland. Vergeleken met volledig geplande OK, zien we dat het aantal afzeggingen veel minder is. Dat is logisch, want nu is er 40 min extra om uitloop op te vangen, dus worden operaties minder snel afgezegd. Het is beter om de sessie niet helemaal vol te plannen. De kans op uitloop is hierdoor minder voor zowel ordenen op aflopende als oplopende operatieduur. De voorloop voor aflopend is wel iets meer geworden waardoor de bezettingsgraad lager is voor aflopende operatieduur, maar de voorloop bij oplopende operatieduur is vrij veel afgenomen waardoor de bezettingsgraad toeneemt.

Hieronder is naar een witte vlek van 60 min gekeken met de volgende geplande operaties.

E[operatieduur]	stdev	c	E[operatieduur]	stdev	c
240	40	0,17	60	20	0,33
120	30	0,25	120	30	0,25
60	20	0,33	240	40	0,17

Tabel 3.11 volgorde van operaties in OK met witte vlek van 60 min

Gemiddelde	Aflopende E[operatieduur]	Oplopende E[operatieduur]
#Afzeggingen	0,11	0,04
Bezettingsgraad	86,85%	86,67%
Kans op uitloop > 0 min	0,13	0,14
Kans op voorloop > 0 min	0,87	0,86
Uitloop (min)	26,37	28,25
Voorloop (min)	72,93	74,07

Tabel 3.12 resultaten met witte vlek van 60 min (zie bijlage A voor een andere situatie met een witte vlek van 60 min)

Met een witte vlek van 60 min, is het aantal afzeggingen nog minder vergeleken met een witte vlek van 40 min. De bezettingsgraad is iets gedaald bij aflopende operatieduur en iets gestegen bij oplopende operatieduur. Uitloop is iets toegenomen voor oplopend en aflopend. De voorloop is voor aflopend toegenomen, dat terwijl voor oplopend juist is afgenomen.

Als we alleen naar tabel 3.12 kijken, zien we dat de bezettingsgraad niet echt veel van elkaar verschillen. Aflopend presteert wel iets beter op uitloop en voorloop, maar het presteert wel slechter voor het aantal afzeggingen. We kunnen concluderen dat de witte vlek en de grootte ervan een belangrijke rol speelt.

3.5 Inbreekmomenten en verkoeverkamer

In deze paragraaf gaan we aan de hand van een specifieke situatie kijken naar de inbreekmomenten spoed en de verkoeverkamer. We passen de heuristische SCF, C1 en C2 toe waarbij het kleinste maximum BII wordt bepaald. Omdat men in de praktijk meestal operaties uitvoert in afnemende operatieduur, gaan we ook kijken in het geval van LCF. Daarnaast worden de heuristiek HIHD, MIX en HIHD ook toegepast die in Marcon en Dexter [10] worden genoemd om te kijken of hun conclusies overeenkomen met die uit onze experimenten.

We kijken weer naar de prestatie-maten bezettingsgraad, uitloop, voorloop, het aantal afzeggingen, daarnaast ook naar BII en het aantal patiënten op de verkoeverkamer.

Stel we hebben vier OK's met al toegewezen operaties met een totale sessieduur van 480 min. Eén OK is voor 380 min aan operaties ingepland, witte vlek is 100 min, en de andere drie OK's zijn voor 420 min ingepland aan operaties, witte vlek is 60 min. Voorloop is inclusief witte vlek en er is uitloop als de eindtijd van de laatste operatie buiten de sessieduur valt. Afzegging van een operatie vindt plaats als de resttijd van de OK kleiner dan de verwachte operatieduur is. Verblijf op verkoeverkamer is 120 min ongeacht de operatieduur.

In de onderstaande tabel staan de aannames van de verwachte operatieduur met bijbehorende standaarddeviatie. Hier wordt weer aangenomen dat de operatieduur normaal verdeeld is.

E[operatieduur]	stdev	c
60	21	0,35
80	28	0,35
100	35	0,35
120	42	0,35
180	63	0,35
200	70	0,35

Tabel 3.13 operatieduur met bijbehorende standaarddeviatie bij constante $c = 0,35$

Stel dat de operaties die in de OK's worden uitgevoerd waarbij relatieve korte en lange operaties in aparte OK's plaatsvinden, als volgt over de OK's zijn verdeeld:

- OK1: {200, 180}
- OK2: {100, 100, 100, 60, 60}
- OK3: {100, 100, 80, 80, 60}
- OK4: {180, 120, 120}

Zie bijlage B voor de volgorde van de operaties per OK na toepassen van de heuristieken.

Heuristiek	Gemiddelde kans op uitloop	Gemiddelde kans op voorloop	Totaal gemiddelde uitloop (gegeven dat er uitloop is) (min)	Totaal gemiddelde voorloop (gegeven dat er voorloop is) (min)
LCF	0,072	0,928	87,98	380,53
SCF	0,102	0,898	121,60	403,59
C1	0,082	0,918	102,63	385,05
C2	0,082	0,918	97,18	388,44
HIHD	0,079	0,921	103,94	382,37
MIX	0,084	0,916	103,94	388,31
HDHI	0,081	0,919	105,47	389,70

Tabel 3.14 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in aparte sessies

Heuristiek	Totaal #afzeggingen	Gemiddelde bezettingsgraad	Gemiddelde max BII (min)
LCF	0,69	81,66%	87,45
SCF	0,50	81,20%	71,19
C1	0,58	81,65%	73,39
C2	0,61	81,48%	72,53
HIHD	0,63	81,75%	74,41
MIX	0,59	81,54%	72,44
HDHI	0,59	81,36%	85,69

Tabel 3.15 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in aparte sessies

In tabel 3.14 is te zien dat de heuristiek LCF zowel de kleinste gemiddelde kans op uitloop heeft als de kleinste totaal gemiddelde uitloop en voorloop. SCF daarentegen heeft de grootste gemiddelde kans op uitloop, kleinste gemiddelde kans op voorloop en het grootste totaal gemiddelde uitloop en voorloop. Dat SCF voor de grootste totaal gemiddelde uitloop en voorloop zorgt is niet verrassend, want als men een operatie van lange duur afzegt,

ontstaat er meer voorloop dan wanneer een korte operatie wordt afgezegd. Daarnaast hebben lange operaties een meer onzekere duur dan korte operaties, waardoor er makkelijker uitloop zal ontstaan in het geval van SCF.

Hoewel LCF voor de kleinste totaal gemiddelde uitloop en voorloop zorgt, heeft LCF wel de grootste BII van 87,45 min en ook de meeste afzeggingen en SCF juist de kleinste BII en minste afzeggingen (zie tabel 3.15). Betreft de bezettingsgraad presteert HIHD het beste en SCF het slechtste. Aangezien SCF slecht presteert op uitloop, voorloop en bezettingsgraad is het niet verstandig om deze heuristiek te kiezen, hoewel SCF wel de kleinste BII heeft. LCF zou ook geen goede keuze zijn, want LCF heeft de grootste BII en de meeste afzeggingen.

Dat heuristiek C1 het beste is komt niet overeen met de conclusie van Van der Lans et al. [6]. In hun studie presteert heuristiek C2 het beste betreft het min max BII. De reden waarom heuristiek C2 hier niet als beste presteert, komt waarschijnlijk doordat we hier een heel andere situatie, samenstelling van operaties hebben dan in de studie van Van der Lans et al. [6] (Zie paragraaf 2.4)

<i>Heuristiek</i>	<i>10^e percentiel</i>	<i>90^{ste} percentiel</i>	<i>Gemiddelde max # patiënten op verkoeverkamer</i>
LCF	6	7	6,44
SCF	5	7	6,12
C1	5	7	5,98
C2	5	7	6,01
HIHD	5	7	5,86
MIX	5	7	6,02
HDHI	6	8	6,70

Tabel 3.16 aantal patiënten op verkoeverkamer (operaties van relatieve lange en korte duur in aparte sessies)

Als we naar het gemiddelde maximum aantal patiënten op de verkoeverkamer kijken als gevolg van de volgorde waarop de operaties worden uitgevoerd, blijkt dat HIHD de kleinste waarde oplevert. De percentielen (van het maximum aantal patiënten over een dag) van HIHD behoren ook tot een van de laagste aantal patiënten op de verkoeverkamer. Terwijl HDHI en LCF juist tot de hoogste behoren en zorgen ook voor de hoogste gemiddelden aantal patiënten op de verkoeverkamer. Dat LCF en HDHI voor de hoogste piek van patiënten zorgen op de verkoeverkamer en HIHD en MIX voor de kleinste piek (heuristieken C1 en C2 buiten beschouwing gelaten), komen overeen met Marcon en Dexter [10]. De heuristieken C1 en C2 presteren hier ook goed.

Als we de heuristiek kiezen die alleen gebaseerd is op het aantal patiënten op de verkoeverkamer, dan zou HIHD de beste heuristiek zijn voor het verkoeverpersoneel. Maar als men een evenwicht wil tussen al de prestatie-maten, dan presteert heuristiek C1 het beste. Dit in geval als er wordt gekeken naar de top drie best presterende heuristieken per prestatie-maat. Daaruit is gebleken dat heuristiek C1 voor alle prestatie-maten (op twee na) in de top drie zit. De slechtst presterende heuristiek is HDHI.

In het vorige experiment hebben we operaties van lange en korte duur van elkaar gescheiden gehouden. De operaties die we hebben gebruikt in experiment 1 worden nu zo ingedeeld in de OK's waarbij korte en lange operaties zoveel mogelijk in dezelfde sessie plaatsvinden. De operaties in de OK's zijn nu als volgt:

- OK1: {200, 100, 80}
- OK2: {180, 100, 80, 60}
- OK3: {180, 120, 60, 60}
- OK4: {120, 100, 100, 100}

Zie Bijlage C voor de volgorde van de operaties na het toepassen van de heuristieken.

<i>Heuristiek</i>	<i>Gemiddelde kans Op uitloop</i>	<i>Gemiddelde kans op voorloop</i>	<i>Totale gemiddelde uitloop (gegeven dat er uitloop is) (min)</i>	<i>Totale gemiddelde voorloop (gegeven dat er voorloop is) (min)</i>
LCF	0,060	0,940	64,86	367,82
SCF	0,125	0,875	140,81	416,06
C1	0,086	0,914	99,96	389,96
C2	0,091	0,909	105,25	396,69
HIHD	0,073	0,927	90,61	374,62
MIX	0,070	0,930	87,29	385,94
HDHI	0,078	0,922	103,65	398,88

Tabel 3.17 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal #afzeggingen</i>	<i>Gemiddelde bezettingsgraad</i>	<i>Gemiddelde max BII (min)</i>
LCF	0,84	81,97%	107,75
SCF	0,41	81,05%	76,05
C1	0,64	81,44%	73,35
C2	0,58	81,19%	73,61
HIHD	0,71	81,87%	80,87
MIX	0,68	81,26%	86,18
HDHI	1,00	80,84%	106,91

Tabel 3.18 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie

LCF blijkt hier de kleinste kans op uitloop te hebben en grootste kans op voorloop. Voor SCF is het juist de tegenovergestelde. LCF presteert hier het beste op uitloop en voorloop, terwijl SCF weer, als in het vorige experiment, het minst presteert op uitloop en voorloop.

<i>Heuristiek</i>	<i>10^e percentiel</i>	<i>90^{ste} percentiel</i>	<i>Gemiddelde max #patiënten op verkoeverkamer</i>
LCF	6	8	6,95
SCF	6	8	6,72
C1	5	7	6,19
C2	5	7	6,20
HIHD	5	7	5,85
MIX	5	7	6,21
HDHI	6	8	7,19

Tabel 3.19 aantal patiënten op verkoeverkamer (operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie)

Voor de verkoeverkamer zou de heuristiek HIHD het beste zijn en HDHI het slechtste. Zowel LCF als SCF presteren slecht. Terwijl C1, C2 en MIX vrij goed presteren.

De heuristiek C1 presteert hier ook weer het beste als we kijken naar de top vier heuristieken die het beste presteren per prestatie maat. Als we kijken naar de top drie heuristieken, dan zijn er twee heuristieken die in de top drie zitten, namelijk C1 en HIHD. De slechtste heuristiek is HDHI.

Door in een sessie zowel operaties van lange duur als korte duur bij elkaar te doen, levert het een iets hogere gemiddelde maximum aantal patiënten op, op de verkoeverkamer. Dus de werkdruk voor het verkoeverpersoneel is hoger. Behalve dat er in dit experiment waar operaties van korte en lange duur in dezelfde sessie plaatsvinden tot een iets hogere gemiddelde maximum patiënten leidt op de verkoeverkamer, leidt dit ook tot een grotere minimum max BII. We kunnen concluderen dat het beter is om operaties van korte en lange duur gescheiden te houden als het mogelijk is en heuristiek C1 toe te passen. Als het niet mogelijk is, dan is het raadzaam om heuristiek C1 of HIHD toe te passen.

Hieronder is een ander experiment waarbij korte en lange operaties in dezelfde OK plaatsvinden. In dit experiment zijn de operaties in de OK's als volgt:

- OK1: {200, 120, 60}
- OK2: {200, 80, 80, 60}
- OK3: {180, 100, 80, 60}
- OK4: {180, 80, 80, 80}

Zie Bijlage D voor de volgorde van de operaties in de vier OK's na het toepassen van de heuristieken.

<i>Heuristiek</i>	<i>Gemiddelde kans op uitloop</i>	<i>Gemiddelde kans op voorloop</i>	<i>Totale gemiddelde uitloop (gegeven dat er uitloop is) (min)</i>	<i>Totale gemiddelde voorloop (gegeven dat er voorloop is) (min)</i>
LCF	0,057	0,943	63,95	365,35
SCF	0,149	0,851	160,54	426,28
C1	0,083	0,917	99,94	374,05
C2	0,111	0,889	121,92	406,46
HIHD	0,071	0,929	88,49	375,25
MIX	0,066	0,934	80,87	379,31
HDHI	0,065	0,935	78,70	379,66

Tabel 3.20 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal #afzeggingen</i>	<i>Gemiddelde bezettingsgraad</i>	<i>Gemiddelde max BII (min)</i>
LCF	0,90	82,02%	126,91
SCF	0,32	81,07%	79,60
C1	0,72	82,18%	77,12
C2	0,54	81,20%	71,95
HIHD	0,75	81,81%	86,80
MIX	0,77	81,53%	104,43
HDHI	0,78	81,50%	125,43

Tabel 3.21 resultaten operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie

De prestaties van LCF en SCF komen overeen met de vorige twee experimenten wat betreft de kans op uitloop en voorloop, totaal gemiddelde uitloop en voorloop.

<i>Heuristiek</i>	<i>10^e percentiel</i>	<i>90^{ste} percentiel</i>	<i>Gemiddelde # patiënten op Verkoeverkamer</i>
LCF	6	8	7,27
SCF	6	8	6,96
C1	5	7	6,09
C2	5	7	6,34
HIHD	5	7	5,93
MIX	5	7	6,22
HDHI	6	9	7,42

Tabel 3.22 aantal patiënten op verkoeverkamer (operaties van relatieve lange en korte duur in dezelfde sessie)

In tabel 3.22 is te zien dat HDHI weer als slechtste presteert en HIHD het beste wat betreft het maximum aantal patiënten op de verkoeverkamer. Daarnaast presteren de heuristieken C1, MIX en C2 ook vrij goed.

We kunnen concluderen dat heuristiek C1 het beste presteert als we naar alle prestatie-maten kijken (top drie heuristieken) en weer presteert de heuristiek HDHI het minst goed.

3.5.1 Overzicht prestatie heuristieken

Hieronder zijn de resultaten die in paragraaf 3.5 zijn verkregen in tabellen weergegeven hoe elke heuristiek scoort op de verschillende prestatie-maten.

Experiment 1 (korte en lange operaties in aparte sessie)

Beste heuristiek: C1

Slechtste heuristiek: HDHI

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal gem. uitloop (min)</i>	<i>Totaal gem. voorloop (min)</i>	<i>Totaal gem. #afzeggingen</i>	<i>Gem. bezettingsgraad</i>	<i>Gem. min max BII</i>	<i>Gem. max #patiënten op verkoeverkamer</i>
LCF	+++	+++	---	++	---	--
SCF	---	---	+++	---	+++	-
C1	+	+	++	+	-/+	++
C2	++	-	-	-	+	+
HIHD	-/+	++	--	+++	-	+++
MIX	-	-/+	+	-/+	++	-/+
HDHI	--	--	-/+	--	--	---

Tabel 3.23 korte en lange operaties in aparte sessies, eerste experiment paragraaf 3.5

Experiment 2 (korte en lange operaties in dezelfde sessie)

Beste heuristiek: C1/HIHD

Slechtste heuristiek: HDHI

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal gem. uitloop (min)</i>	<i>Totaal gem. voorloop (min)</i>	<i>Totaal gem. #afzeggingen</i>	<i>Gem. bezettingsgraad</i>	<i>Gem. min max BII</i>	<i>Gem. max #patiënten op verkoeverkamer</i>
LCF	+++	+++	--	+++	---	--
SCF	---	---	+++	--	+	-
C1	-/+	-/+	+	+	+++	++
C2	--	-	++	-	++	+
HIHD	+	++	-	++	-/+	+++
MIX	++	+	-/+	-/+	-	-/+
HDHI	-	--	---	---	--	---

Tabel 3.24 korte en lange operaties in dezelfde sessie, tweede experiment paragraaf 3.5

Experiment 3 (korte en lange operaties in dezelfde sessie)

Beste heuristiek: C1

Slechtste heuristiek: HDHI

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal gem. uitloop (min)</i>	<i>Totaal gem. voorloop (min)</i>	<i>Totaal gem. #afzeggin- gen</i>	<i>Gem. bezettings- graad</i>	<i>Gem. min max BII</i>	<i>Gem. max #patiënten op verkoever- kamer</i>
LCF	+++	+++	---	++	---	--
SCF	---	---	+++	---	+	-
C1	-	++	+	+++	++	++
C2	--	--	++	--	+++	-/+
HIHD	-/+	+	-/+	+	-/+	+++
MIX	+	-/+	-	-/+	-	+
HDHI	++	-	--	-	--	---

Tabel 3.25 korte en lange operaties in dezelfde sessie, laatste experiment in paragraaf 3.5

4. Conclusie

Wat is de beste volgorde van operaties in een OK? Hierop zijn verschillende invalshoeken en dus ook verschillende heuristieken. Als men bijvoorbeeld de bezettingsgraad in een OK wil maximaliseren, zou men een andere heuristiek gebruiken dan wanneer men de wachttijd van patiënten wil minimaliseren.

In hoofdstuk 2 zijn een aantal heuristieken besproken die in de literatuur zijn gevonden en sommige van deze heuristieken zijn getest in hoofdstuk 3. Door een aantal experimenten uit te voeren waarbij is uitgezocht welke van deze heuristieken het beste presteert (op bezetting, afzegging, uitloop, voorloop, min max BII en het aantal patiënten op de verkoeverkamer), zijn de volgende conclusies getrokken:

- Men kan het beste operaties uitvoeren in aflopende duur en dat geldt ook voor de standaarddeviatie van de operatieduur voor de prestatie-maten bezetting, uitloop en voorloop.
- Operaties kunnen het beste worden uitgevoerd in oplopende duur en in oplopende standaarddeviatie van de operatieduur als men de wachttijd van operaties/patiënten zoveel mogelijk wil minimaliseren en het aantal afzeggingen.
- Door de resultaten van de prestatie-maten te vergelijken waarbij de OK wel en niet volledig is vol gepland, is de conclusie getrokken dat het niet verstandig is om de OK volledig in te plannen. Door de OK niet volledig in te plannen (dus wel witte vlekken inplannen) zullen er minder afzeggingen zijn en als men de operaties in oplopende operatieduur zou uitvoeren zou de kans op voorloop kleiner zijn
- Voor de inbreekmomenten hebben we gezien dat het in alle drie de experimenten verschilt welke heuristiek voor de kleinste max BII zorgt (SCF, C1 en C2).
- Voor de verkoeverkamer presteert de heuristiek HIHD het beste en heuristiek HDHI het slechtste.
- Heuristiek C1 presteert het beste wanneer korte en lange operaties niet in dezelfde sessie worden uitgevoerd als men een evenwicht wil tussen al de prestatie-maten.
- Zowel heuristiek C1 als HIHD presteren goed op de prestatie-maten in geval dat korte en lange operaties in dezelfde sessie worden uitgevoerd.

<i>Heuristiek</i>	<i>Totaal gem. uitloop (min)</i>	<i>Totaal gem. voorloop (min)</i>	<i>Totaal gem. #afzeggingen</i>	<i>Gem. bezettingsgraad</i>	<i>Gem. min max BII</i>	<i>Gem. max #patiënten op verkoeverkamer</i>
LCF	+++	+++	---	++	---	--
SCF	---	---	+++	---	+	-
C1	-/+	+	+	+	+	++
C2	-/+	-	-/+	-	++	+
HIHD	-/+	++	-	++	-/+	+++
MIX	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+
HDHI	-/+	--	--	--	--	---

Tabel 3.26 gemiddelde prestaties heuristieken over de drie experimenten

In tabel 3.26 zijn de scores van de heuristieken op de prestatie­maten gemiddeld over de drie experimenten. Het is duidelijk te zien dat de heuristiek HDHI verreweg het minst goed presteert op de prestatie­maten. De heuristiek MIX kan in deze tabel als de middel­moot worden gezien op alle prestatie­maten. De beste heuristiek is C1 als men een evenwicht wil tussen al de prestatie­maten. Dit hebben we in alle drie de experimenten kunnen concluderen.

Literatuurlijst

- [1] Denton, B., Viapiano, J., Volg, A., Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty, *Health Care Management Science* 10 13-24 (2007)
- [2] Dexter, F., Epstein, R.H., Marcon, E., Matta, de R., Strategies to reduce delays in admission into a postanesthesia care unit from operating rooms, *Journal of PeriAnesthesia Nursing* 20 (2) 92-102 (2005)
- [3] Macario, A., Glenn, D., Dexter, F., What can the postanesthesia care unit manager do to decrease costs in the postanesthesia care unit?, *Journal of PeriAnesthesia Nursing* 14 (5) 284-293 (1999)
- [4] Fearnside, M.R., Klineberg, P.L., Lai, Y.Y., Piza, M., Rubin, G.L., Schofield, W.N., Sindhusake, D., *Med J Aust.* 2005. Cancellation of operations on the day of intended surgery at a major Australian referral hospital, *The Medical Journal of Australia* 182 (12) 612-615 (2005)
- [5] Catharina-ziekenhuis <http://www.cze.nl/default.aspx?DocumentID=9a61900e-ef3a-47cd-9a89-fb50380a95f4>
- [6] Lans, van der M., Hans, E.W., Hurink, J.L., Wullink, G., Houdenhoven, van M., Kazemier, G., Anticipating urgent surgery in operating room departments, working paper (2006)
- [7] Ait Haddou Ou Ali, S., Andrioli, H., Jugal, S., Kanhai, P., Schaijik, van J., Singer, B., Sloog, D., OK-planning afdeling Heelkunde VUmc, bedrijfs-case (2006)
- [8] Bekele, S., Hawinkels, K., Kanters, O., Schoonemann, J., OK planning afdeling heelkunde VUmc, bedrijfs-case (2007)
- [9] Cardoen, B., Demeulemeester, E., Beliën, J., Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem, *International Journal of Production Economics* 119 354-366 (2009)
- [10] Marcon, E., Dexter, F., Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing, *Health Care Management Science* 9 87-98 (2006)
- [11] Jebali, A., Alouane, A.B.H., Ladet, P., Operating rooms scheduling, *International Journal of Production Economics* 99 52-62 (2006)
- [12] Hans, E., Minimization of emergency surgery waiting time, presentatie, http://www.ioz.pwr.wroc.pl/Pracownicy/Zabawa/ORAH1/pliki/Hans_ORAH1.pdf
- [13] Hans, E., OK-planning en Scheduling, presentatie, http://www.vumc.nl/afdelingen-themas/239911/994357/3906278/Erwin_Hans.pdf

Bijlage A

Witte vlek van 60 min

E[operatieduur]	stdev	c	E[operatieduur]	stdev	C
120	30	0,25	60	20	0,33
120	30	0,25	60	20	0,33
60	20	0,33	60	20	0,33
60	20	0,33	120	30	0,25
60	20	0,33	120	30	0,25

Tabel A1

<i>Gemiddelde</i>	<i>Aflopende E[operatieduur]</i>	<i>Oplopende E[operatieduur]</i>
#Afzeggingen	0,12	0,09
Bezettingsgraad	85,82%	84,92%
Kans op uitloop > 0 min	0,05	0,07
Kans op voorloop > 0 min	0,95	0,93
Uitloop (min)	11,62	17,76
Voorloop (min)	71,29	77,73

Tabel A2

Bijlage B

LCF

OK1	OK2	OK3	OK4
200	100	100	180
180	100	100	120
	100	80	120
	60	80	
	60	60	

Tabel B1

SCF

OK1	OK2	OK3	OK4
180	60	60	120
200	60	80	120
	100	80	180
	100	100	
	100	100	

Tabel B2

C1

OK1	OK2	OK3	OK4
180	60	80	120
200	100	60	180
	100	80	120
	100	100	
	60	100	

Tabel B3

C2

OK1	OK2	OK3	OK4
200	60	80	180
180	60	60	120
	100	100	120
	100	100	
	100	80	

Tabel B4

HIHD

OK1	OK2	OK3	OK4
180	60	60	120
200	100	80	180
	100	100	120
	100	100	
	60	80	

Tabel B5

MIX

OK1	OK2	OK3	OK4
180	60	60	120
200	100	100	180
	60	80	120
	100	100	
	100	80	

Tabel B6

HDHI

OK1	OK2	OK3	OK4
200	100	100	180
180	100	80	120
	60	60	120
	60	80	
	100	100	

Tabel B7

LCF	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,08	75,22%	36,62	130,53
OK2	0,20	84,86%	12,54	76,77
OK3	0,19	84,85%	13,56	77,22
OK4	0,22	81,73%	25,25	96,01

Tabel B1.1

SCF	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,05	75,86%	40,00	129,85
OK2	0,15	84,13%	21,17	82,38
OK3	0,15	84,12%	21,23	83,09
OK4	0,15	80,68%	39,20	108,27

Tabel B2.1

C1	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,06	75,82%	40,57	129,95
OK2	0,18	84,81%	15,39	77,66
OK3	0,13	84,30%	21,41	81,74
OK4	0,21	81,68%	25,26	95,70

Tabel B3.1

C2	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,08	75,73%	36,48	129,14
OK2	0,15	84,04%	20,18	83,08
OK3	0,17	84,50%	15,27	79,61
OK4	0,22	81,64%	25,25	96,62

Tabel B4.1

HIHD	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,06	76,01%	42,95	129,54
OK2	0,19	84,63%	14,91	78,20
OK3	0,16	84,68%	16,32	78,65
OK4	0,22	81,69%	25,97	95,98

Tabel B5.1

MIX	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,06	76,05%	40,47	128,85
OK2	0,16	84,06%	21,07	83,28
OK3	0,17	84,45%	15,54	79,69
OK4	0,21	81,59%	26,86	96,48

Tabel B6.1

HDHI	#Afzeggingen	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,07	75,45%	38,39	129,33
OK2	0,15	84,06%	20,21	82,53
OK3	0,15	84,18%	20,63	82,41
OK4	0,22	81,75%	26,24	95,43

Tabel B7.1

<i>Heuristiek</i>	<i>Gemiddelde kans op uitloop</i>	<i>Gemiddelde kans op voorloop</i>
LCF	+++	---
SCF	---	+++
C1	-/+	-/+
C2	-	+
HIHD	++	--
MIX	--	++
HDHI	+	-

Tabel B8.1

Bijlage C

LCF

OK1	OK2	OK3	OK4
200	180	180	120
100	100	120	100
80	80	60	100
	60	60	100

Tabel C1

SCF

OK1	OK2	OK3	OK4
80	60	60	100
100	80	60	100
200	100	120	100
	180	180	120

Tabel C2

C1

OK1	OK2	OK3	OK4
100	60	120	120
200	180	60	100
80	100	60	100
	80	180	100

Tabel C3

C2

OK1	OK2	OK3	OK4
200	80	60	100
80	60	60	100
100	180	120	100
	100	180	120

Tabel C4

HIHD

OK1	OK2	OK3	OK4
80	60	60	100
200	100	120	100
100	180	180	120
	80	60	100

Tabel C5

MIX

OK1	OK2	OK3	OK4
80	60	60	100
200	180	180	120
100	80	60	100
	100	120	100

Tabel C6

HDHI

OK1	OK2	OK3	OK4
200	180	180	120
80	80	60	100
100	60	60	100
	100	180	100

Tabel C7

LCF	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,11	77,07%	16,53	114,51
OK2	0,26	83,56%	14,23	84,35
OK3	0,29	83,97%	14,21	82,38
OK4	0,18	83,28%	19,89	86,58

Tabel C1.1

SCF	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,01	77,56%	38,46	120,74
OK2	0,12	81,96%	38,84	102,46
OK3	0,12	81,65%	37,76	103,22
OK4	0,15	83,02%	25,75	89,64

Tabel C2.1

C1	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,11	77,45%	21,89	112,88
OK2	0,24	83,27%	17,21	86,62
OK3	0,12	81,77%	38,88	103,58
OK4	0,18	83,27%	21,98	86,88

Tabel C3.1

C2	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,10	76,90%	19,13	116,01
OK2	0,20	83,14%	22,60	87,93
OK3	0,12	81,78%	37,96	102,82
OK4	0,16	82,95%	25,56	89,93

Tabel C4.1

HIHD	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,09	76,84%	21,56	116,46
OK2	0,21	83,58%	21,30	85,79
OK3	0,22	83,77%	25,65	85,83
OK4	0,18	83,30%	22,10	86,54

Tabel C5.1

MIX	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,09	76,77%	20,37	116,30
OK2	0,21	82,70%	21,30	89,19
OK3	0,20	82,04%	24,90	94,52
OK4	0,18	83,53%	20,72	85,93

Tabel C6.1

HDHI	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,10	77,13%	20,29	115,29
OK2	0,22	82,92%	21,32	88,42
OK3	0,51	80,09%	40,48	108,09
OK4	0,18	83,20%	21,56	87,08

Tabel C7.1

Heuristiek	Gemiddelde kans op uitloop	Gemiddelde kans op voorloop
LCF	+++	---
SCF	---	+++
C1	-	+
C2	--	++
HIHD	+	-
MIX	++	--
HDHI	-/+	-/+

Tabel C8.1

Bijlage D

LCF

OK1	OK2	OK3	OK4
200	200	180	180
120	80	100	80
60	80	80	80
	60	60	80

Tabel D1

SCF

OK1	OK2	OK3	OK4
60	60	60	80
120	80	80	80
200	80	100	80
	200	180	180

Tabel D2

C1

OK1	OK2	OK3	OK4
60	80	100	180
120	80	180	80
200	200	60	80
	60	80	80

Tabel D3

C2

OK1	OK2	OK3	OK4
120	60	80	180
200	80	100	80
60	80	60	80
	200	180	80

Tabel D4

HIHD

OK1	OK2	OK3	OK4
60	60	60	80
200	80	100	180
120	200	180	80
	80	80	80

Tabel D5

MIX

OK1	OK2	OK3	OK4
60	60	60	80
200	200	180	180
120	80	80	80
	80	100	80

Tabel D6

HDHI

OK1	OK2	OK3	OK4
200	200	180	180
60	80	80	80
120	60	60	80
	80	100	80

Tabel D7

LCF	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,12	77,52%	18,28	112,43
OK2	0,30	83,48%	14,19	84,39
OK3	0,26	83,69%	14,57	83,33
OK4	0,23	83,40%	16,91	85,20

Tabel D1.1

SCF	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,02	77,87%	40,83	119,50
OK2	0,09	81,92%	44,31	104,69
OK3	0,11	82,07%	38,69	101,93
OK4	0,11	82,44%	36,71	100,17

Tabel D2.1

C1	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,02	77,51%	39,77	120,46
OK2	0,23	83,96%	27,40	85,64
OK3	0,23	83,54%	16,32	84,33
OK4	0,23	83,70%	16,45	83,62

Tabel D3.1

C2	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,11	77,58%	22,29	112,76
OK2	0,09	81,96%	43,97	105,57
OK3	0,11	81,91%	38,81	102,99
OK4	0,23	83,37%	16,85	85,14

Tabel D4.1

HIHD	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,08	76,72%	24,82	118,18
OK2	0,22	83,54%	23,21	86,58
OK3	0,21	83,63%	22,15	85,56
OK4	0,23	83,34%	18,31	84,93

Tabel D5.1

MIX	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,08	76,90%	26,60	117,35
OK2	0,25	83,15%	17,05	86,87
OK3	0,21	82,89%	21,66	88,62
OK4	0,23	83,19%	15,56	86,48

Tabel D6.1

HDHI	#Afzegging	Bezettingsgraad	Uitloop (min)	Voorloop (min)
OK1	0,09	76,65%	26,18	119,20
OK2	0,25	82,93%	15,70	87,10
OK3	0,22	82,93%	19,72	88,61
OK4	0,23	83,48%	17,10	84,74

Tabel D7.1

<i>Heuristiek</i>	<i>Gemiddelde kans op uitloop</i>	<i>Gemiddelde kans op voorloop</i>
LCF	+++	---
SCF	---	+++
C1	-	+
C2	--	++
HIHD	-/+	-/+
MIX	+	-
HDHI	++	--

Tabel D8.1