

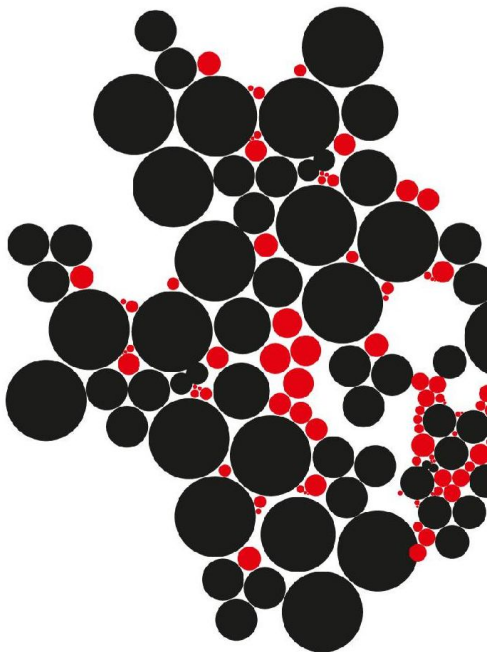
SCRIPTIE

# EFFICIËNTER GEBRUIK VAN CT-SCANNERS

CASUS BIJ MEDISCH SPECTRUM TWENTE

Mirel Maraha

APPLIED MATHEMATICS  
DISCRETE MATHEMATICS AND MATHEMATICAL PROGRAMMING



---

# Efficiënter gebruik van CT-scanners

## Casus bij Medisch Spectrum Twente

Mirel Maraha

Scriptie

Applied Mathematics - Discrete Mathematics and Mathematical Programming

Examencommissie:

Prof. dr. J.L. Hurink

Dr. ir. E.W. Hans

Dr. ir. G.F. Post

Ir. J.T. van Essen

Drs. I.B.W. de Vries-Blanken

16 augustus 2011

# Samenvatting

Het onderzoek richt zich op methoden waarmee CT-scanners efficiënter gebruikt kunnen worden. Hiervoor is het volgende doel opgesteld:

Een benadering geven voor de meest effectieve en reële tactische planning van de CT, waardoor de prestatie van de CT voldoet aan de eisen van de afdeling radiologie van Medisch Spectrum Twente.

Op basis van een analyse van de huidige situatie in Medisch Spectrum Twente worden aspecten geïdentificeerd waar de planning van de CT verbeterd moet worden. Hierbij wordt gedetecteerd dat met name de toegangstijd momenteel flink van de gewenste waarde afwijkt. In de literatuur worden een aantal interventie mogelijkheden besproken. Een paar van deze mogelijkheden worden verder uitgewerkt. Van de verschillende interventiemogelijkheden, blijkt op basis van de literatuur ‘CT op inloop’ de beste:

- De toegangstijd gaat omlaag.
- Patiënten hoeven niet speciaal voor een CT-scan terug te komen naar het ziekenhuis.
- Er is minder telefoonverkeer tussen aanvragers, administratief medewerkers en radiologen.
- Voor laboranten wordt het werk uitdagender en daalt de werkdruk.

Baserend op de keuze voor de interventie ‘CT op inloop’, wordt het doel van het onderzoek aangepast:

Bepalen van de CT-capaciteit, waarmee de afdeling radiologie van MST de CT op inloop kan aanbieden, binnen de gestelde eisen. Hierbij wordt de capaciteit gemeten in het minimale aantal CT-scanners dat nodig is gedurende een bepaald tijdsinterval.

Met behulp van computerprogramma’s AIMMS<sup>®</sup> en MATLAB<sup>®</sup> wordt de situatie gemodelleerd, die zal optreden als de CT op inloop wordt georganiseerd. Uit de resultaten blijkt dat het haalbaar is om de CT op inloop te organiseren. Een groot gedeelte van de patiënten krijgt dan op de dag van aanvraag een CT-scan. De overige patiënten kunnen de volgende werkdag terecht. Deze overige patiënten moeten met name in de ochtend en na de lunchpauze worden ingepland.

Op dit moment is MST van plan een derde CT-scanner aan te schaffen en deze bij de spoedeisende hulp te plaatsen. Op basis van de verkregen resultaten lijkt dit niet de beste optie te zijn. Wanneer de patiëntenaantallen flink toenemen, zal de afdeling radiologie niet kunnen volstaan met twee CT-scanners om patiënten zonder spoed te behandelen. Uit verder onderzoek blijkt echter ook dat het niet nodig is om een derde CT-scanner aan te schaffen, wanneer het lukt de duur van de onderzoeken te verlagen. Bij een sterke verlaging van de duur van een onderzoek, zou zelfs één CT-scanner genoeg kunnen zijn om alle patiënten te onderzoeken.



# Voorwoord

Eind 2010 ben ik begonnen met mijn zoektocht naar een afstudeeropdracht. Van mijn toenmalige stagebegeleider -Johann Hurink- kreeg ik het e-mail adres van iemand die ‘wel een opdracht in de zorg had’: Erwin Hans. Erwin gaf me op zijn beurt weer het e-mail adres van Irma de Vries, die een afstudeerder zocht voor een opdracht bij de afdeling radiologie van Medisch Spectrum Twente.

Deze afdeling wilde de aanvragen van onderzoeken digitaliseren. Hierdoor kwam men op het idee om de planning te decentraliseren. Dit betekent dat de specialisten en huisartsen die hun patiënt naar de radiologie verwijzen, zelf de afspraak voor de patiënt kunnen plannen of dit door hun secretaresses laten doen. De afdeling wilde daarom weten of het zinvol en mogelijk was om de planning vrij te geven aan decentrale planners. Daarnaast vroeg de afdeling zich af welke onderzoeken op inloop georganiseerd kunnen worden en welke onderzoeken op afspraak. Deze opdracht vereist inzicht in de vraag, de capaciteit, het proces en logistieke principes binnen de afdeling radiologie. Al met al leek me dit een leuke uitdaging.

Naar aanleiding van gesprekken met hierboven genoemde personen, PhD kandidaten van Universiteit Twente, laboranten van de afdeling radiologie, medewerkers van MST en radiologen, heb ik besloten mijn aandacht te richten op computertomografie (CT). Daarnaast heb ik me ingelezen in de literatuur met betrekking tot procesverbetering van een afdeling radiologie. Al snel ontstond het idee om te kijken naar de mogelijkheden van de CT op inloop.

Dit idee heb ik verder uitgewerkt en gemodelleerd. Nadat het model af was, heb ik het geprogrammeerd met behulp van de computerprogramma's AIMMS<sup>®</sup> en MATLAB<sup>®</sup>. De resultaten hiervan kunt u vinden in het verslag dat voor u ligt.

Ik zou graag nog een woord van dank richten aan degenen die mij geholpen hebben om tot dit eindverslag te komen.

Mijn collega's van MST waren zeer hulpvaardig en fijn om mee samen te werken en daar ben ik ze dan ook erg dankbaar voor. Ik wil graag de administratief medewerkers bedanken, dankzij hun goede uitleg wist ik goed hoe de planning van de CT in elkaar zat. Daarnaast wil ik de (CT) laboranten bedanken, voor het beantwoorden van mijn vele vragen over onder andere de CT en hoe het proces van het maken van een (CT-) scan in elkaar zit. Verder wil ik de applicatiebeheerders bedanken, ze me hebben geholpen met het verzamelen van de benodigde data en ik vond het gezellig om bij ze op de verschillende kamers te mogen zitten. Ook de (assistent-) radiologen wil ik bedanken, voor het beantwoorden van mijn vele CT gerelateerde vragen. Als laatste van het MST wil ik Irma bedanken, voor het aanbieden van de opdracht. Daarnaast wil ik iedereen bedanken die een versie van mijn verslag heeft gelezen en van het nodige commentaar heeft voorzien. Ook de andere afdelingen van MST die mij de benodigde data over hun spreekuren hebben geleverd, wil ik bij deze bedanken.

Op de UT wil ik ook een aantal mensen bedanken. Gerhard Post en Theresia van Essen, voor onder andere de AIMMS<sup>®</sup> expertise. Hierdoor heb ik het wiskundig model goed kunnen modelleren in AIMMS<sup>®</sup>. Daarnaast wil ik de PhD kandidaten van Technische Wiskunde bedanken die

me af en toe verder op weg hebben geholpen. Verder wil ik mijn studiegenoten Technische Wiskunde bedanken, voor de morele steun en de bemoedigende en positieve woorden gedurende mijn afstuderen.

Als laatste, maar zeker niet als minste, wil ik graag mijn begeleiders Erwin Hans en Johann Hurink bedanken. Erwin heeft me veelal geadviseerd over het verslag en hoe dit eruit moet komen te zien. Zijn rijke ervaring met ziekenhuizen was hierbij zeer nuttig. Johann wil ik graag bedanken voor onder andere de begeleiding bij het wiskundige model. Johann heeft veel ervaring met het begeleiden van afstudeeropdrachten en dit was goed te merken.

Mirel Maraha (mirelmaraha@hotmail.com)

Enschede, 16 augustus 2011.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>1</b>
1.1	De aanleiding van het onderzoek . . . . .	1
1.2	Medisch Spectrum Twente . . . . .	1
1.3	Het onderzoeksprobleem . . . . .	2
1.3.1	De aanleiding van het onderzoek . . . . .	2
1.3.2	Het onderzoeksprobleem van de CT . . . . .	2
1.4	Doel van het onderzoek . . . . .	5
1.5	Onderzoeksvragen . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Context CT: de huidige situatie in MST</b>	<b>7</b>
2.1	Procesbeschrijving . . . . .	7
2.1.1	De afdeling radiologie . . . . .	7
2.1.2	Onderzoeken van de CT . . . . .	8
2.2	Besturing . . . . .	11
2.2.1	Planning van een CT-scan . . . . .	11
2.2.2	Een CT-scan maken . . . . .	14
2.3	Prestatie . . . . .	15
2.3.1	Toegangstijd . . . . .	15
2.3.2	Wachttijd . . . . .	16
2.3.3	Werkdruk . . . . .	18
2.3.4	Tijd tussen scan en verslag . . . . .	18
2.3.5	Spoed tijdens werktijd en dienst . . . . .	19
2.3.6	Overig . . . . .	20
2.4	Bottleneck van de CT . . . . .	21
2.4.1	Het aantal CT-scanners en het type scanner . . . . .	22
2.4.2	De openingstijden van de CT-scanners . . . . .	22
2.4.3	De laboranten . . . . .	22
2.4.4	De radiologen . . . . .	23
2.4.5	Het type patiënt . . . . .	23
2.4.6	Het budget van de afdeling en de maatschap radiologie . . . . .	23
2.4.7	De raad van bestuur van MST . . . . .	23
2.5	Conclusies en afbakening . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Literatuur bespreking</b>	<b>25</b>
3.1	Bespreking artikelen . . . . .	25
3.2	Conclusies . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Interventies</b>	<b>29</b>
4.1	Vast rooster . . . . .	29
4.2	Aparte voorbereidingsruimte en nabehandeling ruimte . . . . .	30
4.3	Openingstijden verruimen . . . . .	31
4.4	Inloop . . . . .	31

---

4.5	Personeel . . . . .	33
4.6	Aanvullend . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Wiskundig model</b>	<b>35</b>
5.1	Het doel van de modellering . . . . .	35
5.2	Conceptueel ontwerp . . . . .	35
5.2.1	Invoer model I . . . . .	36
5.2.2	Uitkomst model I / Invoer model II . . . . .	37
5.2.3	Voorwaarden model II . . . . .	38
5.2.4	Uitkomst model II . . . . .	38
5.3	Technisch ontwerp . . . . .	39
5.3.1	Model I: Aanvragen . . . . .	39
5.3.2	Model II: Behandeling . . . . .	42
5.4	Data voor model I & II . . . . .	46
5.5	Validatie model I & II . . . . .	51
5.5.1	Model I: Aanvragen . . . . .	51
5.5.2	Model II: Behandeling . . . . .	51
5.5.3	Getallen voorbeeld verhoging snelheid model II . . . . .	53
5.6	Experimenten . . . . .	56
5.6.1	Basisscenario . . . . .	56
5.6.2	Grotere maximale wachttijd . . . . .	56
5.6.3	Toename patiënten met een zeker percentage . . . . .	56
5.6.4	Derde CT-scanner voor spoed . . . . .	57
5.6.5	Kortere onderzoekstijd . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Resultaten en aanbevelingen</b>	<b>59</b>
6.1	Resultaten van de verschillende scenario's . . . . .	59
6.1.1	Basisscenario . . . . .	59
6.1.2	Grotere maximale wachttijd . . . . .	64
6.1.3	Toename patiënten met een zeker percentage . . . . .	65
6.1.4	Derde CT-scanner voor spoed . . . . .	68
6.1.5	Kortere onderzoekstijd . . . . .	70
6.2	Aanbevelingen aan Medisch Spectrum Twente . . . . .	74
6.3	Vervolgonderzoek . . . . .	78
	<b>Lijst met afkortingen</b>	<b>81</b>
	<b>Lijst met symbolen</b>	<b>83</b>
	<b>Referenties</b>	<b>85</b>



# Hoofdstuk 1

## Introductie

*Dit hoofdstuk bevat een introductie in het onderzoek. Paragraaf 1.1 beschrijft de aanleiding van het onderzoek, paragraaf 1.2 de context, paragraaf 1.3 het probleem en paragraaf 1.4 het doel van het onderzoek. Paragraaf 1.5 eindigt het hoofdstuk met een overzicht van de onderzoeksvragen.*

### 1.1 De aanleiding van het onderzoek

Bij de afdeling radiologie van Medisch Spectrum Twente is het idee ontstaan om de aanvragen van de onderzoeken te digitaliseren. Hierdoor kwam men op het idee om de planning te decentraliseren. De afdeling wil weten of het zinvol en mogelijk is om de planning vrij te geven aan decentrale planners. Daarnaast vraagt men zich af welke onderzoeken op inloop georganiseerd moeten worden en welke op afspraak.

MST heeft momenteel een project lopen waarbij gekeken wordt naar de technische mogelijkheden van het digitaliseren van de planning. Hierbij wordt gekeken of het mogelijk is om verschillende specialisten toestemming te geven in de agenda van radiologie te plannen. De planning zal, indien dit mogelijk blijkt, waarschijnlijk ook gedecentraliseerd worden.

### 1.2 Medisch Spectrum Twente

MST is een geïntegreerd medisch-specialistisch bedrijf, met als kerntaak de gezondheid van de inwoners van de regio te bevorderen. MST behoort tot de grootste niet-academische ziekenhuizen van het land. Momenteel beschikt MST over ziekenhuislocaties te Enschede (Haaksbergerstraat en Ariënsplein) en Oldenzaal en buitenpoliklinieken in Haaksbergen en Losser. Hiermee wordt een verzorgingsgebied met 264.000 inwoners bediend. Er werken 4000 medewerkers, onder wie 250 medische specialisten. MST werkt met een jaarlijks budget van €292.000.000,- en biedt, naast alle basisfaciliteiten, topklinische functies aan. Alle medische specialismen zijn vertegenwoordigd. In Tabel 1.1 staat een aantal gegevens over het MST.

*Tabel 1.1: Gegevens MST, bron: [www.mst.nl/onzeorganisatie](http://www.mst.nl/onzeorganisatie) (20-01-2011).*

	bedden	opnames	dagopnames	verpleegdagen	polikliniekbezoeken
Aantal in 2010	1070	32.400	32.200	198.400	490.800

MST is van plan om in de loop van 2012 te beginnen aan de bouw van een nieuw ziekenhuis. De bouw zal vier jaar duren. Naar verwachting is het nieuwe ziekenhuis er dus in 2016.

## 1.3 Het onderzoeksprobleem

Deze paragraaf bespreekt het onderzoeksprobleem. Allereerst gaan we verder in op de aanleiding van het onderzoek. Vervolgens bespreken we de CT, hierbij leggen we uit waarom het onderzoek zich op de CT concentreert.

### 1.3.1 De aanleiding van het onderzoek

Zoals in paragraaf 1.1 beschreven staat, is bij de radiologie van MST het idee ontstaan om de planning van de onderzoeken te decentraliseren. Alvorens gekeken wordt naar de decentralisatie, is het verstandig om de planning meer op een tactisch niveau te bekijken. Hierbij is bijvoorbeeld te denken aan de manier waarop de agenda in blokken wordt verdeeld: het aantal blokken, de duur van de verschillende blokken, de afspraken die in specifieke blokken gepland moeten worden enz. Van deze aspecten en besluiten op tactisch niveau hangt het af hoeveel en welke beslissingen op operationeel niveau te nemen zijn. De beslissing of een patiënt om 9 of 10 uur ingepland wordt, (als beide tijdstippen vrij zijn) is bijvoorbeeld een beslissing op operationeel niveau. Dit kan dan in overleg met de patiënt worden gedaan. Als op tactisch niveau veel is vastgelegd, kan men op operationeel niveau minder vast te leggen.

In het algemeen zal het zo zijn dat wanneer op tactisch niveau de randvoorwaarden en de eisen voor de operationele planning duidelijk en goed vastgelegd zijn, het niet veel uitmaakt wie aan het inplannen is, zolang men zich maar aan de gestelde eisen houdt. Omdat op operationeel niveau nog maar weinig beslissingen genomen worden, zou er ook niet veel veranderen als de planning decentraal wordt. Om ervoor te zorgen dat de externe planners zich wel aan de gestelde eisen houden, dient de planning digitaal te worden gedaan. Op deze manier kan het programma waarin wordt gepland, de planners dwingen zich aan de gestelde eisen te houden.

Naast de eigen planning van de onderzoeken, kijken we ook naar de planning van de verwijzende afdelingen. Bij sommige onderzoeken dient een specialist van het aanvragende specialisme aanwezig te zijn. Bij de planning van deze onderzoeken dient rekening gehouden te worden met de planning van de verwijzende afdeling. Het is mogelijk om voor een bepaald specialisme of type onderzoek een blokkenreeks te reserveren. Hierbij wordt een aantal opeenvolgende blokken in de agenda vrijgehouden voor dat ene specialisme of type onderzoek. MST reserveert echter bij voorkeur geen blokkenreeksen, omdat men het gevoel heeft dat dit niet efficiënt is. Het mogelijke nadeel van blokken is dat als een blok niet wordt opgevuld het systeem stil staat en dus de efficiëntie daalt.

Om te kunnen bepalen of een andere manier van plannen beter is, is het belangrijk om de prestatie-indicatoren te weten. Wat is bijvoorbeeld de gewenste maximale wachttijd, wat vindt men van onderbenutting en wat is een acceptabele werkdruk voor de laboranten en radiologen? Voor we kunnen kijken naar eventuele verbeteringen, moet er een duidelijk beeld gevormd worden van hoe de afdeling momenteel presteert. Dus hoe hoog is de wachttijd momenteel, wat is de bezettingsgraad van de modaliteiten en hoe is de werkdruk van de laboranten en radiologen?

### 1.3.2 Het onderzoeksprobleem van de CT

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven, zullen wij ons richten op de tactische planning. De inrichting van deze tactische planning is hierdoor het onderzoeksprobleem. In deze paragraaf beschrijven we waar naar gekeken moet worden in het onderzoek over de CT. Daarnaast bespreken we de stappen die genomen worden bij het maken van een CT-scan.

Bij radiologie zijn verschillende modaliteiten te vinden. Hiervan is de CT momenteel het meest interessant om nader te onderzoeken. Spoedpatiënten moeten vaak meteen gescand worden. De toegangstijd en wachttijd voor deze patiënten ligt daardoor heel laag. In MST worden spoedpatiënten en 'gewone' patiënten op dezelfde scanners onderzocht. Hier wordt rekening mee gehouden door de

planners. Dit zorgt er wel weer voor dat de toegangstijd en wachttijd van de ‘gewone’ patiënten hoger liggen, zie paragrafen 2.3.1 en 2.3.2 voor uitleg over deze begrippen. Met name de toegangstijd ligt momenteel niet op het gewenste niveau. De verwachting is dat dit aanzienlijk verbeterd kan worden. Onderzoek met een CT is ook relatief duur, onder andere vanwege de hoge aanschafprijs. Om al deze redenen is gekozen om de CT nader te bekijken. Het onderzoeksprobleem is dus: *De inrichting van de tactische planning van de CT-scanners.*

De afdeling stelt verschillende eisen aan de planning. Hierbij is sprake van harde eisen, zoals de eis dat altijd minimaal één scanner open is. Daarnaast zijn er eisen voor de kwaliteit, zo heeft de afdeling de voorkeur uitgesproken dat alle (niet-spoed) patiënten binnen 2 à 3 dagen terecht kunnen. In paragraaf 2.3.1 is te vinden hoe de toegangstijd eruit ziet. Deze ligt daar momenteel ruim boven. Omdat de CT een essentieel onderdeel is van het zorgtraject van veel patiënten, is het belangrijk dat de toegangstijd niet te hoog is. Daarnaast groeit de vraag en zal de toegangstijd hierdoor alleen maar meer toenemen als geen maatregelen genomen worden. Ook zijn er in toenemende mate prestatie indicatoren die gelden voor bepaalde aandoeningen, waarbij de toegangstijd zo kort mogelijk moet zijn. Er worden zorgstraten gecreëerd waarbinnen de hele diagnostiek van een aandoening in één dag rond moet zijn.

Er moet ook rekening gehouden worden met de werkdruk van de laboranten en radiologen. Er zijn momenten dat er minder werk is en andere momenten is het weer druk. Wanneer er een patroon in de drukte geïdentificeerd kan worden, kan op basis hiervan een advies gegeven worden aan de planners. Het is aangenamer werken wanneer de werkdruk verspreid is over de gehele dag.

Een ander relevant aspect is de logistiek van het maken van een CT-scan. Denk hierbij aan de verschillende stappen die ondernomen worden: patiënt meldt zich, gaat in de wachtkamer zitten, wordt opgehaald, kleedt zich uit, wordt gescand, kleedt zich aan en kan weer vertrekken. Er zijn verschillende stromen voor de verschillende typen onderzoeken. Zo krijgen sommige patiënten een infuus aangelegd voor het onderzoek. Er wordt ook rekening gehouden met het verschil tussen de tijd dat de CT ruimte bezet is en de tijd dat een laborant bezig is met het onderzoek.

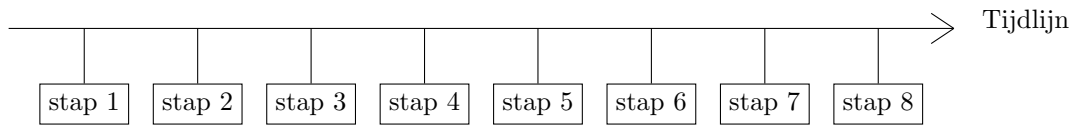
Om een goed inzicht in voorgestelde veranderingen in de tactische planning te krijgen, is het belangrijk verschillende scenario's te bekijken. De verschillende scenario's moeten worden geanalyseerd om een beeld te krijgen van de mogelijkheden voor de tactische planning en welke resultaten deze mogelijkheden geven.

Om in staat te zijn scenario's te bekijken voor verschillende mogelijkheden van tactische planning, is het nodig om over geschikte data te beschikken. Denk hierbij aan het type onderzoek, maar ook de tijdsduur ervan. De volgende tijdstippen zijn van belang.

1. Het tijdstip waarop de afspraak is gemaakt.
2. Het tijdstip waarop de patiënt zich meldt of wordt gemeld (als de patiënt is opgenomen in het ziekenhuis) bij de afdeling radiologie.
3. Het tijdstip van de afspraak.
4. Het tijdstip waarop de patiënt wordt opgehaald door een laborant.
5. Het tijdstip waarop het onderzoek begint / de scan wordt gestart.
6. Het tijdstip waarop het onderzoek eindigt / de scan klaar is.
7. Het tijdstip waarop de patiënt vertrekt uit de scanruimte.
8. Het tijdstip waarop de scans van de patiënt beoordeeld zijn door een radioloog.

De hierboven beschreven tijdstippen gebeuren in een bepaalde volgorde. Logischerwijs zou men verwachten dat deze stappen plaatsvinden op de volgorde dat ze beschreven zijn, zie Figuur 1.1.

De stappen vinden echter niet altijd in deze volgorde plaats. We zullen nu de mogelijke volgordes geven waarop deze stappen kunnen plaatsvinden. Let hierbij op het volgende:

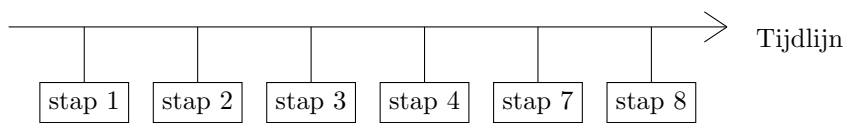


**Figuur 1.1:** Verwachte volgorde van de stappen.

- Voordat er iets kan gebeuren, moet er eerst afspraak gemaakt worden.  
→ Stap 1 dient altijd als eerste plaats te vinden.
- Een patiënt kan pas worden opgehaald door een laborant als hij aanwezig is in het ziekenhuis.  
→ Stap 4 kan pas plaatsvinden als stap 2 is geweest.
- De scan kan pas beginnen als de patiënt is opgehaald. De scan kan pas eindigen als de scan is begonnen. Een patiënt kan pas vertrekken als de scan is geëindigd.  
→ Stappen 4, 5, 6 en 7 moeten altijd op volgorde plaatsvinden.  
→ Omdat stappen 5 en 6 tussenstappen zijn, zullen wij deze niet meenemen in de mogelijkheden die hierna worden besproken.
- Pas nadat de scan klaar is kan een radioloog deze beoordelen.  
→ Stap 8 dient altijd na stap 6 plaats te vinden.

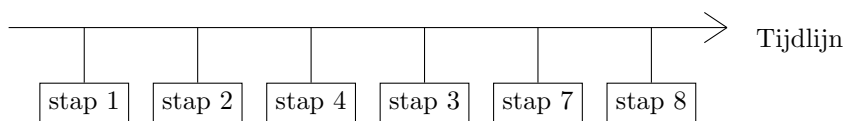
Door de hiervoor gestelde condities, zijn er vier mogelijke volgorden waarop de stappen plaats kunnen vinden. Deze zullen nu kort besproken worden.

De eerste mogelijkheid is eigenlijk een herhaling van Figuur 1.1. Alle stappen vinden op de verwachte volgorde plaats, zie Figuur 1.2.



**Figuur 1.2:** Mogelijkheid A: verwachte volgorde.

Als een patiënt aanwezig is voor het tijdstip van zijn afspraak (tijdstip 3), kunnen de laboranten deze patiënt ophalen (tijdstip 4) voor zijn afspraaktijd. Dit gebeurt bijvoorbeeld als het rustig is en er geen andere patiënten zijn die eerder gescand moeten worden, zie Figuur 1.3.

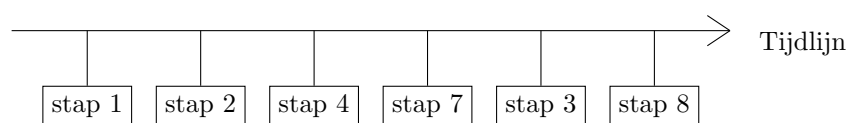


**Figuur 1.3:** Mogelijkheid B: patiënt opgehaald voor de afspraaktijd.

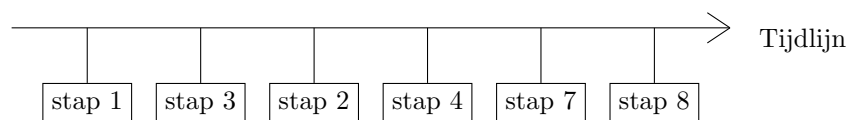
De derde mogelijkheid sluit aan bij de mogelijkheid die te zien is in Figuur 1.3. Als de patiënt is opgehaald (tijdstip 4) voor zijn afspraaktijd (tijdstip 3), is het mogelijk dat hij ook vertrekt (tijdstip 7) voor zijn afspraaktijd, zie Figuur 1.4.

Als laatste bespreken we de mogelijkheid waarbij de patiënt zich te laat meldt of wordt gemeld. Dit betekent dat de tijdstip van het melden (tijdstip 2) plaatsvindt na het tijdstip van de afspraak (tijdstip 3), zie Figuur 1.5.

Stap 8 kan in theorie ook nog plaatsvinden voor stap 3. Dit kan in combinatie met mogelijkheid B (zie Figuur 1.3) en mogelijkheid C (zie Figuur 1.4).



**Figuur 1.4:** Mogelijkheid C: scan klaar voor de afspraaktijd.



**Figuur 1.5:** Mogelijkheid D: te laat voor de afspraak.

## 1.4 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is:

Een benadering geven voor de meest effectieve en reële tactische planning van de CT, waardoor de prestatie van de CT voldoet aan de eisen van de afdeling radiologie van Medisch Spectrum Twente.

Om dit onderzoek uit te voeren, kijken we naar in hoeverre momenteel wordt voldaan aan de eisen van de afdeling radiologie van MST. Op basis van deze informatie worden verbeterpunten opgesteld. Vervolgens zoeken we naar manieren waarop de tactische planning kan worden aangepast. We werken een aantal van deze manieren uit met behulp van wiskundige modellen. Op basis van de resultaten van deze modellen bespreken we vervolgens de tactische planning die zou kunnen worden toegepast in MST.

## 1.5 Onderzoeksvragen

Het doel (paragraaf 1.4) bereiken we door de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden, achter elke onderzoeksvraag staat in welk hoofdstuk hij besproken wordt.

1. Wat is de huidige situatie (hoofdstuk 2)?
  - (a) Hoe zien het proces, de planning en de huidige prestaties eruit?
  - (b) Wat zijn de bottlenecks en hoe kunnen we het probleem afbakenen?
2. Welke literatuur is beschikbaar over het proces verbeteren van een radiologie afdeling? Welke mogelijke interventies zijn te vinden (hoofdstuk 3)?
  - (a) Welke interventies zijn onderzocht om het proces van een afdeling radiologie te verbeteren?
  - (b) Wat voor onderzoek is er gedaan, specifiek naar de planning van CT?
  - (c) Zijn er ziekenhuizen die nieuwe systemen (zoals CT op inloop) gebruiken?  
*Zo ja, wat zijn de bevindingen van een dergelijk systeem?*
3. Wat zijn de mogelijke interventies om de kwaliteit te verbeteren en wat is de invloed van deze interventies op de productiviteit van MST (hoofdstuk 4)?
  - (a) Welke interventie heeft de meeste potentie?
  - (b) Met welke externe invloeden moet rekening gehouden worden en in welke mate?
4. Hoe kan de gekozen interventie gemodelleerd worden (hoofdstuk 5)?
  - (a) Welk type wiskundig model kan gebruikt worden voor de modellering?
  - (b) Welke verschillende scenario's kunnen we doorrekenen voor de gekozen interventie?
5. Wat zijn de aanbevelingen en conclusies (hoofdstuk 6)?

- (a) Wat zijn de rekenresultaten die het model geeft, als de gekozen interventie wordt toegepast op MST?
- (b) Welke interventies worden aangeraden voor de CT?

## Hoofdstuk 2

# Context CT: de huidige situatie in MST

*In dit hoofdstuk wordt gekeken naar hoe de situatie van de CT er momenteel uitziet in het MST. We bekijken het aantal patiënten en medewerkers, het specialisme van de aanvragers en de typen patiënten in paragraaf 2.1. In paragraaf 2.2 wordt de planning van de CT beschreven en hoe een CT-scan gemaakt wordt. De huidige prestatie staat beschreven in paragraaf 2.3. Denk hierbij aan bijvoorbeeld de toegangstijd en de wachttijd voor een CT-scan. In paragraaf 2.4 staat beschreven wat de bottlenecks zijn en in hoeverre deze van invloed zijn op het proces. De conclusies die getrokken worden uit dit hoofdstuk staan beschreven in paragraaf 2.5.*

Veel van de data die gegeven is in dit hoofdstuk komt uit Rados. Rados is het radiologie informatie systeem van de afdeling radiologie.

### 2.1 Procesbeschrijving

In paragraaf 1.2 staat een beschrijving van MST. Aangezien het onderzoek betrekking heeft op de afdeling radiologie, volgt hieronder eerst informatie over deze afdeling. Omdat het onderzoek zich focust op de CT, wordt ook informatie specifiek over de CT gegeven.

#### 2.1.1 De afdeling radiologie

Het grootste gedeelte van de radiologie afdeling van MST bevindt zich te Enschede, op locatie Haaksbergerstraat. Op de andere locaties en de buitenpoliklinieken staat echter ook apparatuur van de afdeling radiologie. Tabel 2.1 bevat een overzicht van het beschikbare aantal kamers per modaliteit en per locatie.

Niet alle aanwezige apparatuur staat in Tabel 2.1. De OK beschikt bijvoorbeeld over verrijdbaar röntgenapparatuur dat gebruikt kan worden tijdens operaties. Deze apparaten worden niet door de afdeling radiologie ingepland. De afdeling heeft wel dagelijks een aantal laboranten in de planning staan, die naar verschillende afdelingen in het ziekenhuis gaan om ter plekke foto's te maken.

Wanneer er meerdere kamers zijn met dezelfde apparatuur, zijn deze niet altijd gelijkwaardig. Dit kan komen door de ligging van de kamers. Er staan op locatie Haaksbergerstraat drie buckykamers bij de SEH. De andere vier buckykamers staan op de afdeling radiologie, één daarvan wordt alleen voor klinische patiënten gebruikt. Bij de CT is het zo dat een aantal specifieke onderzoeken door slechts één van de twee apparaten gedaan kan worden, hetzelfde geldt voor de MRI.

Het aantal onderzoeken dat gedaan wordt in een kamer, hangt af van het type apparaat. Een

**Tabel 2.1:** *Overzicht aantal kamers afdeling radiologie, per locatie, in 2010.*

Locatie Kamer	Enschede (Haaksbergerstraat)	Enschede (Ariënsplein)	Oldenzaal	Haaksbergen	Losser
Bucky	4	1	1	1	1
Echo	4	-	1	1	-
Mammo	1	-	1	-	-
Dexa	1	-	-	-	-
Angio	1	-	-	-	-
Doorlichting	1	1	1	-	-
CT	2	-	-	-	-
MRI	2	-	-	-	-

foto maken in een buckykamer kan binnen 2 minuten gebeuren (mits de patiënt goed ter been is). Terwijl een onderzoek met de MRI, afhankelijk van het onderzoek, anderhalf uur kan duren.

Tabel 2.2 is soortgelijk aan Tabel 2.1. In plaats van het aantal kamers, staat nu het aantal onderzoeken dat is gedaan in 2010. Achter n.v.t. staan de aantallen onderzoeken die niet gedaan zijn in één van de kamers. Hieronder vallen verkeerd geboekte onderzoeken (waarbij de planner bijvoorbeeld een verkeerde kamer of locatie inboekt), maar ook de onderzoeken met verrijdbaar apparatuur. Omdat locatie Haaksbergerstraat meerdere OK's heeft en over een groot aantal bedden beschikt, heeft deze locatie hier een groot aantal staan. In totaal zijn er 212.661 onderzoeken gedaan in 2010.

**Tabel 2.2:** *Aantal onderzoeken in 2010, per locatie en kamertype. Bron: Rados.*

Locatie Kamer	Enschede (Haaksbergerstraat)	Enschede (Ariënsplein)	Oldenzaal	Haaksbergen	Losser
Bucky	75.877	14.237	17.670	9.112	4.517
Echo	23.859	-	6.405	3.059	-
Mammo	4.524	-	2.183	-	-
Dexa	1.457	-	-	-	-
Angio	2.448	-	-	-	-
Doorlichting	1.529	603	51	-	-
CT	13.878	-	-	-	-
MRI	9.720	-	-	-	-
n.v.t.	20.303	931	256	42	0
Totaal	153.595	15.771	26.565	12.213	4.517

De afdeling heeft naast het apparatuur ook personeel nodig die het apparatuur kan bedienen, zie Tabel 2.3.

In de nieuwbouw zal de afdeling radiologie uitgebreid worden. Er zal (waarschijnlijk) een derde CT-scanner komen, deze wordt bij de trauma afdeling geplaatst. De spoedpatiënten hoeven hierdoor niet meer naar de afdeling radiologie te komen. Als consequentie zullen waarschijnlijk meer onderzoeken gedaan worden, waarvoor meer medewerkers nodig zijn.

### 2.1.2 Onderzoeken van de CT

Een patiënt kan niet zelf een CT onderzoek aanvragen, dit moet door een specialist of huisarts gedaan worden. Om meer informatie te verkrijgen over hoe de patiënten ingepland moeten worden,

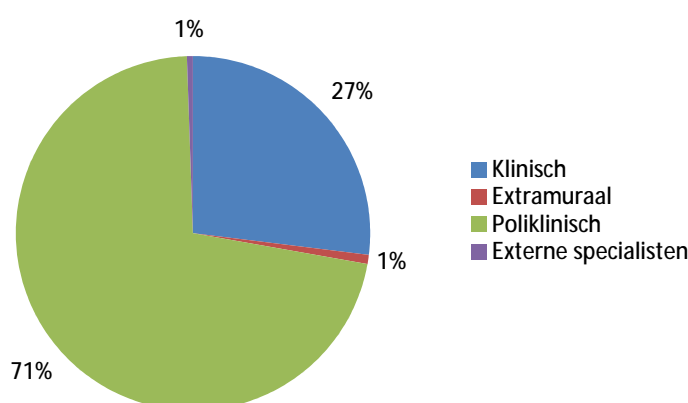


**Tabel 2.3:** Aantal medewerkers en fte's afdeling radiologie, op 28-02-2011. Bron: afdeling radiologie, MST.

Functie	Medewerkers	Fte's
Management	8	5,2
Radioloog	16	15,0
Aios (assistent Radioloog)	8	7,8
Administratief medewerker	14	10,0
Typist	3	1,4
Applicatiemedewerker	5	4,3
Echografie laborant	11	8,2
Radiodiagnostisch laborant	62	51,0
Leerling radiodiagnostisch laborant	8	8,0
Totaal	134	110,9

zullen we de aanvragers onderzoeken. We kijken hierbij naar de categorie en het specialisme van de aanvrager. Op basis van deze informatie, kunnen later de patiëntstromen gemodelleerd worden.

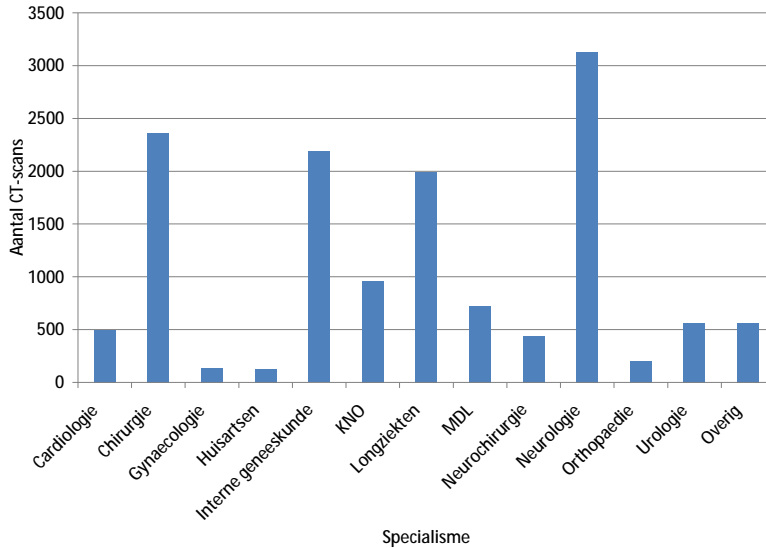
De patiënten kunnen in vier categorieën worden ingedeeld: extramuraal, klinisch, poliklinisch en externe specialisten. Figuur 2.1 laat de verhoudingen tussen deze categorieën zien. De categorie extramuraal bestaat volledig uit patiënten die rechtstreeks door hun huisarts zijn gestuurd. Klinische patiënten verblijven in het ziekenhuis, poliklinische patiënten zijn voor en na de behandeling thuis. Voor (poli)klinische patiënten wordt het onderzoek aangevraagd door een specialist van MST. Onder externe specialisten vallen specialisten die niet (direct) met MST verbonden zijn, bijvoorbeeld een revalidatie arts. Het totaal aantal onderzoeken in 2010 op de CT was 13.878, zie Tabel 2.2.



**Figuur 2.1:** Aanvragers onderzoeken CT in 2010, onderverdeeld in categorieën. Bron: Rados.

Figuur 2.2 laat zien hoeveel onderzoeken de verschillende specialismen hebben aangevraagd bij de afdeling CT. Voor de duidelijkheid van de grafiek, zijn alleen de specialismen gespecificeerd die in 2010 gezamenlijk meer dan 100 aanvragen hebben ingediend bij de afdeling radiologie. De

specialismen met minder dan 100 aanvragen in 2010 zijn samengenomen in de groep overige.



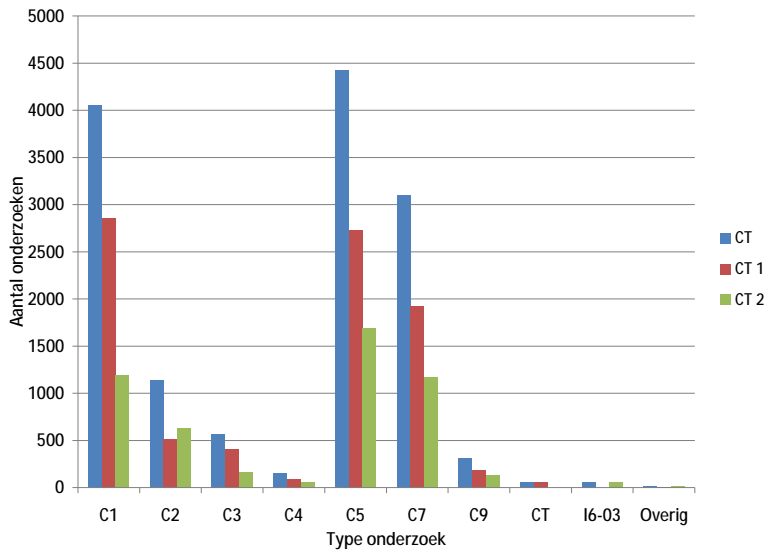
**Figuur 2.2:** Aanvragers onderzoeken CT in 2010, onverdeeld in specialismen. Bron: Rados.

Een aantal specialismen stuurt aanzienlijk meer patiënten naar de CT in vergelijking met andere. De verwachting is dat een specialisme belangrijker is voor de planning naarmate deze meer onderzoeken aanvraagt. Neurologie vraagt de meeste onderzoeken per jaar aan, een groot deel hiervan is spoed.

Nu bekend is wie de aanvragers zijn, kijken we naar het type onderzoek dat aangevraagd wordt. Het menselijk lichaam is in verschillende codes verdeeld. Daarnaast zijn er extra codes voor specifieke behandelingen en patiëntgroepen. Figuur 2.3 laat zien hoeveel onderzoeken per type zijn gedaan in 2010. De eerste kolom is het totale aantal, de andere twee kolommen zijn de aantallen per CT-scanner. Tabel 2.4 geeft uitleg welk type onderzoek voor de gebruikte codes staat.

**Tabel 2.4:** Uitleg codes gebruikt in Figuur 2.3

Code	Type Onderzoek
C1	Schedel, sella
C2	Aangezicht
C3	Wervelkolom
C4	Bovenste extremiteit(en)
C5	Thorax
C7	Abdomen
C9	Bekken gordel, onderste extremiteiten
CT	Trauma
I6-03	Biopsie, punctie
Overig	Overig



*Figuur 2.3: Aantal onderzoeken in 2010 per type onderzoek, per CT. Bron: Rados*

## 2.2 Besturing

Het maken van een CT-scan bestaat uit een aantal stappen. Wanneer een specialist (of huisarts in uitzonderlijke gevallen, zie Figuur 2.1,) besluit dat een patiënt een CT-scan nodig heeft, moet deze eerst worden ingepland. De planning van de modaliteit en het personeel zal in deze paragraaf besproken worden. Verder bestaat het onderzoek uit een aantal stappen, deze worden ook in deze paragraaf besproken.

### 2.2.1 Planning van een CT-scan

Dagelijks komen bij de administratie aanvraagformulieren binnen voor een CT-scan. Bij het aanvraagformulier zit ook een contrastformulier. Het contrastformulier is nodig, omdat patiënten bij een CT-scan vaak (oraal en/of intraveneus) contrast toegediend krijgen. Met behulp van het contrastformulier kan worden bepaald of de patiënt contrast toegediend mag krijgen. Deze formulieren worden door een radioloog bekeken, mits ze compleet en duidelijk zijn. Indien het aanvraag- of contrastformulier onduidelijk of onvolledig is, wordt het formulier teruggestuurd. De radiologie afdeling is bezig met het vernieuwen van het aanvraag- en contrastformulier om dit te voorkomen. Daarnaast is men bezig om de aanvragen te digitaliseren, waardoor fouten niet meer mogelijk zouden moeten zijn.

Een radioloog bepaalt of het onderzoek, dat is aangevraagd, ingepland mag worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld ook gekeken of een CT-scan wel nodig is. Wanneer de radioloog de aanvraag heeft afgetekend, gaat het aanvraagformulier terug naar de administratie. Eén van de administratief medewerkers is dagelijks bezig de afspraken voor de CT te plannen. Hiervoor belt men de patiënt om een afspraak te plannen, tenzij de afspraak pas op lange termijn gepland hoeft te worden. In dat geval krijgt de patiënt een brief thuis gestuurd met de datum en het tijdstip van de afspraak. In de brief staat uitgelegd hoe het onderzoek gedaan wordt. Als de patiënt van tevoren contrast moet drinken staat dit ook in de brief uitgelegd, evenals de mogelijke bijwerkingen van het contrast en medicijnen waar het niet mee gecombineerd mag worden.

De planning wordt handmatig in een boek gedaan. De afspraak wordt vervolgens ook in Rados (het radiologie informatie systeem) gezet. Rados is noodzakelijk voor de werkljst van de CT.

MST beschikt over twee CT-scanners, voor het gemak worden ze CT 1 (Toshiba Aquilion<sup>TM</sup> 64 CT-scanner) en CT 2 (Toshiba Aquilion<sup>TM</sup> 16 CT-scanner) genoemd. CT 1 is nieuwer en sneller, een aantal onderzoeken kan hierdoor alleen op CT 1 uitgevoerd worden. De administratief medewerker heeft bij het plannen een aantal regels waaraan hij/zij zich dient te houden:

- De agenda is verdeeld in blokken van 10 (alleen CT 2), 15, 20 en 30 minuten.
  - CT 2 heeft dagelijks twee blokken van 10 minuten. Deze zijn bestemd voor een schedelonderzoek.
  - Een blok van 15 minuten begint op beide scanners dagelijks om 8:15 uur. Deze is bestemd voor twee schedelonderzoeken, waarbij geen contrast wordt toegediend.
  - Blokken van 20 minuten komen het meeste voor; 18 op CT 1 en 17 op CT 2. Op CT 1 wordt op alle dagen m.u.v. dinsdag één van deze blokken gereserveerd voor twee schedelonderzoeken. Op dinsdag worden op CT 1 drie keer drie blokken van 20 minuten gereserveerd voor de afdeling cardiologie. Om 13:00, 14:00 en 15:00 uur.
  - Van de drie blokken van 30 minuten, is één bestemd voor IC patiënten.
- CT pallidotomie/stereotaxie, CT larynx en CTA buikvaten worden alleen op CT 1 gedaan.
- Punctie en biopsie worden alleen op CT 2 gedaan.
  - Hiervoor worden twee blokken van 20 minuten ingepland.
- In de agenda staat dagelijks bij drie blokken van 30 minuten en vijf blokken van 20 minuten (m.u.v. dinsdag op CT 1, dan zijn dit er maar twee), dat ze voor spoed gebruikt kunnen worden. Op elke scanner moeten minimaal vier van deze blokken daadwerkelijk vrijgehouden worden voor spoedpatiënten, bij voorkeur na 12:00 uur. Als de vrijgehouden blokken later op de dag zijn, is de kans groter dat ze worden gevuld. Omdat de patiënten die in de loop van de dag zijn aangemeld, dan ingepland kunnen worden. Aan het begin van de dag zijn er nog geen patiënten aangemeld.
  - Wanneer één scanner dicht is (bijvoorbeeld wegens onderhoud of vakantie), moeten minimaal acht blokken voor spoedpatiënten vrijgehouden worden op de andere scanner.
  - De laatste plek (16:00 - 16:30 uur) wordt altijd vrijgehouden voor spoedpatiënten. Een uitzondering hierop is als er een besmette patiënt is. Deze patiënten worden bij voorkeur op de laatste plek gepland, omdat de scanner aan het eind van de dag wordt schoongemaakt.
- Van 12:30 t/m 13:00 uur worden er geen patiënten ingepland, i.v.m. de lunchpauze van de laboranten.
  - Rond 10:00 en 15:00 uur houden de laboranten vaak een koffiepauze. Hiervoor worden geen blokken vrijgehouden in de agenda, maar de administratief medewerkers proberen wel om geen ‘lastige’ onderzoeken rond die tijd te plannen.
- Voor klinische patiënten wordt geprobeerd om ze binnen één, hooguit twee, dag(en) in te plannen. De overige patiënten krijgen meestal een afspraak na ongeveer een week.
- Voor spoedpatiënten belt de trauma afdeling direct met de CT laboranten. De laboranten zetten deze patiënten in Rados. Hetzelfde gebeurt voor patiënten van de IC, deze patiënten hebben in principe ook spoed, maar meestal in mindere mate dan de patiënten van de trauma. Afhankelijk van de agenda wordt dan met de laborant een tijdstip afgesproken dat de patiënt kan komen.

De bovengenoemde regels zijn niet allen even strikt. Zo worden bijvoorbeeld de 10 en 20 minuten blokken voor de schedelonderzoeken met contrast verschoven, als dat beter uitkomt voor de patiënt(en). De planning wordt niet dagelijks door dezelfde administratief medewerker gedaan. Hierdoor kunnen ‘persoonlijke’ verschillen ontstaan, bijvoorbeeld omdat de ene medewerker kijkt naar het eerst mogelijke tijdstip, terwijl een ander kijkt naar wat er over een week vrij is.

Alle laboranten werken op de algemene radiologie. Daarnaast hebben de meeste laboranten één of

twee specialisaties. De mogelijke specialisaties zijn: CT, MRI en Angiografie en interventie (Angio). De laboranten worden dagelijks ingedeeld bij een modaliteit, afhankelijk van hun specialisatie(s). Hierbij wordt geprobeerd om de laboranten te rouleren over de verschillende modaliteiten. De Echo wordt alleen bedient door Echo-laboranten, zij staan ook niet bij de andere modaliteiten. Van de 62 radiodiagnostische laboranten (Tabel 2.3) hebben 14 de specialisatie CT. Van deze 14 laboranten hebben acht nog een tweede specialisatie (MRI of Angio). De inzet van deze laatste groep laboranten wordt verdeeld over beide specialisaties. Van de 14 laboranten met een CT specialisatie werken er vier deeltijd, twee daarvan hebben een dubbele specialisatie.

De leerling laboranten lopen dagelijks mee met een laborant. Afhankelijk van het jaar van hun studie waar ze zich in bevinden, mogen ze bepaalde activiteiten verrichten. Ze lopen meestal mee op de algemene radiologie. Een klein gedeelte van hun opleiding lopen ze mee bij de specialisaties.

Voor de CT worden dagelijks vier laboranten ingepland. Wanneer op één van de twee scanners geen programma is, worden drie laboranten ingepland. Op deze manier kan sneller gewerkt worden en mocht de nood hoog zijn, dan kan de andere scanner gebruikt worden (tenzij er onderhoud is). Het zal niet voorkomen dat beide scanners dicht zijn, omdat MST een traumacentrum is en dat betekent dat er altijd een operationele CT moet zijn.

De werktijden van de CT laboranten zijn van 8:00 t/m 16:30 uur. Van 12:30 t/m 13:00 uur hebben ze lunchpauze. De tijd buiten deze werktijden noemen we de dienst. De dienst is dus op werkdagen van 16:30 uur t/m 8:00 uur de volgende dag en in de weekenden en op feestdagen de gehele dag. Wanneer een spoed CT-scan nodig is gedurende de dienst, wordt een laborant (de achterwacht) met de specialisatie CT gebeld. Deze moet binnen 20 minuten bij het ziekenhuis kunnen arriveren. Op werkdagen heeft de achterwacht dienst van 16:30 t/m 8:00 uur de volgende dag. In het weekend heeft een achterwacht een dienst van 8:00 t/m 8:00 uur de volgende dag. CT 1 blijft altijd aan staan, CT 2 wordt uitgeschakeld aan het eind van de werkdag. Omdat CT 1 ook nieuwer en sneller is, wordt CT 1 door de achterwacht gebruikt voor CT-scans gedurende de dienst.

Tijdens werktijd zitten twee radiologen in een kamer naast de CT-scanners de onderzoeken te verslaan. Elke radioloog hoort in principe bij één CT-scanner. Wanneer een CT dicht is, wordt ook maar één radioloog ingepland. Af en toe zit er ook een aios (arts in opleiding tot assistent) bij die meehelpt met het verslaan van de onderzoeken. De radiologen tekenen in de ochtend alle onderzoeken af, m.u.v. de schedelonderzoeken zonder contrast, daar is dat niet voor nodig. Bij het aftekenen bepaalt de radioloog wat het protocol voor de scan is. Als de patiënt een intraveneus contrast toegediend krijgt, moet een bepaalde tijd gewacht worden voordat de scan gemaakt kan worden. Hoe lang gewacht moet worden, staat in het protocol dat de radioloog opstelt bij het aftekenen. Het is nodig dat een radioloog aanwezig is, omdat er soms twijfel is of de CT-scan gelukt is (bijvoorbeeld omdat een patiënt halverwege niest). Een extra scan betekent dat de patiënt weer bestraald wordt en eventueel weer contrast toegediend krijgt. Een radioloog kan beoordelen of een nieuwe scan nodig is. Totdat de radioloog dit heeft bepaald, blijft de patiënt op de CT-scanner liggen. Omdat de kamer hierdoor bezet is tot de radioloog komt, is er voor gekozen om de radiologen in de buurt te houden. Verder kan het gebeuren, ook al is dit zelden, dat bij een patiënt een allergische reactie optreedt door het contrast. Wanneer dit gebeurt, is het belangrijk dat de radioloog snel ter plekke is. Ook daarom zijn de radiologen in de buurt. In vakanties zijn minder radiologen aanwezig. Als het er te weinig zijn, wordt er soms voor gekozen om één CT dicht te doen. De aanvraag voor CT scans daalt vaak ook in de vakanties, voornamelijk doordat een groot gedeelte van de aanvragende specialisten en de patiënten er dan niet zijn.

Soms moet de radioloog ook zelf bij de scan aanwezig zijn, bijvoorbeeld bij een punctie en biopsie. Het kan ook nodig zijn dat een andere specialist aanwezig is. Bij sommige hartonderzoeken bijvoorbeeld, zoals die op dinsdag op CT 1, moet een cardioloog aanwezig zijn. Daarom worden deze afspraken na elkaar gepland (in één blok).

De radiologen en de artsen in opleiding tot assistent werken dagelijks van 8:00 t/m 18:00 uur. Van 18:00 t/m 8:00 uur werkt één aios de nachtdienst. Eén radioloog is dan de achterwacht, voor het geval de aios de scan van een spoedpatiënt niet goed kan beoordelen. De weekenddiensten zijn, net als bij de laboranten, van 8:00 t/m 8:00 uur de volgende dag. Echo onderzoeken in de dienst worden door de aanwezige aios gedaan. De algemene radiologie, MRI, CT en Angio hebben een separate achterwacht en dienst.

### 2.2.2 Een CT-scan maken

Nadat een afspraak is gemaakt, kan de scan worden gemaakt. Dit vindt plaats in een aantal stappen. De scan zal nu per stap besproken worden.

1. *De patiënt meldt zich bij de receptie.*  
Een administratief medewerker zet in Rados dat de patiënt gearriveerd is. De patiënt neemt plaats in de wachtruimte. De laboranten kunnen de patiënt dan zien in de wachtkamerlijst in Rados. Hierdoor kan een patiënt die te vroeg is, alvast worden gescand als daar de mogelijkheid voor is. Klinische patiënten worden aangemeld door de verpleging die ze naar de radiologie brengt. Ze worden dan eventueel met bed en al in de wachtkamer gezet. Spoedpatiënten worden door de laboranten zelf aangemeld, wanneer de afspraak is gemaakt.
2. *De patiënt wordt opgehaald door een laborant.*  
Poliklinische patiënten worden naar de omkleedruimte verwezen. Klinische patiënten en spoedpatiënten worden de CT kamer naar binnen gereden, met bed en al.
3. *De patiënt kleedt zich uit.*  
Poliklinische patiënten kunnen zich uitkleden in de omkleedruimte. Dunne kleding, zonder ritsen e.d. mag de patiënt aanhouden. Klinische patiënten zijn al gekleed voor een scan als ze de kamer inkomen.
4. *De patiënt neemt plaats op de CT-scanner.*  
Patiënten die goed ter been zijn, kunnen zelf op de scanner gaan liggen. De overige patiënten worden geholpen of op de scanner gelegd door de laboranten.
5. *Een laborant plaatst een infuus.*  
Wanneer een patiënt intraveneus contrast toegediend moet krijgen bij de scan, wordt hiervoor een infuus aangelegd door één van de laboranten. Klinische patiënten hebben vaak al een infuus, dit infuus wordt dan gecontroleerd. Contrast is niet altijd nodig, voor ongeveer 20 % van de patiënten is deze stap niet nodig.
6. *Een laborant start de scan.*  
Een laborant selecteert het type scan, op basis van het protocol dat de radioloog heeft bepaald, en start de scan.
7. *Een laborant controleert de positie van het infuus en start de toevoer van contrast.*  
Om te controleren of het contrast goed wordt toegediend, is het nodig dat een laborant zijn hand op het infuus legt terwijl het contrast erdoorheen stroomt. De andere laborant start het infuus. Tijdens de dienst, als maar één laborant aanwezig is, worden beide stappen door één laborant gedaan. Deze stap is niet nodig bij de patiënten die geen contrast toegediend krijgen.
8. *De scan is klaar.*  
Als de patiënt contrast toegediend heeft gekregen, wordt het infuus verwijderd door de laboranten. Voordat ze dit doen, kijken ze of de patiënt geen reactie heeft gekregen op het contrast, bijvoorbeeld een benauwd of misselijk gevoel. Aan alle patiënten (die bij bewustzijn zijn) wordt gevraagd of ze nog vragen hebben en of ze al een vervolgspraak hebben gemaakt bij de aanvrager van de scan om de resultaten te bespreken.
9. *De beelden worden verstuurd naar PACS en Vitrea.*  
Als de scan klaar is worden de gemaakte beelden automatisch naar PACS en Vitrea verstuurd. Alle beelden worden naar Vitrea verstuurd, PACS krijgt slechts een gedeelte van de beelden. PACS is een beeldverwerkend systeem dat het mogelijk maakt om via computers de digitale beelden te verwerken, archiveren en verspreiden. PACS is er niet alleen voor de

afdeling radiologie, maar ook voor de andere afdelingen van MST. Zo kunnen de aanvragende specialisten de scan bekijken, meteen nadat deze gemaakt is. Vitrea is een soortgelijk programma, maar met meer opties om de beelden te bewerken. Vitrea is er voor de afdeling radiologie, de radiologen bekijken en bewerken de beelden hierin. De bewerkte beelden worden vervolgens naar PACS gestuurd. Aan de hand van deze bewerkingen wordt het verslag gemaakt. Bij een spoedpatiënt kan de aios of radioloog gevraagd worden het onderzoek meteen te bekijken, dus nog voor de beelden worden verstuurd naar PACS en Vitrea.

10. *De patiënt kleedt zich aan en vertrekt.*

Poliklinische patiënten kunnen zich aankleden in de omkleedruimte en daarna vertrekken. Voor klinische patiënten wordt de afdeling gebeld waar ze heen moeten, met de melding dat de patiënt opgehaald kan worden. Als daar tijd voor is, wordt de afdeling al gebeld voor de scan klaar is. Zo hoeft de patiënt niet zo lang te wachten tot hij wordt opgehaald.

## 2.3 Prestatie

Om te bepalen hoe de afdeling presteert, bekijken we eerst wat onder prestatie wordt verstaan. We bekijken wat de gestelde norm is voor de verschillende indicatoren en wat de huidige prestatie van deze indicatoren is. De prestatie wordt door de verschillende belanghebbenden anders bekeken. De belanghebbenden zijn onder andere: patiënten, laboranten, radiologen, verwijzende specialisten, zorgverzekeraars en het management van de radiologie. De verschillende belangen kunnen tegenstrijdig zijn. Een aantal voorbeelden:

- Patiënten willen goed en snel (korte wachttijd en toegangstijd) geholpen worden.
- Laboranten vinden de kwaliteit van het werk en het dagelijks programma op tijd afkrijgen belangrijk.
- Zorgverzekeraars vinden kostenbesparing belangrijk.
- Andere afdelingen van MST willen snel of direct geholpen worden door de radiologie.

Het onderzoek wordt in opdracht van de afdeling radiologie gedaan. Daarom kijken we naar de belangen, vanuit deze afdeling. Hierbij wordt wel rekening gehouden met wat de invloeden zijn op de overige belanghebbenden. Vooral de invloed op de patiënten wordt door de afdeling als belangrijk ervaren. We zullen nu de prestatie bekijken van de belangrijkste elementen:

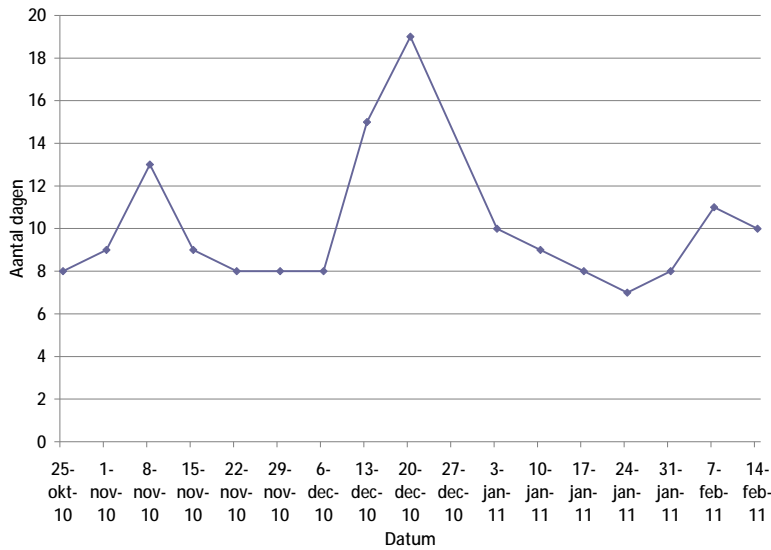
1. Toegangstijd
2. Wachttijd
3. Werkdruk
4. Tijd tussen scan en verslag
5. Spoed tijdens werktijd en dienst

### 2.3.1 Toegangstijd

De toegangstijd wordt gemeten in het aantal dagen dat men moet wachten vanaf de dag van de aanvraag tot de dag van de afspraak. De toegangstijd voor klinische patiënten is momenteel 0 à 2 dagen. Neurologie patiënten (zonder directe spoed) kunnen binnen 3 à 4 dagen terecht. Voor de overige patiënten varieert de toegangstijd, zie Figuur 2.4.

De piek in december 2010 is te verklaren door het feit dat CT 2 dicht is geweest in de weken van 20 en 27 december. Een groot aantal radiologen en laboranten was toen afwezig in verband met de kerstvakantie. De gewenste toegangstijd voor patiënten zonder spoed is 0 à 1 dag. Het is duidelijk te zien dat de toegangstijd daar ruim boven ligt.

In Tabel 2.5 is de gemiddelde toegangstijd te vinden van alle poliklinische patiënten zonder spoed, in een periode van vier weken. Voor dezelfde groep van patiënten zijn in de komende paar paragrafen een aantal andere resultaten te vinden.



**Figuur 2.4:** Gemiddelde toegangstijd CT voor poliklinische patiënten zonder spoed. Gemeten op maandagen van 25 oktober 2010 t/m 14 februari 2011. Bron: Rados.

**Tabel 2.5:** Toegangstijd in dagen van poliklinische patiënten zonder spoed in MST, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.

Gemiddelde	12,0
Standaardafwijking	12,3

### 2.3.2 Wachtijd

Om de wachttijd van de patiënten te bepalen, zijn drie van de acht tijdstippen die genoemd zijn in paragraaf 1.3.2 van belang. Dit zijn de tijdstippen:

2. waarop de patiënt zich meldt of wordt gemeld (als de patiënt is opgenomen in het ziekenhuis) bij de afdeling radiologie,
3. van de afspraak,
4. waarop de patiënt wordt opgehaald door een laborant.

Aan de hand van deze tijdstippen kan de wachttijd worden bepaald. We maken onderscheid tussen drie soorten wachttijd:

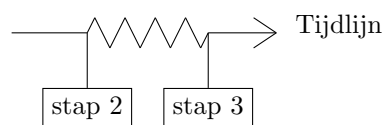
- *Vrijwillige wachttijd*

Wanneer een patiënt de afspraak maakt, wordt hem gevraagd een kwartier voor het begin van het onderzoek aanwezig te zijn. Patiënten zijn er vaak nog eerder dan de gevraagde 15 minuten. Als de laboranten klaar zijn met de vorige patiënten, kan een patiënt die al aanwezig is, behandeld worden vóór het tijdstip waarop de afspraak is. Omdat de afspraaktijd nog niet is geweest als de patiënt zich meldt (m.u.v. een enkele patiënt die te laat is), wordt deze wachttijd vrijwillig genoemd. De vrijwillige wachttijd is het verschil tussen het tijdstip waarop de patiënt zich meldt bij de receptie van de afdeling en het tijdstip van de afspraak. Wanneer deze tijd negatief is, is de patiënt te laat.

- *Echte wachttijd*

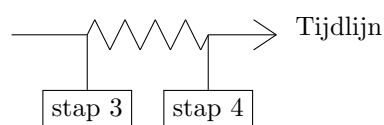
Als een patiënt een afspraak heeft, wil hij op het tijdstip van de afspraak behandeld worden. De tijd tot het begin van de behandeling, wordt gerekend tot de echte wachttijd. De echte





**Figuur 2.5:** Vrijwillige wachttijd

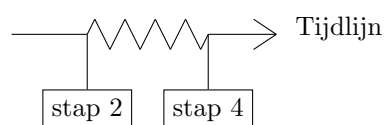
wachttijd is het verschil tussen het tijdstip van de afspraak en het tijdstip waarop de patiënt wordt opgehaald door een laborant. Wanneer deze tijd negatief is, is de patiënt behandeld voor het tijdstip van de afspraak.



**Figuur 2.6:** Echte wachttijd

- *Totale wachttijd*

De vrijwillige en de echte wachttijd vormen bij elkaar opgeteld de totale wachttijd. De totale wachttijd is dus het verschil tussen het tijdstip dat de patiënt zich meldt bij de receptie van de afdeling en het tijdstip dat de patiënt wordt opgehaald door een laborant.



**Figuur 2.7:** Totale wachttijd

De spoedpatiënten worden niet meegenomen in de berekeningen van de hiervoor besproken wachttijden. We nemen alleen de poliklinische patiënten zonder spoed mee. Tabel 2.6 bevat de wachttijden in minuten van deze patiënten, van week 7 t/m week 10 in 2011. Klinische patiënten worden door de verpleging van hun afdeling gebracht en opgehaald, hierdoor ervaren zij de wachttijd anders. Hetzelfde geldt voor spoedpatiënten.

**Tabel 2.6:** Wachttijden in minuten van poliklinische patiënten zonder spoed in MST, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.

Type wachttijd	Gemiddelde	Standaardafwijking
Vrijwillig	21,6	21,3
Echt	-1,5	25,5
Totaal	20,1	18,6

De gemiddelde vrijwillige wachttijd ligt boven de 15 minuten die van de patiënten gevraagd wordt. Dit betekent dat een deel van de patiënten nog eerder komt dan van ze gevraagd wordt.

De afdeling heeft de voorkeur uitgesproken dat poliklinische patiënten met een afspraak maximaal tien minuten wachttijd hebben. Hiermee wordt de 'echte' wachttijd bedoeld. Het gemiddelde van de echte wachttijd laat zien dat patiënten momenteel gemiddeld ongeveer twee minuten voor het tijdstip van hun afspraak geholpen worden. Omdat de standaardafwijking bijna een half uur

is, kunnen we stellen dat de wachttijd lang niet altijd aan de gestelde eis (van maximaal tien minuten) voldoet.

Het gemiddelde van de totale wachttijd is gelijk aan de som van de gemiddelden van de vrijwillige en echte wachttijd. De standaardafwijking is echter lager. Dit betekent dat de waarden van de totale wachttijd dichter bij elkaar liggen. Dit valt te verklaren. Stel een patiënt is 40 minuten te vroeg, dan is zijn vrijwillige wachttijd 40 minuten. Doordat de patiënt zo vroeg is, kan hij ook vroeg geholpen worden (mits daar een mogelijkheid voor is). Als hij 20 minuten later wordt geholpen is zijn echte wachttijd -20 minuten. De vrijwillige en echte wachttijd liggen nu ver af van de gemiddelden. Maar de totale wachttijd is 20 minuten en ligt dus wel in de buurt van het gemiddelde. Een soortgelijke redenering is van toepassing voor patiënten die erg laat zijn.

### 2.3.3 Werkdruk

In januari 2011 is een enquête gehouden over de werkdruk, onder de laboranten en radiologen. De resultaten van deze enquête worden in deze paragraaf besproken.

Aan de radiologen en laboranten is gevraagd een cijfer te geven voor de werkdruk, waarbij 1 staat voor een zeer lage werkdruk en 10 staat voor een zeer hoge werkdruk. De laboranten gaven een gemiddelde van 6,12 en de radiologen gaven een gemiddelde van 7,36. Van de laborantenervaart bijna de helft een normale werkdruk, de andere helft ervaart een werkdruk die hoger ligt. Slechts 2 % ervaart een zeer hoge werkdruk. Bij de radiologen ligt dit anders. Minder dan 20 % ervaart de werkdruk als normaal en de helft van de radiologen ervaart de werkdruk als hoog tot zeer hoog. Dit betekent een cijfer van 8 of hoger.

In de enquête is ook gekeken naar hoe vaak het personeel onderbroken wordt in het werk. De vier antwoordmogelijkheden waren: nooit, zelden, regelmatig en vaak. Ruim 60 % van de laboranten worden regelmatig tot vaak gestoord gedurende hun werkzaamheden. Ongeveer 5 % wordt nooit gestoord. De overige laboranten worden zelden gestoord. De radiologen worden veel vaker gestoord tijdens hun werkzaamheden. Bijna 20 % van de radiologen geeft aan regelmatig gestoord te worden. Ruim 80 % geeft aan vaak gestoord te worden in hun werkzaamheden.

Er is ook een vraag gesteld in de enquête specifiek over de CT. Hierbij werd gevraagd hoe vaak het voorkwam dat het programma uitliep. De radiologen gaven vaker dan de laboranten aan, dat het programma uitliep. De radiologen gaven aan dat het programma twee keer per week of vaker uitliep. De laboranten gaven juist aan dat het programma twee of minder keer per week uitliep. Dit verschijnsel kan verklaard worden. De laboranten zijn klaar zodra de laatste patiënt gescand is, dit onderzoek moet dan echter nog verslagen worden door een radioloog. Daarnaast worden de radiologen ook vaker gestoord in hun werkzaamheden.

### 2.3.4 Tijd tussen scan en verslag

Nadat een CT-scan is gemaakt, wordt deze verslagen door een radioloog. Een aanvragende specialist kan de beelden een paar minuten nadat de scan is gemaakt, bekijken in PACS (paragraaf 2.2.2). Maar een radioloog maakt het verslag. De prestatie van de afdeling hangt daarom onder andere af van hoe snel de onderzoeken beoordeeld worden. In Tabel 2.7 is te vinden hoe lang het duurt voordat een scan beoordeeld is. Deze tijd wordt gemeten vanaf het moment van de afspraak tot het moment dat de scan is beoordeeld door een radioloog of aios.

Het duurt gemiddeld bijna anderhalve dag voordat een onderzoek beoordeeld is door een radioloog. De standaardafwijking is echter ruim twee dagen. De meeste onderzoeken worden doordeweeks beoordeeld. Een onderzoek dat plaatsvindt op vrijdagmiddag en niet diezelfde dag beoordeeld wordt, kan pas de daarop volgende maandag beoordeeld worden. Om de gegevens uit Tabel 2.7

**Tabel 2.7:** *Tijdsduur, in uren en in dagen, totdat de beelden van een CT-scan (van een poliklinische patiënt zonder spoed) zijn verslagen in MST, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.*

Tijdsduur	Gemiddelde	Standaardafwijking
Uren	34,6	52,6
Dagen	1,4	2,2

beter te kunnen analyseren, zullen we dezelfde gegevens per werkdag bekijken.

**Tabel 2.8:** *Tijdsduur in dagen totdat de beelden van een CT-scan (van een poliklinische patiënt zonder spoed) zijn verslagen in MST. De duur is gemeten per werkdag, de gegeven werkdag is die van de dag waarop de scan is gemaakt, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.*

Werkdag	Gemiddelde	Standaardafwijking
Maandag	1,2	1,6
Dinsdag	1,5	2,6
Woensdag	1,5	2,2
Donderdag	1,0	2,2
Vrijdag	2,0	2,1

Uit de gegevens van Tabel 2.8 blijkt dat de gemiddelde tijd tot een onderzoek beoordeeld is, varieert per werkdag. Op vrijdag is dit gemiddelde het hoogst. Dit komt door het feit dat alles wat niet meteen op vrijdag wordt beoordeeld, pas de maandag erop beoordeeld kan worden. De onderzoeken die op donderdag plaatsvinden, worden het snelst beoordeeld, gemiddeld binnen één dag.

Verder valt op dat de standaardafwijking op de meeste dagen alsnog ruim twee dagen is. Een verklaring voor de verschillen tussen de werkdagen zou kunnen zijn dat het aantal geplande onderzoeken per werkdag veel verschilt. Als op de donderdagen bijvoorbeeld veel minder onderzoeken plaatsvinden, kunnen deze ook eerder beoordeeld worden. Dit is echter niet het geval, zie hiervoor Tabel 2.9.

**Tabel 2.9:** *Aantal en percentage van poliklinische patiënten zonder spoed die een onderzoek hebben gehad per werkdag, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.*

Werkdag	Aantal	Percentage
Maandag	140	20,0
Dinsdag	135	19,3
Woensdag	138	19,7
Donderdag	147	21,0
Vrijdag	139	19,9

Er is momenteel geen voorkeur uitgesproken door de afdeling voor de tijd dat het mag duren totdat een CT-scan is beoordeeld. Hierdoor kunnen we de gegevens uit tabellen 2.7, 2.8 en 2.9 niet beoordelen.

### 2.3.5 Spoed tijdens werktijd en dienst

Aangezien MST een traumacentrum is, is er altijd een functionele CT-scanner. Er wordt nu een overzicht gegeven van de spoedpatiënten die tijdens werktijd en tijdens de dienst worden be-

handeld. Tot spoedpatiënten worden patiënten gerekend die dezelfde dag nog geholpen (moeten) worden. Voor deze groep patiënten wordt niet van tevoren een afspraak gemaakt, de laboranten worden direct gebeld om een tijdstip af te spreken. Deze groep is daarom ook niet meegenomen in de berekening van de toegangstijd (paragraaf 2.3.1). We verdelen de patiënten nu in drie groepen:

- *Patiënten met een afspraak.*  
Deze groep patiënten heeft van tevoren een afspraak gemaakt. Ze worden tijdens de openingstijden van de afdeling (8:00 - 16:30 uur op werkdagen) behandeld.
- *Patiënten zonder een afspraak gedurende werktijd.*  
Voor deze groep patiënten is niet van tevoren een afspraak gemaakt. Maar ze worden wel tijdens de openingstijden van de afdeling behandeld, omdat ze dan worden aangemeld. Soms is er een aantal minuten uitloop op het programma (na 16:30 uur), dit wordt dan alsnog tot werktijd gerekend.
- *Patiënten zonder een afspraak gedurende de dienst.*  
Voor deze groep patiënten is ook niet van tevoren een afspraak gemaakt. Ze worden echter buiten de werktijd van de laboranten aangemeld.

Tabel 2.10 laat zien hoeveel patiënten, uit de drie verschillende groepen, onderzocht zijn in de periode van maandag 14 februari t/m zondag 13 maart 2011 (week 7 t/m week 10).

**Tabel 2.10:** Aantal en percentage type CT patiënten in MST, in de weken 7 t/m 10, 2011.  
Bron: Rados.

Type patiënt	Aantal	Percentage
Patiënten met een afspraak	699	62,6
Patiënten zonder een afspraak gedurende werktijd	230	20,6
Patiënten zonder een afspraak gedurende de dienst	187	16,8
Totaal	1.116	100,0

Bijna 17% van de patiënten die een CT-scan krijgt, komen buiten de reguliere openingstijden. Wanneer we straks verder gaan in het onderzoek moet hier zeker rekening mee gehouden worden. We kunnen ook alleen kijken naar de patiënten die gedurende werktijd worden behandeld, zie Tabel 2.11. Op deze manier kan de situatie tijdens werktijd beschreven worden.

**Tabel 2.11:** Aantal en percentage type CT patiënten in MST, gedurende werktijd, in de weken 7 t/m 10, 2011. Bron: Rados.

Type patiënt	Aantal	Percentage
Met een afspraak	699	75,2
Zonder een afspraak	230	24,8
Totaal	929	100,00

Ongeveer een kwart van de patiënten die op een dag behandeld worden, had aan het begin van die dag nog geen afspraak voor een CT-scan. Deze patiënten willen we niet te lang laten wachten, maar we moeten nog wel rekening houden met de patiënten met een afspraak. Dit zijn er immers drie keer zo veel.

### 2.3.6 Overig

Naast de prestatie-maten die in de voorgaande paragrafen vermeld staan, bestaan er nog een aantal andere. Deze kunnen niet meegenomen worden, omdat er geen data beschikbaar is om de prestatie hiervan te bepalen. We zullen deze prestatie-maten nu kort bespreken.

### *Bezettingsgraad*

De CT kamers zijn in principe op werkdagen van 8:00 t/m 16:30 uur beschikbaar. De kamers zijn echter niet de gehele 8,5 uur bezet. De eerste patiënt wordt pas om 8:10 uur ingepland. Daarnaast wordt meestal niemand ingepland tussen 12:30 en 13:00 uur i.v.m. de lunchpauze van de laboranten. Af en toe wachten de laboranten tot een (spoed)patiënt er is. Als een patiënt zich aan het omkleden is, is de kamer ook bezet zonder dat de laboranten iemand aan het scannen zijn. Wanneer we al deze tijden optellen dat de kamer niet (effectief) gebruikt wordt, zouden we de bezettingsgraad kunnen bepalen.

### *Tijdsduur per stap*

In paragraaf 2.2.2 staan de verschillende stappen beschreven die nodig zijn om een scan te maken. Wanneer we per stap bepalen hoeveel tijd deze momenteel kost en in hoeveel tijd de stap minimaal zou kunnen, kunnen we zien welke stap voor de grootste problemen zorgt. Aan de hand van deze gegevens kunnen we zien in welke stappen tijdwinst te behalen valt. Stel het blijkt dat het aan- en uitkleden van de patiënten de meeste tijd kost. Dan moet serieus overwogen worden om extra kleedruimtes te plaatsten bij de CT-scanners. Wanneer deze tijd echter te verwaarlozen is, vergeleken met bijvoorbeeld het scannen zelf, hebben extra kleedruimtes geen prioriteit.

### *Patiënttevredenheid*

Een onderzoek naar de tevredenheid van de patiënten laat ons zien wat zij belangrijk vinden. De patiënttevredenheid kan ook gezien worden als combinatie van de toegangstijd en de wachttijd. Wanneer de CT op inloop is, is de verwachting dat de toegangstijd afneemt en de wachttijd toeneemt. Als de patiënten de wachttijd veel belangrijker vinden dan de toegangstijd, zou CT op inloop een slecht idee zijn.

De data van de hiervoor besproken prestatie-maten is niet beschikbaar, omdat deze gegevens nergens zijn opgeslagen. Voor de *bezettingsgraad* en *tijdsduur per stap* is het tijdstip van alle stappen die vermeld staan in paragraaf 2.2.2 nodig, voor alle patiënten. Aan de hand daarvan kunnen we bepalen op welke tijdstippen de CT kamers bezet zijn en hoe lang bepaalde stappen duren. Deze informatie kan momenteel niet automatisch opgeslagen worden, omdat daar geen systeem voor is in MST. Het is wel mogelijk om de data handmatig op te slaan, maar dat zou veel tijd vergen. Voor de *patiënttevredenheid* zou een enquête afgenomen kunnen worden bij alle patiënten. Dergelijk onderzoek is (nog) niet gedaan in MST en valt buiten het bereik van dit afstudeeronderzoek.

## 2.4 Bottleneck van de CT

Bij de uitvoering van een proces wordt de benodigde tijd vaak bepaald door één of enkele componenten. Deze componenten noemen wij bottlenecks of knelpunten. Door de capaciteit van deze bottlenecks te vergroten, kan de uitvoer van het hele proces verbeterd worden. Het vergroten van de capaciteit van een component dat geen bottleneck is, levert geen echte verbetering op.

Bij de CT hebben de volgende componenten de meeste invloed op het aantal onderzoeken dat gedaan kan worden in bijvoorbeeld een week (de capaciteit):

1. Het aantal CT-scanners en het type scanner.
2. De openingstijden van de CT-scanners (bedrijfstijd MST).
3. De laboranten (aantal per scanner, werktijd).
4. De radiologen (werktijd, snelheid waarmee gewerkt wordt en kan worden, bekwaamheid).
5. Het type patiënt (de één heeft meer tijd nodig dan de ander).
6. Het budget van de afdeling en de maatschap radiologie.
7. De raad van bestuur van MST.

Wanneer een extra CT-scanner wordt aangeschaft, is de verwachting dat meer onderzoeken gedaan kunnen worden. Een extra CT heeft echter invloed op een aantal van de hiervoor genoemde componenten. Een extra CT-scanner betekent waarschijnlijk dat meer CT laboranten nodig zijn. Dit is misschien niet mogelijk in verband met het budget van de afdeling. Het is ook mogelijk om per CT een laborant minder in te zetten, maar dit heeft weer invloed op de hoeveelheid patiënten die gescand kunnen worden. Een extra CT-scanner zal hoogstwaarschijnlijk voor extra werk zorgen voor de radiologen. Zij moeten immers de onderzoeken verslaan. De radiologen zullen óf harder moeten werken óf meer fte's op de CT inzetten.

Bovenstaande is slechts een voorbeeld van hoe alle componenten invloed hebben op elkaar. In de volgende paragrafen worden de meest invloedrijke componenten op de capaciteit van de CT kort besproken. Bij een aantal componenten worden andere componenten genoemd die de bottleneck vormen. Dit is een verwijzing naar de desbetreffende component.

### 2.4.1 Het aantal CT-scanners en het type scanner

Een extra scanner heeft twee extra laboranten, een extra radioloog en een hoeveelheid extra ruimte nodig. In principe zou deze maatregel ruim 50 % extra capaciteit kunnen leveren. Zoveel capaciteit is (momenteel) niet nodig, het aantal CT-scanners in MST is dan ook geen bottleneck. Een extra CT heeft wel voordelen, zo zou deze bijvoorbeeld alleen voor spoedpatiënten kunnen worden gebruikt. Daarnaast kunnen ook nieuwe onderzoeken mogelijk worden door een nieuwe CT-scanner. Voor een extra scanner zijn de componenten *het type patiënt* (paragraaf 2.4.5) en *de raad van bestuur van MST* (paragraaf 2.4.7), de bottleneck. Het type van de patiënt kan invloed hebben op het type CT-scanner dat aangeschaft moet worden. De raad van bestuur moet de nieuwe CT-scanner financieren.

Het type scanner heeft momenteel meer invloed op de capaciteit. Wanneer meerdere patiënten zijn gescand op CT 2, moet men soms even wachten tot de scanner (een gedeelte van) de gegevens heeft verwerkt, alvorens men verder kan gaan met de volgende patiënt. CT 1 is weliswaar sneller dan CT 2, maar ook lang niet zo snel als de nieuwste modellen. De technische staat van een scanner is ook van belang. Door de CT-scanners te vervangen, kan de capaciteit vergroot worden. Hierbij is de component *de raad van bestuur van MST* (paragraaf 2.4.7), de bottleneck. Deze moet namelijk de nieuwe CT-scanner financieren.

### 2.4.2 De openingstijden van de CT-scanners

Door de openingstijden te verruimen, neemt de capaciteit in principe toe. De vraag hierbij is of dit wel wenselijk en verstandig is. De laboranten en radiologen zullen hierdoor meer uren buiten hun huidige werktijd moeten maken. Hierbij zijn de componenten *de laboranten* (paragraaf 2.4.3), *de radiologen* (paragraaf 2.4.4) en *de raad van bestuur van MST* (paragraaf 2.4.7), de bottleneck. De laboranten en de radiologen moeten het er mee eens zijn dat de openingstijden verruimd worden. Daarnaast moet de raad van bestuur het goedkeuren dat de afdeling langer geopend blijft.

### 2.4.3 De laboranten

De laboranten vormen momenteel geen bottleneck. De meesten zijn er in de ochtend ruim voor 8:00 uur en beginnen dan alvast met de voorbereiding van de infusen die gezet moeten worden die dag. Daarnaast wordt de pomp met het contrast gevuld en wordt het systeem opgestart.

De laboranten vullen tijdens het scannen formulieren in, dit zorgt voor veel papierwerk. Wanneer dit digitaal zou gebeuren zou het misschien sneller kunnen. Wanneer een patiënt contrast heeft gehad moet de contrastpomp vaak bijgevoerd worden, dit gebeurt meestal voordat de volgende patiënt er is.

De meeste dagen zijn de laboranten op tijd klaar met het programma, van overwerk is daardoor weinig sprake. Mocht het programma nog niet af zijn, dan blijft de laborant die de achterwacht heeft. De anderen kunnen dan meestal naar huis. Als de achterwacht niet één van de aanwezige laboranten is, wordt deze niet gebeld als het programma uitloopt. De laboranten ter plekke maken het werk dan af. De achterwacht wordt echter wel gebeld wanneer er nieuwe verzoeken voor een CT-scan binnenkomen.

#### 2.4.4 De radiologen

In MST zijn de radiologen momenteel de belangrijkste bottleneck component. Een radioloog kan in principe per dag maximaal 30 CT onderzoeken verslaan, mits hij niet te veel gestoord wordt. Als het aantal onderzoeken per dag toeneemt, zullen meer onderzoeken verslagen moeten worden. Hiervoor zal dan een extra radioloog ingezet moeten worden bij de CT. De radiologen worden veel gestoord tijdens hun werk (zie paragraaf 2.3.3), voornamelijk door specialisten die meteen willen weten wat het resultaat is van de scan. Vaak moeten ze tussendoor iets doen en zijn ze daardoor even weg. Als de radioloog dan terug komt, hoeft hij niet van voor af aan te beginnen, maar een aantal stappen van het verslaan worden dan wel herhaald.

Radiologen kunnen ook op een andere manier voor vertraging zorgen. Zoals in paragraaf 2.2.1 beschreven staat, is het soms nodig dat een radioloog een scan bekijkt om te zien of die goed gelukt is. Tot de radioloog arriveert, is de CT kamer dan bezet, zonder dat een andere patiënt gescand kan worden. Dit zorgt voor extra vertraging. Er zijn ook onderzoeken, zoals een punctie, waarbij de radioloog aanwezig moet zijn.

#### 2.4.5 Het type patiënt

Spoedpatiënten zijn een type patiënt die voor vertraging kunnen zorgen. Niet alleen omdat ze tussendoor gaan, want daar wordt rekening mee gehouden in de planning. Wanneer de SEH belt dat een spoedpatiënt er aan komt, wachten de laboranten tot deze er is. Ze mogen in de tussentijd niet een andere patiënt behandelen. Bij klinische patiënten van de IC kan dit effect ook optreden. Deze patiënten komen aan met verpleging, men zal ze daarom niet laten wachten. De laboranten moet soms echter wel op deze patiënten wachten.

Een echte bottleneck kan het type patiënt niet worden genoemd worden. Sommige typen zorgen weliswaar af en toe voor vertraging, maar dit heeft geen grote invloed op de capaciteit.

#### 2.4.6 Het budget van de afdeling en de maatschap radiologie

Voor uitbreidingen en vernieuwingen is meestal geld nodig. Hierdoor is het budget vaak een bottleneck. Het budget van de afdeling radiologie bepaalt mede of het mogelijk is om bijvoorbeeld meer laboranten in dienst te nemen of een extra CT-scanner te kopen. Het budget van de maatschap radiologie bepaalt ook mede of het mogelijk is een extra radioloog in dienst te nemen. Voor de meeste besluiten is de component *de raad van bestuur van MST* (paragraaf 2.4.7), de bottleneck.

#### 2.4.7 De raad van bestuur van MST

Alle grote beslissingen die gedaan worden bij de radiologie, moeten goedgekeurd worden door de raad van bestuur. Denk hierbij aan onder andere een nieuwe CT-scanner aanschaffen en extra personeel aannemen.

Wanneer men extra personeel aan wil nemen, moet dit ook goedgekeurd worden door de raad van bestuur (tenzij het met de beschikbare fte's kan). *Het budget van de afdeling en de maatschap radiologie* (paragraaf 2.4.6) kan voldoende zijn voor extra personeel. Als de raad van bestuur het er echter niet mee eens is, mag er niet iemand aangenomen worden. De maatschap beslist echter

zelf of er iemand wordt aangenomen.

We zullen nu het proces van het aanschaffen van een nieuwe CT bekijken. De afdeling houdt de productie (het aantal onderzoeken dat is verslagen) jaarlijks bij. Wanneer een duidelijke stijging in de productie te zien is, moet de afdeling kijken naar maatregelen om de productiestijging aan te kunnen. Hier zijn verschillende mogelijkheden voor, zoals het protocol van de scans aanpassen of de openingstijden verruimen (paragraaf 2.4.2). Wanneer dit niet mogelijk is, kan men overwegen een nieuwe CT-scanner aan te schaffen.

MST heeft een jaarlijks investeringsbudget voor de aanschaf van vervangend en extra apparatuur. Een nieuwe CT-scanner kost 1 à 2 miljoen euro en zal bekostigd worden vanuit dit budget. Om geld te krijgen voor de aanschaf, moet de afdeling bewijzen dat de aanschaf noodzakelijk is. Dit kan met behulp van de productiecijfers en een technisch rapport. Daarnaast moet men laten zien dat er geen andere opties zijn. De raad van bestuur besluit vervolgens of het verstandig is een nieuwe CT-scanner aan te schaffen.

De gevolgen voor de exploitatie van de aanschaf van vervangend apparatuur en uitbreiding van het apparaat, wordt geregeld in de begroting van de afdeling radiologie.

## 2.5 Conclusies en afbakening

De CT is een essentieel onderdeel in de zorgtrajecten van veel patiënten. De vraag naar CT onderzoek groeit jaarlijks en de prijs van het onderzoek is hoog. Uitbreiding kan nodig zijn door de groei in vraag, maar vanwege de hoge kosten is dit niet altijd rendabel of überhaupt mogelijk. Door efficiënter te werken, kan men proberen om met dezelfde middelen, meer onderzoeken te verrichten.

Als we de normen van de prestatie-indicatoren vergelijken met de huidige prestaties, zien we dat de afdeling niet op alle vlakken even goed presteert. De toegangstijd voor een CT-scan ligt momenteel flink boven de gewenste toegangstijd. Het gemiddelde van de echte wachttijd is momenteel naar wens, maar dit komt voornamelijk door het feit dat de vrijwillige wachttijd zo hoog is. Omdat van de patiënten wordt gevraagd om 15 minuten eerder te komen, wordt de vrijwillige wachttijd niet door iedereen als vrijwillig ervaren. De werkdruk zou omlaag moeten, omdat deze aan de hoge kant wordt ervaren. De radiologen geven ook aan dat ze vaak gestoord worden in hun werk.

We zullen ons in het vervolg concentreren op de toegangstijd. Omdat sommige patiënten voorbereiding nodig hebben, zal het nooit lukken om de toegangstijd voor alle patiënten minder dan een dag te krijgen. Dit is echter maar een klein deel van de patiënten.

In het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 3) geven we een overzicht van de literatuur met betrekking tot planning, radiologie en CT. We bespreken onder andere een aantal interventies voor de afdeling radiologie, die onderzocht zijn in andere ziekenhuizen. In het hoofdstuk daarna (hoofdstuk 4) worden een aantal van deze interventies verder uitgewerkt. Op basis hiervan kiezen we een interventie die verder wordt gemodelleerd in hoofdstuk 5. De resultaten en de bijbehorende aanbevelingen zijn te vinden in hoofdstuk 6.



## Hoofdstuk 3

# Literatuur bespreking

*Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de literatuur met betrekking tot planning, radiologie en CT. We bekijken artikelen over procesverbetering van een radiologie afdeling. Om het proces te verbeteren, kunnen verschillende interventies toegepast worden. We bespreken een aantal van deze interventies. Hierbij kijken we ook naar welk onderzoek specifiek voor de CT is gedaan. Daarnaast bekijken we de resultaten van het onderzoek, die al zijn toegepast in een ander ziekenhuis.*

### 3.1 Bespreking artikelen

We bespreken in deze paragraaf een aantal onderwerpen en bij elk onderwerp komen één of meer artikelen aan bod.

#### *Online*

Er zijn documenten te vinden over het online (d.w.z. via internet) inplannen van afspraken. Mozumdar et al. (2003) heeft een enquête gehouden. Hieruit blijkt dat de meeste aanvragende specialisten enthousiast zijn over online een afspraak inplannen. Ook Rosenthal et al. (2006) concluderen dat het een verbetering is om de planning online te maken. Wanneer het online gebeurt, is de kans op fouten kleiner. Greeley (2001) heeft een systeem ingevoerd waarbij specialisten via internet een onderzoek kunnen aanvragen. Men was tevreden met het behaalde resultaat.

#### *Decentralisatie*

Kliffen (2005) heeft een casusonderzoek gedaan naar CT capaciteit in het Erasmus MC nadat het radiologisch onderzoek was gedecentraliseerd. Het casusonderzoek had betrekking op de CT capaciteit bij de polikliniek interne oncologie/hematologie. Door de invoering van tijdslots zijn veel verbeteringen geconstateerd op deze afdeling.

Wanneer men de planning decentraliseert, kan dit online gebeuren. Voor decentralisatie kan men daardoor ook kijken naar de onderzoeken van Mozumdar et al. (2003), Rosenthal et al. (2006) en Greeley (2001). Deze onderzoeken zijn besproken in de alinea hiervoor over online plannen.

#### *Een vast rooster*

Van Oostrum (2009) bespreekt hoe men een master surgical schedule kan opzetten en gebruiken. Hierbij maakt men een vast rooster met verschillende operatietypen. Wanneer een patiënt een operatie nodig heeft, boekt men deze in het rooster, op de plek die gereserveerd is voor dat type patiënt/operatie. Deze aanpak is gemaakt voor de OK, maar zou misschien ook toegepast kunnen worden op een radiologie afdeling.

#### *Aparte voorbereidingsruimte en nabehandeling ruimte*

Reinus et al. (2000) en Elkhuizen et al. (2007) bespreken dat het verstandig is om niet alle stap-

pen in de CT kamer plaats te laten vinden, omdat de kamer op deze manier onnodig bezet is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het plaatsen van een infuus waarmee contrast wordt toegediend. Elkhuizen et al. (2007) baseren dit op het SMED principe. Hierbij wordt de productie verhoogd, doordat bepaalde stappen parallel plaatsvinden. Een voorbeeld van stappen parallel laten lopen, is een patiënt alvast een infuus te geven, terwijl een andere patiënt nog gescand wordt. Op deze manier zit de tijd dat een infuus wordt aangelegd, niet meer in het proces.

Reinus et al. (2000) laten zien dat voor niet-spoed patiënten de toegangstijd met 89 % gereduceerd kan worden door niet alle stappen in de CT kamer plaats te laten vinden. Voor spoedpatiënten daalt de toegangstijd dan met 59 %. De toegangstijd voor spoedpatiënten daalt minder, omdat deze al lager was. Elkhuizen et al. (2007) laten zien dat de toegangstijd van 21 dagen naar minder dan 5 dagen ging, dit is een vermindering van 76 %. Reinus et al. (2000) beargumenteren daarnaast dat het door de patiënten als prettig wordt ervaren, wanneer het proces in korte kleine stappen verloopt. De patiënten voelen zich beter verzorgd, onder andere omdat ze meerdere artsen tegenkomen in het proces.

#### *Personeel*

Ook naar de planning van het personeel is veel onderzoek gedaan. Centeno et al. (2000) hebben gekeken naar onder andere hoeveel laboranten nodig zijn, om een goede balans te vinden. Wanneer twee laboranten aanwezig zijn is dat duurder dan wanneer slechts één laborant aanwezig is. De wachttijd daalt echter wanneer twee laboranten aanwezig zijn.

Soms is het na afloop van het onderzoek niet duidelijk of het onderzoek goed is gegaan. Dan wordt de radioloog erbij geroepen om de scans te bekijken. Deze kan dan bepalen of het nodig is om het onderzoek te herhalen. Momenteel is het in de meeste ziekenhuizen zo dat de patiënt dan blijft liggen in de CT-scanner. Hierdoor is de CT-scanner onnodig bezet. Reinus et al. (2000) geven hier twee oplossingen voor. De eerste is dat een radioloog er altijd bij moet zitten. Dit kost de radioloog echter veel tijd die niet optimaal wordt besteed. Het is ook mogelijk om een aios erbij te zetten. De tweede oplossing is de patiënt in een andere ruimte laten wachten op de radioloog. Dit is echter bij bijvoorbeeld klinische patiënten niet altijd even gemakkelijk.

#### *Simulatie*

Om te kunnen zien hoe de situatie eruit komt te zien na een aanpassing of verandering, is het belangrijk om te simuleren. Ciaran O'Kane (1979) heeft een model gemaakt die het verloop van patiënten bij de Bucky simuleert. Kranenburg (2009) heeft een discrete-event simulatie model gemaakt om verschillende scenario's van inloop met elkaar te kunnen vergelijken. Deze scenario's zijn verschillende vormen van CT op inloop. Centeno et al. (2000) en Fung Kon Jin et al. (2010) hebben ook een simulatie model gemaakt, om verschillende scenario's met elkaar te vergelijken. De scenario's van Centeno et al. (2000) hebben betrekking op onder andere verschillende aantallen laboranten bij de CT-scanners. De scenario's van Fung Kon Jin et al. (2010) hebben betrekking op de verschillende manieren waarop CT-scanners gebruikt kunnen worden op de SEH. Kolisch en Sickinger (2008) maken gebruik van computationeel onderzoek. Ze modelleren het probleem als een Markovproces en vergelijken het met drie keuzeregels die toegepast kunnen worden in een ziekenhuis.

#### *Inloop*

Kranenburg (2009) bespreekt de mogelijkheden van de CT op basis van inloop. Hiervoor kijkt hij naar verschillende situaties: volledig op afspraak, volledig op inloop, vaste blokken verroosteren voor specifieke groepen patiënten, klinische patiënten laten komen wanneer het rustig is en inloop patiënten beïnvloeden door ze te vertellen wanneer het druk is. 100 % inloop is niet mogelijk, omdat voor sommige onderzoeken een specialist aanwezig moet zijn, veel voorbereidingstijd nodig is of de patiënt de voorkeur geeft aan een afspraak. Kranenburg (2009) concludeert dat het beste resultaat bereikt wordt, wanneer men een combinatie van inloop en afspraken hanteert. De patiënten krijgen op deze manier ook de mogelijkheid om een afspraak te maken als ze dat willen.

Uit Scholtens (2009) blijkt dat dit goed is voor de patiënttevredenheid.

Scholtens (2009) heeft een enquête gehouden onder patiënten van het Academisch Medisch Centrum te Amsterdam, die een CT-scan kregen. Hieruit blijkt onder andere dat patiënten bereid zijn een langere wachttijd te accepteren, wanneer de CT op inloop zou zijn. Vooral het feit dat men niet speciaal voor een scan hoeft terug te komen, wordt gewaardeerd.

CT op inloop is toegepast in ziekenhuis Rijnstate (Arnhem), zie Van den Heuvel en te Loo (2010). Men is hier zeer enthousiast over. Zowel de administratief medewerkers als de radiologen, de laboranten en de aanvragende specialisten, ervaren CT op inloop als positief. Kranenburg (2009) heeft voor zijn onderzoek samengewerkt met ziekenhuis Rijnstate.

## 3.2 Conclusies

De conclusies die we nu beschrijven, zijn gebaseerd op de artikelen die besproken zijn in paragraaf 3.1.

### *Online & Decentralisatie*

De planning kan gedecentraliseerd worden met behulp van online systemen. Dit is door de huidige technieken mogelijk en zal door de aanvragers waarschijnlijk als positief ervaren worden.

### *Een vast rooster*

In paragraaf 4.1 wordt de mogelijkheid voor een vast rooster nader beschreven. Hierbij wordt onderzocht in hoeverre het mogelijk is om een master surgical schedule toe te passen bij de CT.

### *Aparte voorbereidingsruimte en nabehandel ruimte*

In paragraaf 4.2 worden de mogelijkheden voor een aparte voorbereidingsruimte en nabehandel ruimte nader beschreven. Hierbij wordt onderzocht welke stappen niet in de CT ruimte hoeven plaats te vinden om daardoor de capaciteit van de CT-scanners beter te benutten.

### *Personeel*

Het personeel is een belangrijke factor voor de CT. Paragraaf 4.5 beschrijft een aantal mogelijkheden hoe de inzet van het personeel aangepast kan worden. Op deze manier kunnen meer onderzoeken verricht en beoordeeld worden. Uit paragraaf 2.4 blijkt dat het beoordelen van de onderzoeken door de radiologen, een bottleneck is.

### *Simulatie*

Aan de hand van simulaties gaan we onderzoeken hoe de tactische planning voor de CT er het beste uit kan zien. Hoofdstuk 5 beschrijft hiervoor een wiskundig model, dat is gesimuleerd met behulp van computerprogramma's AIMMS<sup>®</sup> en MATLAB<sup>®</sup>.

### *Inloop*

Paragraaf 4.4 beschrijft de interventie inloop. We baseren de keuze voor de interventie inloop voornamelijk op de enquête van Scholtens (2009) (Academisch Medisch Centrum) en de positieve resultaten van Van den Heuvel en te Loo (2010) (Rijnstate ziekenhuis in Arnhem).



## Hoofdstuk 4

# Interventies

*In hoofdstuk 3 is een aantal interventie methoden besproken die het proces van een CT-scan kunnen verbeteren. We zullen nu een aantal van deze interventies bespreken, elk in een afzonderlijke paragraaf. Er worden ideeën voor interventies besproken die zijn ontstaan naar aanleiding van de gegevens uit hoofdstuk 2 en gesprekken met medewerkers van de afdeling.*

Wanneer meer patiënten gescand worden, moeten de radiologen ook meer onderzoeken verslaan. Dit is het geval bij de interventies die besproken worden in paragrafen 4.1, 4.2, 4.3 en 4.4. We zullen niet bij al deze interventies bespreken wat er moet gebeuren, opdat de radiologen meer onderzoeken kunnen verslaan. Het personeel, waaronder de radiologen, wordt besproken in paragraaf 4.5.

### 4.1 Vast rooster

Momenteel wordt het grootste gedeelte van de patiënten ingepland (62,6 %, zie Tabel 2.10). Dus we beschikken al over een rooster, maar deze wordt op een andere manier opgesteld dan de manier die we in deze paragraaf bespreken. In paragraaf 2.2.1 staat beschreven hoe de afspraken ingepland worden. In de planning wordt rekening gehouden met spoedpatiënten die tijdens werktijd gescand moeten worden (20,6 %, zie Tabel 2.10). Het idee van een vast rooster, gebaseerd op het master surgical schedule, gaat echter verder dan het inplannen van afspraken. We zullen het vanaf nu, om verwarring te voorkomen, een MAS (master appointment schedule) noemen.

Een MAS is een rooster dat zich elke week (of om de aantal weken) herhaalt. In het rooster staan verschillende typen onderzoeken op verschillende tijden. Wanneer een patiënt een scan nodig heeft, boekt men deze patiënt in, op een plek die gereserveerd is voor dat type patiënt of scan. Om een bepaald aantal maanden moet men het rooster herzien, om het 'up-to-date' te houden.

Voor een MAS is data nodig over hoe vaak bepaalde typen onderzoek plaatsvinden. Omdat dagelijks veel afspraken zijn bij de CT, zou dit geen probleem moeten zijn. Om een MAS op te stellen is het verder nodig dat de onderzoeken (het aantal en type) te voorspellen zijn. Het aantal aanvragen voor een specifiek type onderzoek zou soortgelijk moeten zijn voor verschillende jaren. Wanneer blijkt dat de vraag niet (goed) te voorspellen is, is het niet mogelijk om een (goed) MAS te maken.

Als we een goed MAS maken, zou dat kunnen leiden tot een lagere toegangstijd omdat de patiënten efficiënter ingepland worden. Door volgens een vast rooster te plannen, kunnen meer patiënten gescand worden. Het werk zal, door de wekelijkse herhaling van het rooster, misschien wel een stuk eentoniger worden voor de laboranten. Als we ook een duidelijk onderscheid maken tussen de planning van CT 1 en CT 2, kunnen problemen ontstaan als één CT-scanner buiten dienst is. Voor zover bekend, is een MAS nog nergens toegepast voor CT onderzoek.

De huidige trend is om de planning meer los te laten, in plaats van meer (of volledig) vast te leggen. Deze interventie zal onder andere daarom, niet verder uitgewerkt worden. We verwachten ook dat andere interventies, in het bijzonder CT op inloop (paragraaf 4.4), meer potentie hebben.

## 4.2 Aparte voorbereidingsruimte en nabehandeling ruimte

Het maken van een CT-scan gebeurt in een aantal stappen (zie paragraaf 2.2.2):

1. De patiënt meldt zich bij de receptie.
2. De patiënt wordt opgehaald door een laborant.
3. De patiënt kleedt zich uit.
4. De patiënt neemt plaats op de CT-scanner.
5. Een laborant plaatst een infuus.
6. Een laborant start de scan.
7. Een laborant controleert de positie van het infuus en start de toevoer van contrast.
8. De scan is klaar.
9. De beelden worden verstuurd naar PACS en Vitrea.
10. De patiënt kleedt zich aan en vertrekt.

Stappen 3 en 10 vinden meestal niet bij de CT kamer plaats als de patiënt klinisch is, de verpleging van de aanvraagde afdeling maakt de patiënten gereed voor de scan. Stappen 5 en 7 vinden alleen plaats bij patiënten die contrast toegediend krijgen.

De CT kamer is bezet van stap 3 t/m stap 10. Ook al gebeurt het aan- en uitkleden van de patiënt (stappen 3 en 10) niet in de CT kamer. De kamer is deze tijd toch bezet. Momenteel zijn per CT twee kleedkamers beschikbaar, maar ze worden niet altijd beiden gebruikt. Het plaatsen van een infuus (stap 5) hoeft niet in de CT kamer te gebeuren. Naar aanleiding van de aanbevelingen van Elkhuisen et al. (2007), heeft men in het AMC besloten om het infuus buiten de kamer aan te leggen. Door het infuus buiten de CT kamer aan te leggen, houdt men in de kamer meer tijd over om patiënten te scannen. De laboranten kunnen sneller en efficiënter werken en ze kunnen meer patiënten per dag onderzoeken. Uit de onderzoeken van Elkhuisen et al. (2007) en Reinus et al. (2000) blijkt dat de toegangstijd sterk daalt als het infuus buiten de CT kamer wordt aangelegd.

Als een doktersassistent in dienst genomen moet worden om de infusen aan te leggen, zal dit geld kosten. Het is ook mogelijk om één van de aanwezige laboranten de infusen te laten aanleggen. Het nadeel hiervan is dat deze laborant daardoor niet meer mee kan helpen met het scannen, waardoor het onderzoeken van patiënten juist meer tijd kan kosten.

In het huidige gebouw van MST is geen ruimte aanwezig om een infuus aan te leggen buiten de CT kamer. In het nieuwe ziekenhuis wordt hier wel rekening mee gehouden. Als uit dit onderzoek blijkt dat het verstandig is om een dergelijke ruimte te hebben, zal dit meegenomen worden in de besluitvorming.

In paragraaf 2.3.6 staat een aantal prestatie-maten beschreven die niet gebruikt kunnen worden, omdat geen data beschikbaar is om de prestatie ervan te bepalen. Eén van die prestatie-maten is de tijdsduur per stap. Om te kunnen bepalen hoeveel tijdswinst te behalen valt met bijvoorbeeld een aparte voorbereidingsruimte, is het nodig om te weten hoeveel tijd stap 5 (een laborant plaats een infuus) kost. Omdat deze informatie niet beschikbaar is, kunnen we deze interventiemethode niet goed verder uitwerken. In paragraaf 5.6.5 doen we een ruwe schatting die we verder uitwerken in paragraaf 6.1.5.

### 4.3 Openingstijden verruimen

Door de openingstijden te verruimen, kunnen meer patiënten gescand worden. De CT-scanners zijn momenteel van 8:00 t/m 16:30 uur beschikbaar op werkdagen. De scanners worden bediend door vier laboranten, twee per scanner.

Het is mogelijk om de openingstijden te verruimen, zonder extra laboranten in dienst te nemen. We laten bijvoorbeeld twee laboranten van 8:00 t/m 16:30 uur werken (één per scanner) en twee laboranten van 9:30 t/m 18:00 uur (één per scanner). Van 8:00 t/m 9:30 en van 16:30 t/m 18:00 uur dienen ‘makkelijke’ patiënten gepland te worden, omdat dan slechts één laborant (per scanner) aanwezig is. De overige tijd (9:30 - 16:30 uur) zijn twee laboranten per scanner beschikbaar. Een aantal jaren geleden waren de werktijden bij de CT soortgelijk. We verwachten daarom niet veel weerstand van de laboranten als dit weer wordt ingevoerd. De radiologen werken al van 8:00 t/m 18:00 uur, dus voor hen zou dit geen probleem moeten zijn.

Met het hierboven beschreven voorbeeld, is dagelijks anderhalf uur meer scantijd beschikbaar. Hierdoor kunnen meer patiënten gescand worden. Naast het hierboven genoemde voorbeeld, bestaan ook andere mogelijkheden om de openingstijden te verruimen. Bijvoorbeeld door langer door te werken of ook op zaterdag een reguliere dienst te draaien. Voor deze opties is echter meer personeel nodig.

Het belangrijkste voordeel bij het verruimen van de openingstijden, is dat meer patiënten gescand kunnen worden. Een klein bijkomend voordeel is dat een aantal patiënten die tijdens de dienst gescand zouden worden, nu tijdens werktijd worden gescand. Dit zijn de traumapatiënten die tussen 16:30 en 18:00 uur komen.

Het verruimen van de openingstijden is een interventie die gemakkelijk toe te passen is en niet voor veel problemen zal zorgen. Wiskundig onderzoek naar deze interventie zal daardoor naar verwachting niet diepgaand zijn of interessante resultaten opleveren.

### 4.4 Inloop

Wanneer de CT op inloop is, brengt dat een groot aantal voordelen met zich mee. Het belangrijkste voordeel is dat de toegangstijd omlaag zal gaan. Als je dezelfde dag nog terecht kunt, is er immers geen toegangstijd. Daarnaast heeft een CT op inloop nog andere voordelen. Spoed betekent momenteel vaak dezelfde dag, alleen bij bijvoorbeeld trauma patiënten betekent spoed dat ze direct gescand moeten worden. Veel patiënten zullen hierdoor niet meer tot spoed gerekend worden, waardoor het aandeel van spoedpatiënten zal afnemen. Hierdoor kan de werkdruk van de laboranten dalen. Daarnaast hoeven patiënten niet terug te komen naar MST voor een CT-scan. Dit wordt erg gewaardeerd door patiënten, Scholtens (2009).

Een aantal andere voordelen is terug te vinden in Van den Heuvel en te Loo (2010). Aanvragende specialisten hoeven minder heen en weer te bellen voor een spoed CT-scan, bijna alle patiënten kunnen immers dezelfde dag nog terecht. Voor laboranten wordt het werk uitdagender en daalt de werkdruk. Doordat de patiënten in de wachtkamer geen afspraak hebben, is er nauwelijks druk van een programmatijd waar men tegenaan loopt. Administratie medewerkers hebben minder telefoonverkeer en het maken van afspraken en al het papierwerk dat erbij komt kijken, vervalt. De radiologen worden minder gebeld over spoed CT-scans en kunnen daardoor beter de onderzoeken verslaan.

Naast voordelen heeft een CT op inloop ook zijn nadelen. De wachttijd van de patiënten zal omhoog gaan. Onder andere omdat patiënten nu geen negatieve wachttijd meer kunnen hebben (paragraaf 2.3.2). Uit het onderzoek van Van den Heuvel en te Loo (2010) blijkt echter dat

patiënten bereid zijn om langer te wachten, als ze daardoor op dezelfde dag geholpen kunnen worden. Volledige inloop is niet mogelijk, omdat voor sommige patiënten een afspraak gemaakt moet worden. Bijvoorbeeld voor patiënten die ruim van tevoren contrast moeten drinken, bij onderzoeken waar een cardioloog aanwezig moet zijn of bij patiënten waarvan de spreekuurspraak niet in Enschede is. Verder kan de vraag naar CT-scans toenemen, bijvoorbeeld doordat men in plaats van een MRI, waarvoor men lang moeten wachten, een CT-scan aanvraagt. Dit gebeurt overigens nu ook al omdat de toegangstijd van de CT momenteel al lager is dan die van de MRI. Doordat de toegangstijd bij de CT zal verdwijnen, verwachten we daarnaast dat de drempel voor het aanvragen van een CT omlaag zal gaan.

Om ervoor te zorgen dat de patiënten de wachttijd niet als vervelend ervaren, kunnen er televisieschermen geplaatst worden in de wachtkamer met informatie over de wachttijden. Volgens het personeel van ziekenhuis Rijnstate, vinden patiënten het ook niet vervelend om te wachten als ze zien dat een traumapatiënt tussendoor komt. In MST komen traumapatiënten altijd langs de wachtkamer van de CT, dus dit effect kan ook hier optreden. Tenzij MST een derde CT-scanner aanschafft voor spoedpatiënten en deze op de SEH plaatst.

Als de CT op inloop is, zullen de patiënten waarschijnlijk niet gelijkmatig over de dag komen. Op rustige momenten zou de afdeling dan de klinische patiënten kunnen behandelen. Zoals gezegd moet voor sommige patiënten een afspraak gemaakt worden. Deze afspraken dienen ook tijdens rustige tijdstippen gepland te worden. Op deze manier worden de patiënten gelijkmatiger over de dag verdeeld.

In paragraaf 2.2.1 staat dat voor het plannen van een CT-scan, een aanvraag- en een contrast-formulier nodig zijn. Als de CT op inloop is, zijn deze formulieren alsnog nodig. De afdeling is momenteel bezig met het combineren van deze formulieren tot één formulier. Wanneer een patiënt niet een goed ingevuld formulier heeft, kost dat de administratie veel werk. Deze patiënten moeten teruggestuurd worden naar de aanvragende specialist. Dit is niet aangenaam voor de patiënten, maar de verwachting is dat de aanvragers het formulier beter zullen invullen als patiënten terug gestuurd worden. Dit heeft het personeel van ziekenhuis Rijnstate zo ervaren.

We verwachten dat als de CT op inloop is, de patiënten dit als prettig zullen ervaren. Ze kunnen dan meteen door na hun afspraak bij een specialist. Als we de patiënten ook de mogelijkheid geven om een afspraak te maken (omdat ze bijvoorbeeld na hun afspraak geen tijd hebben voor een scan), is dat een uitbreiding van de service. De afspraak dient gepland te worden op een rustig tijdstip. Op deze manier wordt het werk beter over de dag uitgesmeerd, wat prettig is voor de laboranten. Aanvragende specialisten zullen een CT op inloop ook als prettig ervaren. Hun patiënten worden snel geholpen en kunnen daardoor ook weer snel terugkomen voor een vervolg afspraak. Het proces dat patiënten doorlopen zal hierdoor korter worden. Dit alles zal resulteren in een beter imago van de afdeling radiologie.

Als de capaciteit oneindig groot is, zou CT op inloop mogelijk zijn. De capaciteit bestaat momenteel echter uit twee CT-scanners, vier laboranten en twee radiologen, op werkdagen van 8:00 t/m 16:30 uur. De vraag die we ons zullen stellen is daarom: "Hoe groot moet de capaciteit zijn om CT op inloop aan te kunnen?". Hierbij moet rekening gehouden worden met een aantal prestatienormen. Bijvoorbeeld voor de toegangstijd en werkdruk.

Deze interventie zal verder uitgewerkt worden in hoofdstuk 5. We hebben voor deze interventie gekozen, omdat we verwachten dat deze interventie de meeste potentie heeft de toegangstijd te verlagen. De huidige trend is ook om de planning meer los te laten. CT op inloop speelt hier goed op in. Daarnaast wekken de positieve resultaten in ziekenhuis Rijnstate hoge verwachtingen. In het bijzonder de toegenomen patiënttevredenheid. Dit is ook gebaseerd op de enquête van Scholtens (2009).



## 4.5 Personeel

Bij personeel maken we onderscheid tussen de laboranten en de radiologen. In paragraaf 2.4 zijn de bottlenecks van de CT besproken. Hieruit bleek dat de laboranten (2.4.3) geen bottleneck zijn, de radiologen (2.4.4) zijn dat wel.

Er wordt momenteel gewerkt met twee laboranten per CT-scanner. Een extra laborant zal er waarschijnlijk niet voor zorgen dat er sneller gewerkt kan worden. Ze zullen elkaar eerder voor de voeten lopen, tenzij deze laborant alleen infusen aanlegt bij de patiënten die contrast toegediend krijgen (paragraaf 4.2). Deze laborant zal echter niet voldoende werk hebben, waardoor het geen prettige werkdag is voor hem/haar. Daarnaast is het ook erg duur om hier een laborant voor in te zetten. Het is daarom niet aan te raden een extra laborant in dienst te nemen voor alleen de CT.

In paragraaf 2.4.4 staat beschreven dat de radiologen momenteel veel worden gestoord, onder andere door aanvragende specialisten. Zodra de foto's in PACS staan (stap 9, paragraaf 2.2.2) bellen ze vaak de radioloog om te vragen wat het resultaat is. Wanneer de foto's pas in PACS komen te staan als het verslag af is, is de verwachting dat de radiologen minder gestoord zullen worden. Hierbij moet een uitzondering worden gemaakt voor spoedpatiënten, omdat deze foto's wel direct beschikbaar moeten zijn.

Paragrafen 4.1, 4.2, 4.3 en 4.4 bespreken interventiemogelijkheden die ervoor kunnen zorgen dat meer onderzoeken gedaan kunnen worden. Wanneer meer onderzoeken worden gedaan, moeten meer onderzoeken verslagen worden. Als het aantal extra onderzoeken te veel wordt, is het niet mogelijk om dat met het huidige aantal radiologen op te lossen. In dat geval moet overwogen worden om een extra radioloog in dienst te nemen.

Soms is het nodig dat een radioloog een scan bekijkt om te zien of die goed gelukt is (paragraaf 2.1.1). Tot de radioloog arriveert, is de CT kamer dan onnodig bezet (paragraaf 2.4.4). De extra radioloog of aios kan opgedragen worden om in de verslagkamer naast de CT te blijven. Op deze manier is hij te allen tijde beschikbaar en is de CT niet onnodig bezet omdat gewacht moet worden op een radioloog. Een nadeel is wel dat de radioloog meestal nog moet wachten tot de CT-scanner uitgerekend is en de scans beschikbaar zijn in het systeem. Wanneer een extra radioloog (of aios) in dienst wordt genomen, kan deze eventueel ook af en toe worden ingezet bij andere modaliteiten.

Deze interventie zal niet verder uitgewerkt worden. We moeten eerst bekijken of het aantal onderzoeken toeneemt, voordat we extra personeel in dienst nemen. Uit de hoeveelheid toegenomen werk voor de radiologen, zal blijken in hoeverre extra personeel nodig is. Daarnaast wordt de opdracht uitgevoerd in opdracht van de afdeling radiologie, niet de maatschap radiologie. Een extra radioloog (of aios) valt onder de beslissingen van de maatschap.

## 4.6 Aanvullend

Op basis van de bevindingen in de vorige paragrafen, zullen vier van de vijf interventies niet verder uitgewerkt worden. Deze interventies bevatten echter wel bruikbare elementen. Daarom zullen we elementen van de afgewezen interventies combineren met de interventie inloop (paragraaf 4.4). Hiervoor moeten ruwe schattingen worden gemaakt van gegevens die momenteel niet beschikbaar zijn.

In hoofdstuk 3 zijn ook de mogelijkheden besproken om de planning online te doen of te decentraliseren. Deze mogelijkheden worden niet als interventies besproken. Wanneer de planning online wordt gedaan, zal dit waarschijnlijk gemak opleveren voor de administratie. Als de planning gedecentraliseerd wordt, krijgen de aanvragers inspraak op de afspraak. De administratie van de

afdeling radiologie hoeft dan niet meer zelf de afspraken in te plannen. Zowel online plannen als de planning decentraliseren, zullen er waarschijnlijk niet voor zorgen dat de afdeling beter presteert. De voor- en nadelen van de verschillende interventies die besproken zijn in de voorgaande paragrafen, zullen niet veel anders zijn als de planning online is of wordt gedecentraliseerd.

## Hoofdstuk 5

# Wiskundig model

*Aan het eind van hoofdstuk 1 (zie paragraaf 1.4) is het doel van het onderzoek gegeven. Vervolgens zijn in hoofdstuk 4 mogelijke interventies besproken waarmee dit doel misschien bereikt zou kunnen worden. Er is besloten om de interventie ‘inloop’ (paragraaf 4.4) verder uit te werken. Daarnaast is in paragraaf 4.6 gesuggereerd dat elementen van verschillende mogelijke interventies gecombineerd kunnen worden.*

*Dit hoofdstuk bespreekt het wiskundig model waarmee we op zoek gaan naar de oplossing van het onderzoeksprobleem. Allereerst bespreken we in paragraaf 5.1 het doel van de modellering. Vervolgens bespreken we in paragraaf 5.2 het conceptueel ontwerp van het model. In paragraaf 5.3 wordt het technisch ontwerp besproken. Voor dit ontwerp is data nodig, het verzamelen van de data is te vinden in paragraaf 5.4. Hierna volgt in paragraaf 5.5 een validatie van het model. Als laatste beschrijven we de experimenten, die we gaan uitvoeren met de modellen, in paragraaf 5.6. Hierbij bekijken we wat er gebeurt in verschillende scenario's.*

### 5.1 Het doel van de modellering

Het doel van het onderzoek is geformuleerd in paragraaf 1.4:

Een benadering geven voor de meest effectieve en reële tactische planning van de CT, waardoor de prestatie van de CT voldoet aan de eisen van de afdeling radiologie van Medisch Spectrum Twente.

We hebben in paragraaf 4.4 besloten om de methode van inloop verder uit te werken. Hiervoor is gekozen omdat deze interventie, naar verwachting, de meeste potentie heeft. Nu de interventie vast staat, kan het doel hieraan worden aangepast:

Bepalen van de CT-capaciteit, waarmee de afdeling radiologie van MST de CT op inloop kan aanbieden, binnen de gestelde eisen. Hierbij wordt de capaciteit gemeten in het minimale aantal CT-scanners dat nodig is gedurende een bepaald tijdsinterval.

Onder de gestelde eisen vallen bijvoorbeeld de maximale toegangstijd en wachttijd.

### 5.2 Conceptueel ontwerp

We zullen nu de aanvragen en de behandeling van de patiënten modelleren voor CT scans, zoals dit het geval zal zijn wanneer de CT op inloop wordt georganiseerd in MST.

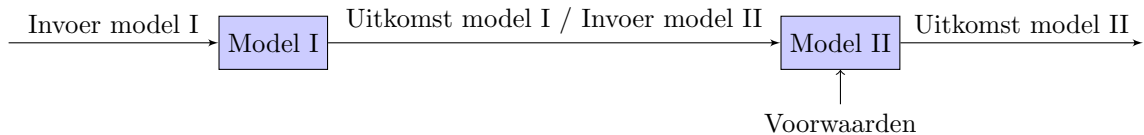
Eén van de belangrijkste elementen in het model is het onderscheid tussen de vier verschillende groepen patiënten:

1. Inloop
2. Afspraak
3. Klinisch
4. Spoed

Ook in de situatie waarin de CT op inloop is, worden niet alle patiënten tot groep 1 gerekend. Een inlooppatiënt heeft eerst een afspraak bij een specialist in het ziekenhuis in Enschede. Wanneer de specialist de patiënt doorverwijst voor een CT-scan, komt deze ‘inlopen’ bij de afdeling radiologie. Als de patiënt geweigerd wordt voor de inloop (bijvoorbeeld omdat het te druk is), krijgt deze een afspraak. Op de dag van de afspraak wordt deze patiënt tot groep 2 gerekend. Zoals in paragraaf 1.2 beschreven staat, beschikt MST ook over locaties in Haaksbergen, Losser en Oldenzaal. Wanneer de afspraak met een specialist op één van deze locaties plaatsvindt, kan de patiënt niet meteen doorlopen voor een CT-scan. Dergelijke patiënten krijgen daarom meestal ook een afspraak en vallen hierdoor onder groep 2.

Bij de klinische patiënten komt dagelijks een specialist langs van de afdeling waar ze liggen. Wanneer voor deze patiënten een CT-scan wordt aangevraagd vallen ze onder groep 3. Mocht het erg druk zijn dan kan een klinische patiënt geweigerd worden. De dag dat de patiënt wél een CT-scan krijgt, wordt hij wederom tot groep 3 gerekend. De patiënt is dan immers nog steeds een klinische patiënt. Als laatste is er nog groep 4. Hieronder vallen patiënten die per direct een CT-scan nodig hebben, bijvoorbeeld traumapatiënten. Een deel van de klinische patiënten en patiënten die een afspraak hadden bij een specialist, kunnen ook onder groep 4 vallen.

Om het doel van de modellering (paragraaf 5.1) te bereiken zullen we het probleem wiskundig modelleren. Het probleem wordt in twee delen gesplitst. Model I: Aanvragen (paragraaf 5.3.1). Model II: Behandeling (paragraaf 5.3.2). De modellen worden achtereenvolgend uitgevoerd zoals afgebeeld in Figuur 5.1. Voor verdere uitleg over deze modellen, zie paragraaf 5.3.



**Figuur 5.1:** Conceptueel ontwerp wiskundig model.

Model I is een generator van aankomende patiënten en geeft als uitkomst een set van patiënten die in een bepaalde periode binnenkomen. Van deze patiënten weten we het tijdstip van binnenkomst en het type. Model II is een ILP model die alle patiënten uit de invoer toewijst aan een tijdstip waarop hun CT onderzoek plaatsvindt. Aan de hand van dit tijdstip kan de toegangstijd en de wachttijd van deze patiënten bepaald worden. In de volgende subparagrafen wordt de data, die behoort bij de pijlen die te zien zijn in Figuur 5.1, besproken.

### 5.2.1 Invoer model I

In model I modelleren we de aanvragen van de CT scans. Dat wil zeggen, wanneer de CT-scans worden aangevraagd en door welke aanvrager. De invoer van model I bestaat uit de volgende gegevens:

- *Het spreekuur rooster.*

Als we weten wanneer de verschillende specialisten hun spreekuren hebben, weten we ook wanneer we hun patiënten voor de inloop kunnen verwachten. Als een bepaald specialisme alleen op maandag en dinsdag spreekuren heeft, hoeven we geen patiënten van dat specialisme te verwachten voor de inloop op andere dagen in de week. Dit spreekuur rooster bevat ook

informatie over de locatie van het spreekuur. Wanneer het spreekuur niet in Enschede is, kan de patiënt niet meteen doorlopen voor een CT-scan. In dat geval zal de patiënt een afspraak krijgen.

- *De kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft, na een afspraak bij een specialisme.*  
Lang niet alle patiënten die een afspraak hebben bij een specialist, hebben een CT-scan nodig. De kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een spreekuur afspraak, hangt onder andere af van het type specialist dat hij bezocht. Zo is de kans dat een neuroloog een CT-scan aanvraagt een stuk groter dan de kans dat een dermatoloog een CT-scan aanvraagt. Aan de hand van het spreekuur rooster en deze kansen, kunnen we voorspellingen doen over wanneer patiënten zich aanmelden voor de inloop.
- *De ‘looptijd’ van een patiënt van de afdeling waar hij op spreekuur was naar de afdeling radiologie.*  
Als de patiënt na zijn spreekuur afspraak een CT-scan nodig heeft, moet de patiënt naar de afdeling radiologie. Momenteel bestaat MST in Enschede uit twee gebouwen (Haaksbergerstraat en Ariënsplein), die middels een loopbrug met elkaar verbonden zijn. De polikliniek longgeneeskunde bevindt zich naast de afdeling radiologie in gebouw Haaksbergerstraat. Een patiënt, die van de longgeneeskunde wordt doorverwezen, is daardoor snel bij de radiologie. De polikliniek KNO bevindt zich in gebouw Ariënsplein. Een patiënt die doorverwezen wordt voor een CT-scan door een KNO arts heeft dus meer tijd nodig om bij de radiologie te komen. Deze ‘looptijd’ is nodig om te bepalen wanneer de patiënten aankomen bij de afdeling radiologie.
- *Het verwachte aantal spoedpatiënten dat op een werkdag wordt aangemeld.*  
Spoedpatiënten moeten vaak vrijwel meteen gescand worden, maar we weten nooit van tevoren wanneer een spoedpatiënt aangemeld wordt voor een CT-scan. Aan de hand van deze verwachting kunnen voorspellingen gedaan worden over wanneer spoedpatiënten zullen worden aangemeld.
- *Het verwachte aantal klinische patiënten dat op een werkdag wordt aangemeld.*  
Klinische patiënten hoeven niet meteen gescand te worden, maar deze patiënten kunnen niet inlopen zoals de poliklinische patiënten. Een klinische patiënt wordt door de verpleging naar de afdeling radiologie gebracht en ook weer door hen opgehaald. De meeste klinische patiënten worden in een bed gebracht, sommige worden in een rolstoel gebracht. Een bed neemt veel ruimte in, in de wachtkamer. Om te vermijden dat een groot aantal klinische patiënten in de wachtkamer wacht, laten we de afdelingen bellen alvorens de patiënten worden gebracht. Aan de hand van deze verwachting kunnen voorspellingen gedaan worden over wanneer klinische patiënten zullen worden aangemeld.
- *De jaarlijkse groeifactor van het aantal patiënten.*  
Het aantal patiënten dat een CT-scan nodig heeft, neemt jaarlijks toe. Om de verwachting voor de toekomst te kunnen simuleren, modelleren we een groeifactor. Deze groeifactor kan aangepast worden om verschillende niveaus van groei van de vraag te modelleren.
- *Het aantal werkdagen dat we bekijken.*  
Model I genereert een aantal patiënten dat binnenkomt in een bepaalde periode. Hiervoor moet de lengte van de periode wel bekend zijn. Daarom is het aantal werkdagen dat we bekijken, invoer voor model I.

### 5.2.2 Uitkomst model I / Invoer model II

Aan de hand van de hiervoor genoemde gegevens genereren we in model I de aanvragen van de CT-scans. De uitkomst van model I (en tevens de invoer van model II) bestaat uit de volgende gegevens:

- *Een verzameling van patiënten die binnenkomt op een zekere dag.*  
De patiënten die binnenkomen op een bepaalde dag zijn de patiënten die voor de inloop komen, patiënten met een afspraak, klinische patiënten en spoedpatiënten. Per dag genereert model I een verzameling van deze patiënten, ze worden genummerd op volgorde van binnen-

komst. Hoe het tijdstip van binnenkomst is gedefinieerd hangt af van het type patiënt. Bij inlooppatiënten wordt gekeken naar het tijdslot waarin ze zich melden bij de radiologie. Voor de patiënten die een afspraak maken, kijken we naar het tijdslot waarin de afspraak wordt gemaakt. Bij klinische patiënten en spoedpatiënten wordt gekeken naar het tijdslot waarin ze telefonisch zijn aangemeld door de verpleging of SEH. Naast het nummer van binnenkomst, geeft model I een aantal andere gegevens voor iedere binnenkomende patiënt.

- Het type van de patiënt: inloop, afspraak, klinisch of spoed.
- Het tijdstip waarop de aanvraag voor een CT-scan is ingediend.

Tot slot is het totaal aantal patiënten, dat is binnengekomen in deze periode, deel van de uitvoer.

### 5.2.3 Voorwaarden model II

In model II modelleren we de behandeling van de patiënten die een CT-scan nodig hebben. Bijvoorbeeld wanneer een CT-scan wordt gepland en wanneer die daadwerkelijk begint. Naast de uitkomsten van model I, maakt model II ook gebruik van een aantal andere gegevens:

- *De onderzoeksduur van een CT-scan.*  
Om de behandelingen goed te kunnen modelleren is het van belang dat we weten hoe lang deze duren. De duur wordt gemeten vanaf het moment dat de patiënt wordt opgehaald door een laborant, tot en met het moment dat de patiënt de kleedkamer ingaat nadat hij is gescand. We gaan uit van een vaste tijdsduur, die afhangt van het type patiënt. Inlooppatiënten en patiënten met een afspraak zijn in dit opzicht identiek. Klinische patiënten en spoedpatiënten zullen een langere duur hebben, omdat het meer tijd kost om deze patiënten op de CT-scanner te krijgen. De duur van een CT-scan is dus niet afhankelijk van het aanvragende specialisme.
- *De maximale toegangstijd en wachttijd van een patiënt.*  
Eén van de voornaamste argumenten om de CT op inloop te organiseren is de (verwachte) daling van de toegangstijd. Om te voorkomen dat de toegangstijd voor bepaalde patiënten daalt maar voor anderen stijgt, stellen we een maximum in. Dit maximum is afhankelijk van het type patiënt. Hetzelfde geldt voor de wachttijd, daarom stellen we ook daarvoor een maximum in (per type patiënt).
- *De capaciteit van de CT scanners.*  
Naast de duur is ook het aantal beschikbare CT scanners van belang om de behandelingen goed te kunnen modelleren. Deze capaciteit hangt af van het tijdstip. Gedurende de werktijd is de capaciteit (meestal) hoger dan gedurende de dienst.

### 5.2.4 Uitkomst model II

Aan de hand van de hiervoor genoemde gegevens en voorwaarden modelleren we in model II de behandeling van de patiënten die een CT-scan nodig hebben. De uitkomst van model II bestaat uit de volgende gegevens:

- *De toegangstijd en wachttijd van de patiënten.*  
Aan de hand van deze gegevens kunnen we zien wat de inloop doet met de gemiddelde toegangstijd en wachttijd. Hierbij is ook de standaardafwijking van belang.
- *De beslissing of een patiënt is geweigerd of niet.*  
Aan de hand van deze gegevens kunnen we zien hoeveel procent van de patiënten geweigerd wordt, van elk type patiënt.
- *Het tijdstip dat een scan is ingepland.*  
Hoe de agenda van de afdeling eruit ziet hangt af van deze gegevens. De wachttijd en de toegangstijd worden (onder andere) aan de hand van deze gegevens bepaald.

## 5.3 Technisch ontwerp

Het technisch ontwerp bespreken we apart voor de twee verschillende modellen die we gebruiken. De modellen die hier beschreven staan zijn gemodelleerd in de software MATLAB<sup>®</sup> en AIMMS<sup>®</sup>. MATLAB<sup>®</sup> is een technische softwareomgeving en wordt gebruikt in zowel de industrie als de academische wereld voor allerlei wiskundige toepassingen. AIMMS<sup>®</sup> is een geavanceerd modelleersysteem om beslissingsondersteunende applicaties mee te ontwikkelen die gebaseerd zijn op wiskundige optimalisatie.

Model I modelleert hoe de aanvragen voor CT scans worden ingediend. Het resultaat hiervan is een verzameling van patiënten die op een dag binnenkomen. Voor model II maken we gebruik van deze verzameling, dit model roostert alle patiënten van de verkregen verzameling in. Model II lost hiermee de doelfunctie op. Deze functie minimaliseert het aantal overschrijdingen van de capaciteit en maximaliseert het aantal patiënten dat dezelfde dag terecht kan. In principe zouden overschrijdingen van de capaciteit niet mogelijk moeten zijn. Als dit een harde eis is, kan het echter voorkomen dat het probleem onoplosbaar is. Omdat we met name de toegangstijd willen verminderen, maximaliseren we het aantal patiënten dat dezelfde dag terecht kan.

In model II maken we gebruik van informatie die in de toekomst ligt. Bij het inplannen van de patiënten op een bepaalde dag, houden we bijvoorbeeld rekening met de spoedpatiënten die op die dag worden aangemeld. Dit is niet realistisch omdat we gedurende een werkdag niet weten welke patiënten zullen arriveren. In het realistische geval passen we online scheduling toe. Dit betekent dat de patiënt zodra hij ‘binnenkomt’ ingepland wordt. Dus als een patiënt zich bijvoorbeeld aanmeldt voor de inloop, krijgt hij meteen te horen of hij terecht kan voor de inloop of een afspraak krijgt voor een andere dag. In dit geval gebruiken we geen informatie uit de toekomst. Dus als een spoedpatiënt om 10 uur wordt aangemeld, weten we dit pas om 10 uur. De resultaten van de modellering zullen te positief zijn, omdat het niet realistisch is dat we over informatie uit de toekomst beschikken. Aan de hand van de modellering kunnen we echter zien wanneer we patiënten moeten inplannen. Dit kan dan gebruikt worden voor het inroosteren van de patiënten.

Model I rekt in principe alleen iets uit, er wordt niet geoptimaliseerd, het is dus een rekenmodel. Model II is een optimaliseringsprobleem waarin de doelfunctie en de randvoorwaarden lineair zijn, hierdoor is het een lineair programmeringsprobleem (LP probleem). Omdat alle variabelen geheeltallig zijn (het is niet mogelijk een halve patiënt te scannen), is model II een geheeltallig lineair programmeringsprobleem (ILP probleem).

### 5.3.1 Model I: Aanvragen

#### Entiteiten

- Specialisme  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{n_S}\}$ .
  - $n_S$  is het aantal groepen specialismen dat we bekijken.
  - Voor MST zijn specialismen  $S_1$  t/m  $S_8$  de belangrijkste specialismen.
    - \*  $S_1$  is neurologie.
    - \*  $S_2$  is chirurgie.
    - \*  $S_3$  is interne geneeskunde.
    - \*  $S_4$  is longziekten.
    - \*  $S_5$  is KNO.
    - \*  $S_6$  is MDL.
    - \*  $S_7$  is urologie.
    - \*  $S_8$  is cardiologie.
- We discretiseren de tijd in tijdslots  $T$ .
 
$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_{n_{pb}}, \dots, T_{n_{pe}}, \dots, T_{n_T}, T_{n_T+1}, \dots, T_{n_{TE}}\}.$$

- $DT$  is de duur van een tijdslot, in minuten.
- $n_T$  is het standaard aantal tijdslots op één werkdag.  $n_E = n_{TE} - n_T$  is het aantal tijdslots dat we meenemen voor overwerk. Dus  $n_{TE}$  is het totale aantal tijdslots in één dag.
- De lunchpauze (op werkdagen) begint aan het begin van tijdslot  $T_{n_{pb}}$  en eindigt aan het einde van tijdslot  $T_{n_{pe}}$ .
- Omdat de werkdag in MST om 8:00 uur begint, is ervoor gekozen om tijdslot  $T_1$  op 8:00 uur te laten beginnen. Tijdslot  $T_{n_{TE}}$  zou hierdoor moeten eindigen om 8:00 uur de volgende dag. In paragraaf 5.4 beargumenteren we echter waarom deze tijd op 17:00 uur is gezet.
- Patiënten zonder spoed mogen tot tijdslot  $n_{max}$  worden ingepland.
- Werkdagen  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_{n_D}\}$ .
  - $n_D$  is het aantal werkdagen dat we bekijken.
  - Een dag loopt van 8:00 uur t/m 8:00 uur (i.v.m. de manier waarop de tijdslots  $T$  zijn gedefinieerd).
  - We bekijken alleen werkdagen. De vrijdag loopt hierdoor van vrijdag 8:00 uur t/m maandag 8:00 uur.
- Ziekenhuis locaties  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_{n_Z}\}$ .
  - $n_Z$  is het aantal locaties.
  - MST heeft vier locaties, de locaties buiten Enschede groeperen we tot één locatie:
    - \*  $Z_1$  is Enschede.
    - \*  $Z_2$  is Haaksbergen, Losser of Oldenzaal.
- Patiënt type  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_Y}\}$ .
  - $n_Y$  is het aantal patiënttypen.
  - In de MST situatie zijn er vier patiënttypen:
    - \*  $Y_1$  is inloop.
    - \*  $Y_2$  is afspraak.
    - \*  $Y_3$  is klinisch.
    - \*  $Y_4$  is spoed.

## Parameters

In paragraaf 5.2.1 is besproken wat de invoer van model I is. Deze invoer zal nu gemodelleerd worden als parameters.

- $A_{i,j,k,l}$  is het aantal spreekuurafspraken van specialisme  $S_i$ , dat eindigt na tijdslot  $T_j$ , op dag  $D_k$ , op locatie  $Z_l$ .
- $PA_i$  is de kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een afspraak bij specialisme  $S_i$ .
- $L_i$  is de looptijd van specialisme  $S_i$  naar de afdeling radiologie (in tijdslots).
- $PK_{j,k}$  is het verwachte aantal klinische patiënten waarvoor wordt gebeld door een afdeling in tijdslot  $T_j$  op dag  $D_k$ ,  $PK_{j,k} \in \mathbb{R}$ .
- $PS_{j,k}$  is het verwachte aantal spoedpatiënten dat wordt aangemeld in tijdslot  $T_j$  op dag  $D_k$ ,  $PS_{j,k} \in \mathbb{R}$ .
- $GR$  is de groeifactor per jaar van het aantal patiënten.

## Variabelen

Met behulp van model I genereren we de binnenkomende patiënten. Laat  $M_{j,k,m}$  het aantal patiënten zijn dat zich meldt of wordt gemeld bij de afdeling radiologie voor een CT-scan op tijdslot  $T_j$ , op dag  $D_k$ , van type patiënt  $Y_m$ .

De inloop wordt gebaseerd op het spreekuurrooster van de aanvragende specialismen  $S$ . De verwachting van het aantal patiënten van specialisme  $S_i$  dat inloopt op tijdslot  $T_j$ , is gebaseerd op



het aantal spreekuursafspraken van specialisme  $S_i$  dat eindigde na tijdslot  $T_{j-L_i}$  in Enschede ( $Z_1$ ). Daarnaast gebruiken we de kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een afspraak bij specialisme  $S_i$ .

$$E[M_{j,k,1}] = \sum_{i=1}^{n_S} (A_{i,j-L_i,k,1} \cdot PA_i) \cdot GR, \quad \forall i, j, k : 0 \leq j - L_i < n_T. \quad (5.1)$$

De afspraken worden ook grotendeels gebaseerd op het spreekuurrooster van de aanvragende specialismen  $S$ . De verwachting van het aantal patiënten van specialisme  $S_i$  dat belt voor een afspraak op tijdslot  $T_j$ , is gebaseerd op het aantal spreekuursafspraken van specialisme  $S_i$  dat eindigde na tijdslot  $T_j$  in Haaksbergen, Losser of Oldenzaal ( $Z_2$ ). Hierbij gaan we er vanuit dat het aanvragende specialisme meteen de afdeling radiologie belt om een CT in te plannen als dat nodig blijkt.

$$E[M_{j,k,2}] = \sum_{i=1}^{n_S} (A_{i,j,k,2} \cdot PA_i) \cdot GR, \quad \forall i, j, k : 0 \leq j < n_T. \quad (5.2)$$

Voor klinische patiënten en spoedpatiënten is het voldoende om te kijken naar de verwachte aantallen. Aan de hand hiervan kunnen we de verwachte aanmeldingen bepalen.

$$E[M_{j,k,3}] = PK_{j,k} \cdot GR, \quad \forall j, k. \quad (5.3)$$

$$E[M_{j,k,4}] = PS_{j,k} \cdot GR, \quad \forall j, k. \quad (5.4)$$

### Uitkomst model I

In paragraaf 5.2.2 is besproken wat de uitkomst van model I is. Deze uitkomst wordt gegenereerd met behulp van een MATLAB<sup>®</sup> programma.

Het MATLAB<sup>®</sup> programma gaat eerst alle dagen af. Voor elke dag, gaat het programma vervolgens alle tijdslots af. Per tijdslot gaat het programma door een aantal stappen. Bij deze stappen worden arriverende patiënten gegenereerd. Deze patiënten worden opgeslagen. Wanneer het programma alle tijdslots voor alle dagen heeft doorlopen, wordt het resultaat uitgeschreven naar een Microsoft Office Excel rekenblad. In dit blad staat de volgende informatie over alle patiënten:

- Binnenkomende patiënten  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_{n_q}\}$  in de periode die we bekijken.
  - $n_q$  is het aantal patiënten dat binnenkomt in de periode die we bekijken.
- $TP(I_q)$  is het type van patiënt  $I_q$ ,  $TP(I_q) \in Y$ .
- $DA(I_q)$  is de dag waarop de CT-scan van patiënt  $I_q$  is aangevraagd,  $DA(I_q) \in D$ .
- $TA(I_q)$  is het tijdslot waarop de CT-scan van patiënt  $I_q$  is aangevraagd,  $TA(I_q) \in T$ .

De stappen die worden doorlopen voor elk tijdslot van elke dag, worden hierna beschreven. We gebruiken  $PS_{j,k}$  en  $PK_{j,k}$  als kans en niet als verwachtingswaarde. In paragraaf 5.4 staat uitgelegd waarom.

1. Het programma geeft een willekeurig getal tussen de nul en één. Als dit getal kleiner is dan de kans dat een spoedpatiënt arriveert ( $PS_{j,k}$ ) maal de groeifactor  $GR$ , wordt een spoedpatiënt bijgeschreven. Naast het type  $TP(I_q) = Y_4$ , wordt ook het moment van de aanvraag ( $DA(I_q), TA(I_q)$ ) bijgeschreven.
2. Het programma geeft een willekeurige getal tussen de nul en één. Als dit getal kleiner is dan de kans dat een klinische patiënt arriveert ( $PK_{j,k}$ ) maal de groeifactor  $GR$ , wordt een klinische patiënt bijgeschreven. Naast het type  $TP(I_q) = Y_3$ , wordt ook het moment van de aanvraag ( $DA(I_q), TA(I_q)$ ) bijgeschreven.
3. In deze stap gaat het programma alle specialismen af. Voor elk specialisme bekijkt het programma eerst locatie 1 en vervolgens locatie 2. Het programma bekijkt voor elke locatie en elke dag de waarde van  $A_{i,j,k,l}$ ,  $A_{i,j,k,l} \in \mathbb{Z}^+$ .

- (a) Is  $A_{i,j,k,l}$  gelijk aan nul, dan gaat het programma verder naar de volgende specialisme/locatie combinatie.
- (b) Is  $A_{i,j,k,l}$  groter dan nul, dan doorloopt het programma het volgende scenario  $A_{i,j,k,l}$  keer:

Het programma geeft een willekeurig getal tussen de nul en één. Als dit getal kleiner is dan de kans  $PA_i$ , dat een patiënt van het specialisme  $S_i$  een CT-scan nodig heeft na zijn spreekuur afspraak, maal de groefactor  $GR$ , dan wordt een patiënt bijgeschreven. Als de locatie 1 is, wordt deze patiënt bijgeschreven als een inlooppatiënt. Het type  $TP(I_q)$  is dan  $Y_1$ . In het moment van de aanvraag  $(DA(I_q), TA(I_q))$  is de looptijd  $L_i$  dan al meegenomen. We bekijken het tijdslot dat de spreekuurspraak is afgelopen en tellen daar de looptijd bij op. De CT-scan wordt immers pas aangevraagd als de patiënt zich meldt bij de afdeling radiologie. Als de locatie 2 is, wordt deze patiënt bijgeschreven als een afspraak patiënt. Naast het type  $TP(I_q) = Y_2$ , wordt ook het moment van de aanvraag  $(DA(I_q), TA(I_q))$  bijgeschreven.

Op deze manier wordt een verzameling patiënten gegenereerd waarvan de verwachte aantallen voldoen aan de gegeven verwachtingswaarde voor de variabele  $M$ .

### 5.3.2 Model II: Behandeling

In deze paragraaf zal gerefereerd worden naar een aantal tijdstippen. In paragraaf 1.3.2 staat een overzicht van bepaalde tijdstippen. Er staat ook beschreven in welke volgorde de verschillende gebeurtenissen kunnen plaatsvinden.

#### Parameters

In paragraaf 5.2.3 is besproken wat de voorwaarden van model II zijn. Deze parameters zullen nu beschreven worden.

- $DS_m$  is de duur van een CT-scan van een patiënt van type  $Y_m$ , inclusief alle bijbehorende stappen (zoals het omkleden van de patiënt) die ervoor zorgen dat de CT-scanner bezet is (in tijdslots).
- $W_m$  is de maximale wachttijd voor een patiënt van type  $Y_m$  (in tijdslots).
- $C_m$  is de maximale toegangstijd voor een patiënt van type  $Y_m$  (in werkdagen).
- $CC_{j,k}$  is de capaciteit van de CT op tijdslot  $T_j$  op dag  $D_k$ .
  - De capaciteit wordt gemeten in het aantal beschikbare CT-scanners.

De uitkomst van model I, is input voor model II. Naast bovenstaande parameters, heeft model II daarom ook de volgende invoer.

- Binnenkomende patiënten  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_{n_q}\}$  in de periode die we bekijken.
  - $n_q$  is het aantal patiënten dat binnenkomt in de periode die we bekijken.
- $TP(I_q)$  is het type van patiënt  $I_q$ ,  $TP(I_q) \in Y$ .
- $DA(I_q)$  is de dag waarop de CT-scan van patiënt  $I_q$  is aangevraagd,  $DA(I_q) \in D$ .
- $TA(I_q)$  is het tijdslot waarop de CT-scan van patiënt  $I_q$  is aangevraagd,  $TA(I_q) \in T$ .

#### Beslissingsvariabelen

Voor alle binnenkomende patiënten  $I$  moet een aantal beslissingen genomen worden. Hiervoor introduceren we beslissingsvariabelen. Deze beslissingsvariabelen zijn de uitkomsten van model II, die in paragraaf 5.2.4 besproken zijn.

- $G(I_q)$  geeft aan of patiënt  $I_q$  geholpen is op de dag van binnenkomst, het is een  $\{0, 1\}$  variabele.

- $G(I_q) = 0$  betekent dat patiënt  $I_q$  niet geholpen is op de dag van binnenkomst.
- $G(I_q) = 1$  betekent dat hij wel geholpen is op de dag van binnenkomst.
- Patiënten van type 2 kunnen niet geholpen worden op de dag van binnenkomst. De dag van binnenkomst is immers de dag waarop ze bellen voor een afspraak en dan zijn ze niet in Enschede.
- $G(I_q) = 0, \quad \forall q : TP(I_q) = 2.$
- Spoedpatiënten worden altijd op de dag van binnenkomst geholpen.
- $G(I_q) = 1, \quad \forall q : TP(I_q) = 4.$
- $X_{j,k,q}$  geeft het tijdslot  $T_j$  en dag  $D_k$  aan, waarop patiënt  $I_q$  is opgehaald voor zijn CT-scan, het is een  $\{0, 1\}$  variabele.
  - $X_{j,q}^k = 1$  betekent dat patiënt  $I_q$  op tijdslot  $T_j$  van dag  $D_k$  is opgehaald voor zijn CT-scan.
  - $X_{j,k,q} = 0$  betekent dat hij op tijdslot  $T_j$  van dag  $D_k$  niet is opgehaald.

### Randvoorwaarden

We zullen nu de randvoorwaarden beschrijven die nodig zijn om ervoor te zorgen dat de keuzes voor de belissingsvariabelen tot een toegestane oplossing leiden.

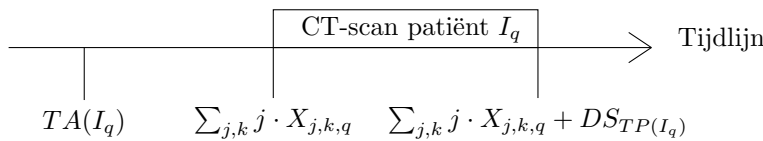
Voor het toewijzen van tijdslots gelden een aantal regels. Als we ons niet aan deze regels houden krijgen we een oplossing die niet toegestaan is.

- Elke patiënt wordt precies één keer opgehaald.

$$\sum_{j,k} X_{j,k,q} = 1, \quad \forall q. \tag{5.5}$$

- Een laborant kan een patiënt pas ophalen voor zijn CT-scan, als deze zich gemeld heeft voor een onderzoek (zie Figuur 5.2). Het tijdslot waarop de patiënt opgehaald wordt voor zijn CT-scan, ligt na het tijdslot waarop de patiënt zich meldt. Mits de patiënt op dezelfde dag geholpen wordt.

$$\sum_{j,k} j \cdot X_{j,k,q} \geq TA(I_q) \cdot G(I_q), \quad \forall q. \tag{5.6}$$

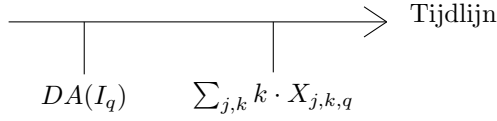


**Figuur 5.2:** Tijdslot CT-scan van patiënt  $I_q$ .

- De dag waarop de patiënt opgehaald wordt voor zijn CT-scan, kan niet voor de dag liggen waarop de patiënt zich meldt (zie Figuur 5.3). Voor patiënten van type 2, moet de dag waarop ze worden opgehaald na de dag van het aanmelden liggen.

$$\sum_{j,k} k \cdot X_{j,k,q} \geq DA(I_q), \quad \forall q : TP(q) \neq 2. \tag{5.7}$$

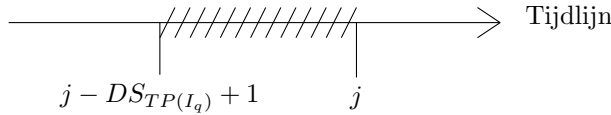
$$\sum_{j,k} k \cdot X_{j,k,q} \geq DA(I_q) + 1, \quad \forall q : TP(q) = 2. \tag{5.8}$$



**Figuur 5.3:** Dag CT-scan van patiënt  $I_q$ .

- Het aantal patiënten dat op een bepaald moment gescand wordt, mag niet groter zijn dan de capaciteit van de CT op dat moment. De patiënten die in de  $DS_{TP(I_q)} - 1$  tijdslots voor tijdslot  $T_j$  zijn opgehaald voor een CT-scan, worden op tijdslot  $T_j$  nog steeds gescand (zie Figuur 5.4). Samen met de patiënten die op tijdslot  $T_j$  worden opgehaald, mag dit aantal niet boven de capaciteit uitkomen.

$$\sum_q \left( \sum_{j'=j-DS_{TP(I_q)}+1}^j X_{j',k,q} \right) \leq CC_{j,k}, \quad \forall j, k. \quad (5.9)$$



**Figuur 5.4:** Tijd waarop een CT-scan, die bezig is op tijdslot  $T_j$ , kan zijn begonnen.

- Patiënten zonder spoed mogen tot tijdslot  $n_{max}$  worden ingepland.

$$X_{j,k,q} = 0, \quad \forall j, k, q : j \geq n_{max} \wedge TP(I_q) < 4. \quad (5.10)$$

De duur van bepaalde stappen van het traject van een patiënt hangen af van de genomen beslissingen, het zijn dus afhankelijke variabelen. Voor veel van deze tijden is er een maximum dat ze niet mogen overschrijden.

- De niet negatieve variabele  $W(q)$  representeert de wachttijd van patiënt  $I_q$  (in tijdslots). In paragraaf 2.3.2 is gesproken over drie typen wachttijd. De wachttijd die we hier gebruiken is de ‘echte’ wachttijd: het verschil tussen het tijdstip van de afspraak en het tijdstip waarop de patiënt wordt opgehaald door een laborant. Deze wachttijd bekijken we alleen voor patiënten die op dezelfde dag geholpen worden. Als dit niet het geval is, is hun wachttijd nul minuten.

– De wachttijd (in tijdslots) voor patiënt  $I_q$  is gegeven door:

$$W(q) = \sum_{j,k} j \cdot X_{j,k,q} - TA(q), \quad \forall q : G(I_q) = 1. \quad (5.11)$$

De geldigheid van bovenstaande voorwaarde is afhankelijk van de waarde van een variabele ( $G(q)$ ). Dit kan niet op deze manier in een ILP opgenomen worden. We kunnen voorwaarde (5.11) vervangen door de volgende voorwaarde:

$$W(q) \geq \sum_{j,k} j \cdot X_{j,k,q} - TA(q) - (1 - G(I_q)) * n_{TE}, \quad \forall q. \quad (5.12)$$

Samen met de voorwaarde  $W(q) \geq 0$  leidt dit er toe dat  $W(q)$  de waarde 0 heeft wanneer  $G(I_q) = 0$  en de wachttijd van patiënt  $I_q$  wanneer  $G(I_q) = 1$ .

- De wachttijd mag niet boven de waarde  $W_m$  liggen. Het type  $m$  van patiënt  $I_q$  bepalen we met  $TP(I_q)$ .

$$W(q) \leq W_{TP(I_q)}, \quad \forall q : G(I_q) = 1. \quad (5.13)$$

- De niet negatieve variabele  $C(q)$  representeert de toegangstijd van patiënt  $I_q$  (in werkdagen).
  - De toegangstijd (in werkdagen) voor patiënt  $I_q$  is gegeven door:

$$C(q) = \sum_{j,k} k \cdot X_{j,k,q} - DA(q), \quad \forall q. \quad (5.14)$$

- Deze toegangstijd mag niet boven de waarde  $C_m$  liggen. Het type  $m$  van patiënt  $I_q$  bepalen we met  $TP(I_q)$ .

$$C(q) \leq C_{TP(I_q)}, \quad \forall q. \quad (5.15)$$

### Doelfunctie

We willen een situatie bereiken, waarin alles zo gepland wordt dat inloop met een vast aantal CT-scanners kan volstaan. Hierbij moet rekening gehouden worden met de randvoorwaarden die in deze paragraaf beschreven staan. Niet alleen moet bijvoorbeeld aan de randvoorwaarde toegangstijd worden voldaan, maar we willen deze ook zo laag mogelijk krijgen. De vraag is dan hoe we alles moeten plannen, zodat de CT op inloop mogelijk is.

Als de wachttijd ( $W(q)$ ) en toegangstijd ( $C(q)$ ) van alle patiënten bekend zijn, kunnen de gemiddelden met bijbehorende standaardafwijking uitgerekend worden.

- De gemiddelde wachttijd van de patiënten die dezelfde dag geholpen worden, in tijdslots:

$$\bar{W} = \frac{\sum W(q)}{\sum G(I_q)}. \quad (5.16)$$

- De standaardafwijking van de wachttijd van de patiënten, in tijdslots:

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{1}{\sum G(I_q) - 1} \sum_{q|G(I_q)=1} (W(q) - \bar{W})^2}. \quad (5.17)$$

- De gemiddelde toegangstijd van de patiënten, in tijdslots:

$$\bar{C} = \frac{\sum C(q)}{n_q}. \quad (5.18)$$

- De standaardafwijking van de toegangstijd van de patiënten, in tijdslots:

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{1}{n_q - 1} \sum_q (C(I_q) - \bar{C})^2}. \quad (5.19)$$

De toegangstijd  $C$  ligt momenteel ruim boven de gewenste toegangstijd (zie paragraaf 2.3.1). Door de CT op inloop te organiseren hopen we dat deze flink zal dalen. Hierbij houden we er rekening mee dat de wachttijd  $W$  niet teveel mag stijgen.

Als de waarden van  $W_m$  en  $C_m$  laag genoeg zijn, kunnen de gemiddelde wachttijd en toegangstijd nooit te hoog worden. Dit komt door de harde eisen die gesteld zijn in voorwaarden (5.13) en (5.15). Deze eisen zorgen ervoor dat we zelf invloed hebben op de gemiddelde toegangstijd en wachttijd. Voor capaciteit van de CT-scanners stellen we ook een harde eis in voorwaarde (5.9). Het probleem met al deze harde eisen, is dat het probleem onoplosbaar kan worden. Stel er komen veel spoedpatiënten tegelijkertijd binnen. Dan kunnen deze niet allemaal op dezelfde dag geholpen worden, gegeven de gestelde maximale wachttijd en een bepaald aantal CT-scanners. Om ervoor te zorgen dat we geen onoplosbaar probleem krijgen, passen we één van de harde eisen aan.

In overeenstemming met het doel dat is opgesteld in paragraaf 5.1, is er voor gekozen om de voorwaarde van de capaciteit aan te passen. Dus voorwaarde (5.9) wordt vervangen door:

$$\sum_q \left( \sum_{j'=j-DS_{TP}(I_q)+1}^j X_{j',k,q} \right) \leq CC_{j,k} + EC_{j,k}, \quad \forall j, k. \quad (5.20)$$

In vergelijking (5.20) is de variabele  $EC_{j,k}$  geïntroduceerd. Deze variabele geeft de overschrijdingen van de capaciteit weer op tijdslot  $T_j$  op dag  $D_K$ . Daarnaast voegen we als extra voorwaarde toe:

$$EC_{j,k} \geq 0, \quad \forall j, k. \quad (5.21)$$

Voorwaarde (5.21) is nodig omdat we  $EC_{j,k}$  gaan minimaliseren. We willen immers dat deze eis zo min mogelijk overtreden wordt.

Naast de gestelde voorwaarden van het model, zijn er ook voorkeuren. Patiënten van type 1 (inloop) en 3 (klinisch), mogen in principe geweigerd worden. We hebben er echter de voorkeur aan dat dit niet gebeurt. Daarom gaan we het aantal patiënten dat dezelfde dag terecht kan, maximaliseren. Omdat klinische patiënten een bed in het ziekenhuis bezetten, is ervoor gekozen deze patiënten zwaarder mee te laten wegen. We hebben gekozen voor een factor 3.

De doelfunctie bestaat dus uit twee onderdelen:

1. De extra capaciteit  $EC_{j,k}$ , minimaliseren.
2. Het aantal patiënten dat op dezelfde dag terecht kan ( $G(I_q) = 1$ ), maximaliseren.

Deze twee onderdelen worden samengenomen in de volgende doelfunctie, die *geminimaliseerd* moet worden:

$$TM = N \cdot \sum_{j,k} EC_{j,k} - G(I_q) \cdot TP(I_q). \quad (5.22)$$

Waarbij  $N$  een groot getal is om ervoor te zorgen dat de minimalisatie van de extra capaciteit de voorkeur krijgt boven het weigeren van patiënten. In de praktijk kiezen wij  $N = 10.000$ .

Deze manier van plannen is niet online en bij de planning wordt er al rekening mee gehouden dat in de toekomst spoedpatiënten komen. De resultaten van de modellering zullen te positief zijn omdat het niet realistisch is dat we over informatie uit de toekomst beschikken. Aan de hand van de modellering kunnen we echter zien wanneer we patiënten moeten inplannen. Dit kan gebruikt worden voor het inroosteren van de patiënten.

## 5.4 Data voor model I & II

De data die gebruikt is voor de twee modellen, is verkregen via MST. We zullen deze data nu bespreken.

**De tijdslots behorende bij  $T$ :  $DT$ ,  $n_T$ ,  $n_{TE}$ ,  $n_{pb}$ ,  $n_{pe}$  en  $n_{max}$**

De tijdslots representeren opeenvolgende stappen. Wanneer de stappen verder uit elkaar liggen, is het model minder realistisch. Bij bijvoorbeeld stappen van een kwartier is het niet overzichtelijk wat er allemaal gebeurt in dat kwartier. Omdat we deze stappen niet te ver uit elkaar willen hebben is als duur van de tijdslots 2,5 minuut gekozen. Wanneer de duur nog kleiner zou zijn, zou het rekenwerk voor model II aanzienlijk toenemen.

Tijdslot 1 begint om 8:00 uur. De pauze is van 12:30 t/m 13:00 uur. De werkdag eindigt om 16:30 uur en patiënten mogen niet na 16:00 uur ingepland worden. De eindtijd zou 24:00 uur en

niet 18:00 uur moeten zijn. Maar om de rekentijd van de modellen te verlagen, is ervoor gekozen om deze tijd af te kappen tot 18:00. Omdat daarna alleen nog spoedpatiënten geholpen worden, zou dit geen effect mogen hebben op de beslissing om voor inloop te kiezen. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de tijdslots die bij deze tijdstippen horen.

**Tabel 5.1:** Tijdstip en aantal tijdslots behorende bij  $T$ .

Type	Tijdstip (uur)	Tijdslot (aantal)
$n_{TE}$	18:00	240
$n_T$	16:30	204
$n_{pb}$	12:30	108
$n_{pe}$	13:00	120
$n_{max}$	16:00	192

### Spreekuren: $A_{i,j,k,l}$

In Figuur 2.2 (zie paragraaf 2.1.2) is te zien welke specialismen de meeste aanvragen indienen voor een CT-scan. Als we alleen de grootste acht aanvragende specialismen bekijken, zien we dat deze gezamenlijk bijna 90 % van alle aanvragen indienen. Daarom is ervoor gekozen om alleen de spreekuren van deze specialismen te bekijken.

Informatie over de spreekuren is verkregen via het secretariaat van de verschillende afdelingen. De spreekuren staan in een matrix in een MATLAB<sup>®</sup> bestand, hieruit kunnen ze worden opgeroepen door model I. De informatie over de spreekuren bevat de volgende data:

- Het specialisme van de artsen die het spreekuur hebben. (kolom 1)
- Het tijdstip waarop het spreekuur begint. (kolom 2)
- Het tijdstip waarop het spreekuur eindigt. (kolom 3)
- De werkdag waarop het spreekuur plaatsvindt. (kolom 4, maandag=1 t/m vrijdag=5)
- De gemiddelde duur van een spreekuur afspraak. (kolom 5)
- De locatie van het spreekuur. (kolom 6)
- Het aantal artsen die gelijktijdig spreekuur hebben. (kolom 7)

Hieronder staan een aantal regels uit de data van de spreekuren.

$$\begin{bmatrix} 1 & 11 & 12.5 & 1 & 15 & 1 & 1 \\ 1 & 13.5 & 16.5 & 1 & 15 & 2 & 1 \\ 3 & 13.5 & 16 & 2 & 10 & 1 & 3 \\ 3 & 13.5 & 16 & 5 & 10 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

In de eerste regel zien we dat één arts van specialisme 1 (neurologie) een spreekuur heeft van 11:00 t/m 12:30 uur op maandag, op locatie 1 (Enschede). De tweede regel laat zien dat één arts van specialisme 1 van 13:30 t/m 16:30 uur een spreekuur heeft op locatie 2 (Haaksbergen, Losser of Oldenzaal). De spreekuren bij specialisme 1 duren 15 minuten. De onderste twee regels lijken erg op elkaar. Specialisme 3 (interne geneeskunde) heeft op dinsdag en vrijdag een spreekuur van 13:30 t/m 16:00 uur op locatie 1. Een spreekuur afspraak duurt 10 minuten. Op dinsdag hebben 3 artsen spreekuur, op vrijdag 2 artsen.

### De kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een spreekuur afspraak bij specialisme: $PA_i$

De schatting van deze kans is gebaseerd op het aantal spreekuur afspraken dat een specialisme heeft en het aantal CT-scans die jaarlijks door het specialisme worden aangevraagd. Hierbij is gekeken naar de data van 2010. Ter controle is ook de data van 2008 en 2009 meegenomen. Door

meerdere jaren te vergelijken, verkleinen we de kans om verkeerde data te gebruiken.

Omdat we alleen de grootste 8 aanvragende specialismen bekijken, zijn deze kansen opgehoogd om tot dezelfde totale vraag als in de werkelijkheid te komen. Op deze manier wordt gecompenseerd voor het feit dat de overige specialismen niet mee worden genomen. Zie Tabel 5.2 voor een overzicht van de kansen.

**Tabel 5.2:** *Kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een spreekuur afspraak, afhankelijk van het aanvragende specialisme. Bron: Rados.*

Specialisme	Kans (%)
Neurologie	6,26
Chirurgie	3,50
Interne geneeskunde	2,49
Longziekten	2,53
KNO	1,22
MDL	5,24
Urologie	1,40
Cardiologie	0,66

#### De looptijd van een specialisme naar de afdeling radiologie: $L_i$

Deze tijd is gebaseerd op de locaties van de specialismen in het huidige ziekenhuis. Zoals in paragraaf 1.2 beschreven staat, is men van plan een nieuw ziekenhuis te bouwen. Hoe de afstanden tussen de afdelingen in het nieuwe ziekenhuis zullen zijn, is nog niet bekend. Dit zal te zijner tijd onderzocht moeten worden. Zie Tabel 5.3 voor een overzicht van de tijden.

**Tabel 5.3:** *De looptijd naar de afdeling radiologie, in minuten, afhankelijk van het aanvragende specialisme. Bron: eigen onderzoek.*

Specialisme	Looptijd (minuten)
Neurologie	5
Chirurgie	10
Interne geneeskunde	15
Longziekten	0
KNO	15
MDL	15
Urologie	10
Cardiologie	10

#### Het verwachte aantal klinische en spoedpatiënten per tijdslot en werkdag: $PK_{j,k}$ en $PS_{j,k}$

Hierbij is, net als bij de spreekuren, gekeken naar de data van 2008, 2009 en 2010. Het eerste wat opviel, is dat het verschil tussen de verschillende werkdagen verwaarloosbaar klein is. Navraag bij de verschillende afdelingen leverde ons ook het resultaat dat de aanvraag voor klinische patiënten niet afhankelijk is van het tijdslot. Zolang het tijdslot gedurende de reguliere werktijd valt. De spoedpatiënten komen willekeurig binnen. De verwachting is daarom niet afhankelijk van het tijdslot. Dus de verwachting is gelijk, voor alle tijdslots en dagen. Voor klinische patiënten is hieraan de voorwaarde verbonden dat het tijdslot en de dag gedurende de reguliere werktijd vallen.



Op basis van de data van 2008, 2009 en 2010 hebben we de verwachting bepaald van het aantal klinische patiënten dat op een gemiddelde werkdag wordt aangemeld. We gaan er van uit dat klinische patiënten op werkdagen tussen 8:00 en 16:00 uur aangemeld worden. De duur van een tijdslot ( $DT$ ) is 2,5 minuut. De verwachtingswaarde is dan:

$$PK_{j,k} = 2,57\%, \quad \forall j, k | j \leq 192.$$

Omdat deze verwachting en de duur van een tijdslot zo klein zijn, is de kans dat twee of meer klinische patiënten in hetzelfde tijdstip worden aangemeld bijna nul (0,066 %). Hierdoor kunnen we  $PK_{j,k}$  ook als kans in plaats van als verwachting gebruiken. In model I staat dat we de verwachting gebruiken, maar bij de realisatie van model I gebruiken we de kans dat een klinische patiënt gedurende een tijdslot wordt aangemeld.

Voor spoedpatiënten geldt hetzelfde als voor klinische patiënten. De verwachtingswaarde is hier echter:

$$PS_{j,k} = 2,43\%, \quad \forall j, k.$$

Omdat hier hetzelfde geldt als voor klinische patiënten, modelleren we dit ook als een kans en niet als een verwachting.

### Groei in de aanvraag van CT-scans: $GR$

De aanvraag voor CT-scans groeit jaarlijks. De gegevens die hiervoor beschreven zijn, zijn gemaakt op basis van de data van 2008, 2009 en 2010. Naar verwachting zullen de aanvragen ook dit jaar weer toenemen. Om ervoor te zorgen dat de berekeningen ook kloppen voor dit jaar, gebruiken we de volgende groeifactor:

$$GR = 1,1.$$

Deze factor is bepaald aan de hand van de groei van de voorgaande jaren.

### Het aantal werkdagen dat we bekijken: $n_D$

Om de rekentijd van model II binnen de perken te houden, is ervoor gekozen om een periode van één week te bekijken. Als we echter precies vijf dagen bekijken, betekent dit dat op de eerste dag geen patiënten binnenkomen met een afspraak. Om dit te vermijden, bekijken we een periode van zes werkdagen. De eerste en zesde werkdag zijn een vrijdag. Voor het resultaat bekijken we dan de dagen 2 t/m 6. We voegen ook een zevende werkdag toe, zodat de patiënten die op de zesde dag niet terecht kunnen, wel ingepland kunnen worden. Voor de vrijdag is gekozen, omdat dit de rustigste dag in de week is.

De nummering van de werkdagen is hierdoor als volgt:

1. Vrijdag
2. Maandag
3. Dinsdag
4. Woensdag
5. Donderdag
6. Vrijdag

### De onderzoeksduur van een CT-scan per type patiënt: $DS_m$

Deze duur is bepaald aan de hand van de huidige protocollen van de CT. Daarnaast is gebruik gemaakt van een meting van de onderzoeksduur, door de laboranten op 31 mei en 1 juni 2011. Zie

**Tabel 5.4:** De gemiddelde onderzoeksduur van een CT-scan, in minuten, afhankelijk van het type patiënt. Bron: Rados en eigen onderzoek.

Type patiënt	Duur CT-scan (minuten)
Inloop	20
Afspraak	20
Klinisch	30
Spoed	30

Tabel 5.4 voor een overzicht van de verschillende tijdsduren.

De onderzoeksduur die in Tabel 5.4 gegeven is, is aan de hand van de protocollen gekozen. Dit is namelijk de tijd die ingepland wordt voor de meeste onderzoeken. Wanneer we deze onderzoeksduur vergelijken met de metingen van 31 mei en 1 juni 2011, zien we dat deze duur er ruim boven zit. Meestal is het onderzoek van de patiënten binnen deze tijd klaar. Door de tijd van de protocollen aan te houden, die dus een stuk ruimer is, zijn we er zeker van dat we realistische oplossingen krijgen. De oplossingen die we met model II krijgen, zijn hierdoor een soort worst-case scenario.

#### De maximale toegangstijd en wachttijd per type patiënt: respectievelijk $C_m$ en $W_m$

Dit maximum is gebaseerd op de eisen die door de afdeling radiologie gesteld zijn, in overeenstemming met het onderzoek van Scholtens (2009). Zie Tabel 5.5 voor een overzicht van de maxima.

**Tabel 5.5:** De maximale toegangstijd (in dagen) en wachttijd (in minuten), afhankelijk van het type patiënt. Bron: eigen onderzoek.

Type patiënt	Maximale toegangstijd (dagen)	Maximale wachttijd (minuten)
Inloop	1	45
Afspraak	1	20
Klinisch	1	20
Spoed	0	10

#### De capaciteit van de CT-scanners op een tijdslot: $CC_j$

De capaciteit van de CT-scanners is het aantal CT-scanners dat beschikbaar is op een bepaald tijdslot. Op het moment beschikt het MST over twee CT-scanners. De verwachting is dat dit er drie zullen zijn in het nieuwe ziekenhuis. Het is nog niet zeker of de derde CT-scanner op de afdeling radiologie komt te staan of bij de SEH afdeling. Wanneer de CT-scanner bij de SEH wordt geplaatst, is deze er in principe alleen voor spoedpatiënten. Op rustige momenten zouden ook klinische patiënten (zonder spoed) terecht kunnen bij deze CT-scanner.

In het begin van het onderzoek rekenen we de standaard situatie door met twee CT-scanners. Daarna rekenen we een aantal situaties door die afwijken van de standaard situatie, waaronder een situatie met drie CT-scanners.

Zoals gezegd, rekenen we de begin situatie door met twee CT-scanners. Deze staan echter niet te allen tijde tot onze beschikking. Gedurende de dienst en de lunchpauze is slechts één scanner

beschikbaar:

$$CC_j = 2, \quad \forall j : 1 \leq j < n_{pb}. \quad (5.23)$$

$$CC_j = 1, \quad \forall j : n_{pb} \leq j < n_{pe}. \quad (5.24)$$

$$CC_j = 2, \quad \forall j : n_{pe} \leq j < n_T. \quad (5.25)$$

$$CC_j = 1, \quad \forall j : n_T \leq j \leq n_{TE}. \quad (5.26)$$

## 5.5 Validatie model I & II

We zullen nu modellen I en II valideren. Dit is nodig, omdat de resultaten anders niet betrouwbaar zijn. In paragraaf 5.5.1 valideren we model I. We bekijken of de sets van binnenkomende patiënten, die we met model I maken, realistisch zijn. Dus of het aannemelijk is dat de patiënten op deze manier binnenkomen. In paragraaf 5.5.2 valideren we model II. Hierbij bekijken we of het mogelijk is dat de patiënten geholpen worden op de manier die is aangegeven in model II.

### 5.5.1 Model I: Aanvragen

De aanvragen zijn gemodelleerd met behulp van het computerprogramma MATLAB<sup>®</sup>. Wanneer de benodigde data voor model I is ingevuld (zie paragraaf 5.2.1), genereert het MATLAB<sup>®</sup> model een set met patiënten. In Tabel 5.6 staat een voorbeeld, waarbij de gegevens zijn gekozen zoals is besproken in paragraaf 5.4. Omdat het voorbeeld te groot zou zijn als we de groefactor  $GR = 1,1$  zouden gebruiken, nemen we als groefactor  $GR = 0,1$ . Dit voorbeeld is er enkel om het model te testen, een groefactor van 0,1 is niet realistisch.

Kolom 1 geeft het type van de patiënt weer. In kolom 2 staat het tijdslot van het moment dat de CT-scan is aangevraagd. Kolom 3 laat zien op welke werkdag de scan is aangevraagd. De data begint op een vrijdag (dag 1), daarna is er een volledige week van maandag t/m vrijdag (dag 2 t/m dag 6).

In het voorbeeld van Tabel 5.6 komen de meeste patiënten op dinsdag (dag 3) en donderdag (dag 5). Eén voorbeeld verteld ons eigenlijk niets concreets over de data, hiervoor moeten we meerdere keren de data bekijken. Daarom hebben we 5000 keer model I bekeken, om gemiddelden te krijgen. We gebruiken hiervoor de groefactor  $GR = 1,1$ . Voor het resultaat zie Tabel 5.7.

De gegevens in Tabel 5.7 zijn in overeenstemming met de verwachting van de patiëntstromen. Daarom kunnen we zeggen dat model I ons de gewenste resultaten geeft.

### 5.5.2 Model II: Behandeling

De behandeling is gemodelleerd met behulp van het computerprogramma AIMMS<sup>®</sup>.

Om hier handmatig een volledige week te proberen na te bootsen, zoals model II dat doet, zou te uitgebreid worden en te veel ruimte kosten. Daarom gebruiken we hiervoor het voorbeeld dat gegeven is in Tabel 5.6. Zie Tabel 5.8 voor het resultaat van model II. De eerste drie kolommen van Tabel 5.8 zijn identiek aan de kolommen van Tabel 5.6.

Kolom vier laat zien of een patiënt op dezelfde dag is onderzocht. Omdat er weinig patiënten zijn, zou iedereen in principe dezelfde dag nog terecht moeten kunnen bij de CT-scanners. Naast de patiënten van type 2, die nooit op dezelfde dag ingepland worden, is ook één van de patiënten van type 1 een dag later ingepland. De reden hiervoor is dat deze patiënt op tijdslot 200 arriveerde.  $200 \geq 192 = n_{MAX}$ , zie Tabel 5.1.

In de vijfde en zesde kolom staat wanneer de patiënt is onderzocht. Op basis hiervan, bepalen

**Tabel 5.6:** Voorbeeld uitkomst model I, groeifactor  $GR = 0,1$ , overige data zie paragraaf 5.4.

Type patiënt	Tijdslot	Werkdag
3	51	1
4	128	1
1	184	1
1	62	2
3	119	2
4	155	2
2	30	3
3	34	3
1	60	3
1	62	3
1	62	3
1	68	3
1	80	3
1	84	3
2	144	3
1	140	3
1	200	3
2	160	4
4	204	4
4	214	4
1	15	5
1	15	5
1	66	5
2	80	5
1	87	5
1	90	5
4	91	5
4	137	5
1	70	6
3	105	6
3	121	6
1	148	6
1	180	6

we de toegangstijd en de wachttijd van de patiënten. We zien dat de wachttijd van de meeste inlooppatiënten gelijk is aan de maximale wachttijd voor deze groep patiënten. De doelfunctie van model II minimaliseert de extra capaciteit en maximaliseert het aantal patiënten dat op dezelfde dag terecht kan, zie paragraaf 5.3.2. De wachttijd is een harde eis, maar er wordt geen rekening gehouden met het feit dat we deze eigenlijk minimaal willen hebben. De twee inlooppatiënten die in tijdslot 15 binnenkomen op donderdag (werkdag 5), zouden in principe allebei meteen een CT-scan kunnen krijgen. Het model ziet echter geen verschil in deze patiënten meteen inplannen of pas over 45 minuten (= 18 tijdslots). Het resultaat van model II is daardoor een soort worst-case scenario. In de werkelijkheid zullen deze patiënten zo snel mogelijk gepland worden, hierdoor zal de wachttijd in de werkelijkheid lager uitvallen. De gemiddelde toegangstijd is 0,2 werkdagen en de gemiddelde wachttijd is 22,7 minuten.

Het is mogelijk om de wachttijd ook te implementeren in de doelfunctie. Hier zouden we dan een kleine waarde aan kunnen hangen omdat de overschrijding van de capaciteit en de toegangstijd zwaarder wegen. We hebben dit echter niet gedaan zodat de rekentijd van het model niet te groot werd. Afhankelijk van de grootte van de verzameling van het aantal patiënten, kan de

**Tabel 5.7:** Gemiddelden resultaat model I, op basis van 5000 experimenten met de data zoals deze beschreven staat in paragraaf 5.4.

Type data	Gemiddelde	Standaardafwijking
Patiënten per week:		
	223,77	14,74
Patiënten per werkdag:		
Maandag	51,48	7,03
Dinsdag	45,29	6,72
Woensdag	43,27	6,50
Donderdag	46,10	6,70
Vrijdag	37,63	6,01
Type patiënt per week (tot 17:00 uur):		
Inloop	132,96	11,38
Afspraak	31,69	5,53
Klinisch	27,16	5,10
Spoed	31,97	5,61
Tijdstip waarop patiënt binnenkomt:		
08:00 t/m 09:00 uur	13,95	3,69
09:00 t/m 10:00 uur	28,77	5,26
10:00 t/m 11:00 uur	34,20	5,76
11:00 t/m 12:00 uur	35,10	5,82
12:00 t/m 13:00 uur	17,27	4,16
13:00 t/m 14:00 uur	16,66	3,98
14:00 t/m 15:00 uur	30,85	5,39
15:00 t/m 16:00 uur	26,91	5,10
16:00 t/m 17:00 uur	16,07	3,98
17:00 t/m 18:00 uur	3,99	1,93

rekentijd wel tien keer zo groot worden.

### 5.5.3 Getallen voorbeeld verhoging snelheid model II

Om de rekentijd van model II te reduceren, zijn niet alle variabelen en voorwaarden gemodelleerd zoals in paragraaf 5.3.2 is beschreven. Sommige variabelen hoeven niet voor alle (combinaties van) indices gedefinieerd te worden. De (combinaties van) indices zijn overbodig, wanneer we zeker weten dat de variabele voor deze (combinaties van) indices gelijk is aan nul. Dit weten we door de randvoorwaarden van het model. Door deze (combinaties van) indices niet mee te nemen, verminderen we het rekenwerk van AIMMS<sup>®</sup>. Daarnaast worden sommige randvoorwaarden overbodig.

Beslissingsvariabele  $G(I_q)$  is gelijk aan nul, wanneer  $TP(I_q)$  gelijk is aan 2. Daarom definiëren we  $G(I_q)$  alleen als  $TP(I_q)$  niet gelijk is aan 2.

Beslissingsvariabele  $X_{j,k,q}$  hoeft niet voor alle mogelijke combinaties van indices te bestaan.

- Patiënten zonder spoed mogen tot tijdslot  $n_{max}$  worden ingepland, zie voorwaarde (5.10). Het is dus niet nodig om alle tijdslots mee te nemen. Tijdslots vanaf  $n_{max}$  zijn overbodig voor patiënten die niet van type 4 zijn.

**Tabel 5.8:** Voorbeeld uitkomst model II, met Tabel 5.6 als invoer.

Type patiënt	Tijdslot aanmelden	Werkdag aanmelden	$G(I_q)$	Tijdslot scan	Werkdag scan	Wachttijd in minuten	Toegangstijd in dagen
3	51	1	1	51	1	0	0
4	128	1	1	128	1	0	0
1	184	1	1	185	1	2,5	0
1	62	2	1	80	2	45	0
3	119	2	1	119	2	0	0
4	155	2	1	158	2	7,5	0
2	30	3	0	186	4	n.v.t.	1
3	34	3	1	38	3	10	0
1	60	3	1	78	3	45	0
1	62	3	1	80	3	45	0
1	62	3	1	62	3	0	0
1	68	3	1	86	3	45	0
1	80	3	1	98	3	45	0
1	84	3	1	102	3	45	0
2	144	3	0	11	4	n.v.t.	1
1	140	3	1	158	3	45	0
1	200	3	0	184	4	n.v.t.	1
2	160	4	0	1	5	n.v.t.	1
4	204	4	1	204	4	0	0
4	214	4	1	218	4	10	0
1	15	5	1	33	5	45	0
1	15	5	1	33	5	45	0
1	66	5	1	84	5	45	0
2	80	5	0	185	6	n.v.t.	1
1	87	5	1	87	5	0	0
1	90	5	1	108	5	45	0
4	91	5	1	95	5	10	0
4	137	5	1	141	5	10	0
1	70	6	1	88	6	45	0
3	105	6	1	105	6	0	0
3	121	6	1	121	6	0	0
1	148	6	1	166	6	45	0
1	180	6	1	180	6	0	0

- Een laborant kan een patiënt pas ophalen voor zijn CT-scan, als deze zich gemeld heeft voor een onderzoek, zie voorwaarde (5.6).  
Het is dus niet nodig om alle tijdslots mee te nemen. Tijdslots die voor het tijdslot van melden liggen, zijn overbodig.
- De patiënten hebben een maximale toegangstijd, zie voorwaarde (5.15).  
Het is dus niet nodig om alle werkdagen mee te nemen. Werkdagen die te ver in de toekomst liggen, zijn overbodig.
- De dag waarop de patiënt opgehaald wordt voor zijn CT-scan, kan niet voor de dag liggen waarop de patiënt zich meldt, zie voorwaarden (5.7) en (5.8).  
Het is dus niet nodig om alle werkdagen mee te nemen. Werkdagen die in het verleden liggen, zijn overbodig.

Om een idee te geven van de hoeveelheid variabelen bekijken we een getallenvoorbeeld van model II. Om het resultaat overzichtelijk te houden, gebruiken we de kleine dataset die gegeven is in Tabel 5.6. Deze dataset is gemaakt met behulp van model I.

We bekijken eerst het totale aantal variabelen dat hoort bij de dataset die is gegeven in Tabel 5.6.

- $G(I_q)$  levert 29 variabelen, in plaats van 33.  
 $G(I_q)$  bestaat alleen voor patiënten die niet van type 2 zijn, dat zijn er 29.
- $X_{j,k,q}$  levert 11.348 variabelen, in plaats van 55.440.  
 Voor  $X_{j,k,q}$  maken we onderscheid tussen type 1 t/m 3 en type 4.
  - De dataset in Tabel 5.6 bevat 27 patiënten van type 1 t/m 3.  
 Voor deze patiënten loopt de tijd van tijdslot 1 tot tijdslot 192. We bekijken de dag waarop patiënten binnenkomen en de dag erna. We krijgen hierdoor  $(191 \cdot 2 \cdot 27 =) 10.314$  variabelen, in plaats van  $(240 \cdot 7 \cdot 27 =) 45.360$ .
  - De dataset in Tabel 5.6 bevat 6 patiënten van type 4.  
 We bekijken wederom de dag waarop de patiënten binnenkomen en de dag erna. Maar voor deze patiënten loopt de tijd t/m tijdslot 240. Het tijdslot waarop de tijd begint, verschilt per spoedpatiënt. Deze tijd hangt namelijk af van het tijdstip waarop de patiënt binnenkomt. Dit levert ons  $(113 + 86 + 37 + 27 + 150 + 104 =) 517$  tijdslots op, zie Tabel 5.6. We krijgen hierdoor  $517 \cdot 2 = 1.034$  variabelen, in plaats van  $(240 \cdot 7 \cdot 6 =) 10.080$ .  
 In totaal levert  $X_{j,k,q}$  hierdoor  $(10.314 + 1.034 =) 11.348$  variabelen, in plaats van  $(45.360 + 10.080 =) 55.440$ .
- $EC_{j,k}$  levert 1.680 variabelen.  
 De tijdslots lopen van 1 t/m 240, de werkdagen lopen van 1 t/m 7. Hierdoor krijgen we  $(240 * 7 =) 1.680$  variabelen.
- De doelfunctie  $TM$  levert ons 1 variabele op.

Het totale aantal variabelen komt hiermee op 13.058.

29	$G(I_q)$
11.348	$X_{j,k,q}$
1.680	$EC_{j,k}$
1	$TM$
+	
13.058	

De variabelen  $G(I_q)$  en  $X_{j,k,q}$  zijn binair, variabelen  $EC_{j,k}$  en  $TM$  zijn vrije variabelen. Van de 13.058 variabelen die we hebben, zijn  $(29 + 11.348 =) 11.377$  integer.

Als we het aantal variabelen niet hadden verminderd dan hadden we 57.154 variabelen gehad.

33	$G(I_q)$
55.440	$X_{j,k,q}$
1.680	$EC_{j,k}$
1	$TM$
+	
57.154	

Van de 57.154 variabelen die we hadden, waren  $(33 + 55.440 =) 55.473$  integer.

Naast het feit dat we nu aanzienlijk minder variabelen hebben, zijn ook een aantal voorwaarden (bijvoorbeeld voorwaarde (5.10)) overbodig geworden. Ook dit zorgt ervoor dat model II sneller door te rekenen is.

## 5.6 Experimenten

We zullen nu de verschillende experimenten beschrijven die worden uitgevoerd met modellen I en II. De resultaten van deze experimenten zijn te vinden in hoofdstuk 6. We beginnen met een basis experiment die het basisscenario in MST weergeeft. Vervolgens bekijken we een aantal andere scenario's. Deze scenario's zijn een aanpassing van het basisscenario.

Model I is een generator van patiënten. Als we een nieuw scenario willen toepassen, is het verstandig om dit op dezelfde dataset uit te voeren. Op deze manier worden de effecten vermeden die op kunnen treden door verschillen in de data. We doen dit zodat de vergelijkingen gebaseerd zijn op het verschil in één variabele en niet een combinatie van variabelen. Dit is natuurlijk niet altijd mogelijk, bijvoorbeeld bij een scenario waarin de vraag met een ander percentage toeneemt. In een dergelijk geval is een nieuwe dataset een vereiste.

Om er zeker van te zijn dat we geen resultaten vinden die sterk afhankelijk zijn van de gebruikte data, herhalen we de experimenten met tien verschillende (maar soortgelijke) datasets. We zullen de volgende scenario's bekijken, achter elk scenario staat de paragraaf waar deze besproken wordt. Alle scenario's zijn op basis van de CT op inloop.

1. Basisscenario (5.6.1)
2. Grotere maximale wachttijd (5.6.2)
3. Toename patiënten met een zeker percentage (5.6.3)
4. Derde CT-scanner voor spoed (5.6.4)
5. Kortere onderzoekstijd (5.6.5)

### 5.6.1 Basisscenario

In het basisscenario gaan we uit van gegevens, zoals deze besproken zijn in paragraaf 5.4. We maken met behulp van model I tien verschillende (maar soortgelijke) datasets. Deze tien sets gebruiken we als input voor model II. Aan de hand hiervan bekijken we wanneer de patiënten ingepland worden. Op basis van deze gegevens bepalen we de toegangstijd en de wachttijd van de patiënten. Als de toegangstijd groter is dan nul, kon de patiënt niet op dezelfde dag terecht. Hierdoor weten we ook welke inlooppatiënten en klinische patiënten zijn geweigerd.

### 5.6.2 Grotere maximale wachttijd

We onderzoeken wat er gebeurt wanneer we de maximale wachttijd voor de patiënten vergroten. Hierbij vergroten we alleen de maximale wachttijd van de inlooppatiënten. MST heeft nog niet eerder gewerkt met de CT op inloop, dit patiënten type is daarom nieuw. Door de maximale wachttijd te vergroten en de resultaten daarvan te analyseren, kan MST bewuster de maximale wachttijd voor dit type patiënt bepalen. We gebruiken de tien datasets van het basisscenario als invoer voor model II.

De maximale wachttijd voor patiënten van het type inloop wordt vergroot van 45 minuten (zie Tabel 5.5) naar 90 minuten.

### 5.6.3 Toename patiënten met een zeker percentage

In dit scenario gebruiken we een groefactor van 1,65. Op deze manier simuleren we de situatie in MST over vijf jaar. We bekijken wat de invloed hiervan is op de resultaten. Worden nu bijvoorbeeld meer patiënten geweigerd voor de inloop? Of stijgt de wachttijd van de patiënten? Daarnaast is het nog maar de vraag of het wel mogelijk is om alle patiënten met twee CT-scanners te scannen, als de patiënten toenemen. In het geval dat het niet mogelijk is, bekijken we ook wat er gebeurt als we over drie CT-scanners beschikken. Dit scenario bekijken we ook door tien datasets te maken met model I en deze als invoer te gebruiken voor model II. Een groefactor van 1,65 is een groei



van 50 % ten opzichte van de datasets van het basisscenario. Daar was het groeipercentage immers 10 %, ( $1, 10 \cdot 1, 50 = 1, 65$ ).

#### 5.6.4 Derde CT-scanner voor spoed

De derde CT-scanner die het MST wil aanschaffen, komt waarschijnlijk op de SEH terecht. Dit scenario kan gesimuleerd worden door in model I de spoedpatiënten niet mee te nemen. Deze zullen immers allemaal op de CT-scanner bij de SEH gescand worden. Dus:

$$PS_{j,k} = 0, \quad \forall j, k.$$

Omdat dit scenario pas over een aantal jaar kan plaatsvinden, nemen we dezelfde groeifactor als in scenario 3.

$$GR = 1, 65.$$

#### 5.6.5 Kortere onderzoekstijd

Tegen de tijd dat het nieuwe ziekenhuis van MST klaar is, zullen de huidige CT-scanners vervangen worden. Hierdoor verandert niet alleen de scanruimte, maar ook de CT-scanner zelf. Een mogelijk gevolg hiervan is dat de onderzoekstijd per patiënt daalt. Daarnaast kan MST er ook zelf voor zorgen dat de onderzoekstijd daalt. Een aantal voorbeelden hoe dit zou kunnen gebeuren:

- Het infuus, bij patiënten die contrast nodig hebben, buiten de CT ruimte aanleggen.
- Meerdere patiënten tegelijk laten omkleden en de patiënten achter elkaar in de CT ruimte laten binnenkomen. Dit is soortgelijk aan het systeem dat momenteel voor de Bucky wordt gebruikt.
- Snellere CT-scanners aanschaffen.

Hierdoor zou het misschien wel mogelijk zijn om, ondanks een stijging van de vraag, te volstaan met twee of zelfs één CT-scanner.

De onderzoekstijd laten dalen, kan geld kosten. Wanneer we het infuus bijvoorbeeld buiten de CT ruimte aanleggen, is hier een extra laborant of een doktersassistent voor nodig. De loonkosten van één extra personeelslid voor meerdere jaren, liggen echter flink onder de aanschaf- en onderhoudskosten van een derde CT-scanner. Daarom is het zeker de moeite waard om dit scenario te onderzoeken.

Wederom bekijken we het scenario aan de hand van een tiental datasets uit model I, die door model II worden gebruikt. Voor dit scenario veranderen we de groeifactor met hetzelfde percentage als in scenario's 3 en 4.

$$GR = 1, 65.$$

Voor de duur van de CT-scan zie Tabel 5.9.

**Tabel 5.9:** De gemiddelde duur van een CT-scan, in minuten, afhankelijk van het type patiënt. In het geval dat de onderzoeksduur daalt.

Type patiënt	Duur CT-scan (minuten)
Inloop	5
Afspraak	5
Klinisch	10
Spoed	10

De tijden in Tabel 5.9 zijn niet onrealistisch. Wanneer we de verschillende mogelijkheden combineren om een CT-scan sneller te maken zou dit in de toekomst haalbaar moeten zijn. De daadwerkelijke CT-scan duurt slechts een paar seconde. De overige tijd dat de CT ruimte bezet is, zou gedeeltelijk buiten de CT ruimte kunnen plaatsvinden.

Indien de resultaten met twee CT-scanners goed zijn, bekijken we ook de situatie met maar één CT-scanner.

## Hoofdstuk 6

# Resultaten en aanbevelingen

*In dit hoofdstuk staat een overzicht van de resultaten van het onderzoek. In paragraaf 5.6 is een aantal experimenten besproken van verschillende scenario's die kunnen worden ingevoerd bij de CT. Aan elk van deze experimenten is in paragraaf 6.1 een gedeelte gewijd over de resultaten van het experiment. Op basis van deze resultaten trekken we conclusies en doen we aanbevelingen. Paragraaf 6.2 beschrijft de aanbevelingen aan Medisch Spectrum Twente. Paragraaf 6.3 sluit af met een bespreking van het vervolgonderzoek dat gedaan kan worden naar aanleiding van het onderzoek dat besproken is in dit verslag.*

### 6.1 Resultaten van de verschillende scenario's

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de experimenten die zijn beschreven in paragraaf 5.6.

#### 6.1.1 Basisscenario

We beschrijven nu het resultaat van het basisscenario, dat in paragraaf 5.6.1 beschreven staat.

Met behulp van model I maken we tien verschillende (maar soortgelijke) datasets. Deze datasets gebruiken wij als invoer voor model II. In Tabel 6.1 staat een overzicht met informatie over de resultaten van elk van deze sets. In de laatste kolom is het gemiddelde gegeven van de combinatie van alle datasets. De informatie die niet gegeven is, is hetzelfde voor alle datasets. Deze informatie staat beschreven in paragraaf 5.4, denk hierbij aan bijvoorbeeld de duur van een CT-onderzoek. *Gem* staat voor gemiddelde en *Std* staat voor standaardafwijking.

De opvallende resultaten van Tabel 6.1:

- *Aantal patiënten in zes dagen:*  
Het gemiddelde aantal patiënten van deze 10 datasets is 266,8. Hierbij is het belangrijk om op te merken dat dit werkdagen zijn. Zoals in paragraaf 5.4 genoemd, beginnen en eindigen we op een vrijdag.
- *Aantal patiënten per type:*  
De meeste patiënten komen voor de inloop. De aantallen van de overige drie typen patiënten liggen bij elkaar in de buurt. De verhouding in afgeronde percentages per type is respectievelijk 59, 13, 12 en 15 %.
- *Percentage zelfde dag terecht:*  
Het percentage van klinische patiënten dat wordt geaccepteerd ligt hoger dan dat van de inlooppatiënten. Dit komt doordat de klinische patiënten drie keer zwaarder wegen in vergelijking (5.22).  
Alle spoedpatiënten konden bij alle datasets op dezelfde dag terecht, dit is immers een voorwaarde van het model. Daarom is bij 'Percentage zelfde dag terecht', het percentage van de

**Tabel 6.1:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4.

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Aantal patiënten in zes dagen:											
	242	284	260	282	258	267	252	264	272	287	266,8
Aantal patiënten per type:											
Inloop	139	166	156	170	140	158	161	166	159	170	158,5
Afspraak	37	41	35	38	44	41	32	27	34	26	35,5
Klinisch	29	31	33	30	45	28	21	35	38	42	33,2
Spoed	37	46	36	44	29	40	38	36	41	49	39,6
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	78,4	37,3	59,6	40,0	47,1	55,1	68,3	45,8	18,2	25,3	46,9
Klinisch	89,7	54,8	78,8	86,7	60,0	92,9	85,7	91,4	50,0	59,5	72,9
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,6	0,5
Std	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	15,7	11,7	15,8	13,5	12,5	14,2	16,8	14,5	12,2	10,7	14,0
Std	14,2	11,6	13,9	12,9	13,6	13,8	15,2	13,2	12,4	12,2	13,6
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	0	29	13	12	5	4	8	0	5	21	9,7

spoedpatiënten er niet bij gezet. Dit zou immers voor alle datasets 100 % zijn.

Van de patiënten van type afspraak kon geen enkele patiënt dezelfde dag terecht, ook dit is een voorwaarde van het model. Het percentage van deze patiënten is voor alle datasets 0 %, daarom is ook dit percentage er niet bij gezet.

Dat er meer patiënten zijn, wil niet automatisch zeggen dat er minder patiënten geaccepteerd worden op een dag. Bij dataset 2 zijn er  $(166 \cdot 0,373 + 31 \cdot 0,548 + 46) = 125$  op de dag van aanvraag onderzocht. Bij dataset 9 waren dat er slechts  $(159 \cdot 0,182 + 38 \cdot 0,50 + 41) = 89$ .

- *Toegangstijd in werkdagen:*

De standaardafwijking van de toegangstijd is stabiel, het gemiddelde niet. Meer patiënten betekent niet automatisch een hogere toegangstijd. In dataset 2 waren er 12 patiënten meer dan in dataset 9, toch ligt het gemiddelde bij dataset 2 lager.

De toegangstijd hangt af van het percentage patiënten dat op de dag van aanvraag, onderzocht is. Hoe hoger de percentages, des te lager de toegangstijd.

De toegangstijd is altijd nul of één dag, omdat patiënten nooit meer dan één dag mogen wachten. Het gemiddelde ligt daardoor ook tussen nul en één.

- *Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):*

De wachttijd van de patiënten die niet dezelfde dag terecht kunnen, is 0 minuten. Daarom is deze wachttijd niet meegenomen in het berekenen van het gemiddelde en de standaardafwijking.

We minimaliseren de wachttijd niet, we stellen alleen eisen voor de maximale wachttijd. Hierdoor zou de gemiddelde wachttijd in de werkelijkheid alleen maar lager kunnen uitvallen.

- *Aantal overschrijdingen capaciteit:*

Bij acht van de tien datasets, is de capaciteit overschreden. In de volgende alinea lichten we



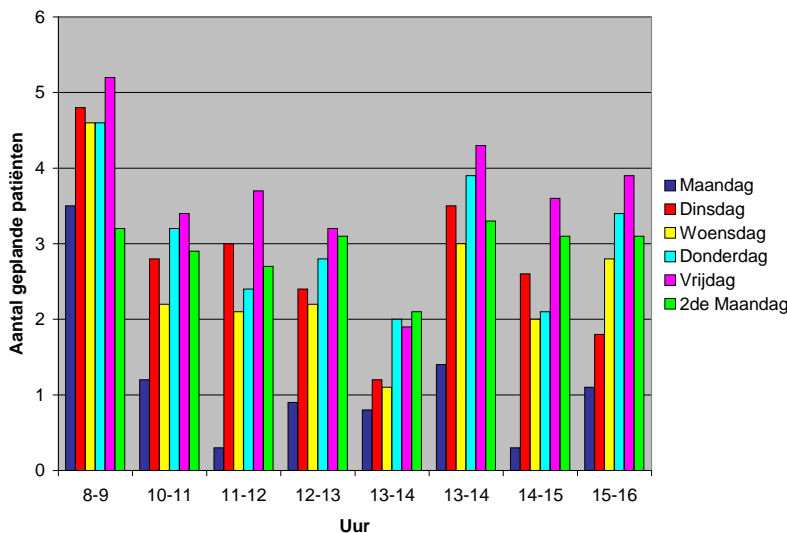
De meeste overschrijdingen van de capaciteit worden veroorzaakt door spoedpatiënten die vlak na elkaar binnenkomen. De kans dat dit gebeurt gedurende de dienst of de pauze is groter dan gedurende werktijd, omdat dan slechts één CT-scanner beschikbaar is. In werkelijkheid laat men één of meer van de spoedpatiënten langer wachten dan is toegestaan, dit is in het model niet mogelijk.

De overschrijdingen die veroorzaakt worden door overige factoren, zijn indicatoren dat er ergens iets mis is. Meer patiënten betekent niet altijd meer overschrijdingen. Dataset 4 heeft bijna evenveel patiënten als dataset 2. Toch zijn er geen overschrijdingen door overige factoren bij dataset 4, dataset 2 heeft er echter maar liefst 15. Zie ook dataset 9. Het ligt er dus niet zozeer aan hoeveel patiënten binnenkomen, hun tijdstip en volgorde zijn belangrijker.

De overschrijdingen zijn over het algemeen niet achtereenvolgend, het komt in dataset 2 slechts twee keer voor dat twee overschrijdingen achter elkaar plaatsvinden. Dataset 2 heeft hierdoor 11 overschrijdingen van 2,5 minuut en 2 overschrijdingen van 5 minuten die veroorzaakt zijn door overige factoren. Dataset 3 heeft drie overschrijdingen van 2,5 minuut die veroorzaakt zijn door overige factoren. Uit een meting door de laboranten, is gebleken dat de duur van het onderzoek ruim onder de tijd ligt die wordt gereserveerd volgens de protocollen. Dus de tijden die in Tabel 5.4 staan, zijn aan de ruime kant gekozen. Hierdoor zullen in de werkelijkheid niet alle overschrijdingen ook echt waarneembaar zijn.

### Planning van de afspraken

Voor patiënten van type 2, wordt een afspraak op de eerstvolgende werkdag gemaakt. Patiënten van type 1 en 3 krijgen ook een afspraak voor de eerstvolgende werkdag, als ze niet op dezelfde dag terecht kunnen ( $G(q) = 0$ ). We bekijken nu op welke manier deze patiënten gepland moeten worden, om inloop mogelijk te maken. In Figuur 6.1 staat een overzicht van het gemiddelde aantal patiënten dat is ingepland op een zeker tijdstip. Dit gemiddelde is gebaseerd op de datasets die in Tabel 6.1 zijn besproken.



**Figuur 6.1:** Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur is ingepland, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.1.

Allereerst merken we de maandagen op. De datasets die gebruikt zijn, begonnen allemaal op een

vrijdag. Alle patiënten van type 2 en eventueel nog een paar patiënten van type 1 en 3 die niet op die vrijdag terecht konden, zijn gepland op de eerste maandag. Omdat er op die vrijdag geen patiënten van de vorige dag gepland staan, hoeven maar weinig patiënten van type 1 en 3 te wachten tot de volgende dag. Hierdoor zijn op de eerste maandag minder patiënten met een afspraak, dan men zou verwachten. We bekijken in principe maar zes dagen, dus eigenlijk eindigen de datasets op de vrijdag. Maar omdat sommige patiënten die dag niet terecht kunnen, worden deze patiënten de maandag erna ingepland. Omdat op deze maandag geen nieuwe patiënten arriveren, is het minder belangrijk hoe laat de patiënten ingepland worden. Daarom is er minder verschil in de kolommen van de tweede maandag.

Het minste aantal patiënten wordt ingepland tussen 12:00 en 13:00 uur. Dit komt doordat de capaciteit van de CT-scanners lager is gedurende de lunchpauze, zie Tabel 5.1 en vergelijking (5.24). Na de lunchpauze komen er minder patiënten inlopen, doordat de aanvragende specialisten zelf ook lunchpauze hebben gehad. In de ochtend zijn er ook weinig inlooppatiënten, omdat er dan nog geen spreekuur afspraken zijn geweest. Patiënten met een afspraak dienen ingepland te worden op tijden dat er weinig inlooppatiënten zijn. Dit is met name het geval tussen 13:00 en 14:00 uur (na de lunchpauze) en in de ochtend. Na 16:00 uur worden er geen patiënten meer ingepland. Dit is om te voorkomen dat de werktijd van de laboranten uitloopt.

### Bezettingsgraad

Om de bezetting van de CT te bepalen, moeten we de vraag en de capaciteit bepalen. De vraag bestaat uit alle aanvragen die binnenkomen, met uitzondering van de aanvragen voor spoedpatiënten na 16:30 uur. Deze patiënten worden namelijk buiten de openingstijden van de CT behandeld. De datasets van Tabel 6.1 beslaan een periode van zes dagen. Per werkdag is er in totaal 16,5 uur onderzoekstijd beschikbaar: gedurende de lunchpauze is één CT-scanner beschikbaar, de overige tijd zijn er twee CT-scanners beschikbaar. Dit levert ons een capaciteit van 5.940 minuten. De vraag is 20 minuten voor patiënten van type 1 en 2 en 30 minuten voor patiënten van type 3 en 4. Patiënten van type 4 die na 16:30 uur binnenkomen, nemen we niet mee. In Tabel 6.3 staat een overzicht van de vraag en de bezettingsgraad per dataset.

**Tabel 6.3:** Vraag en bezettingsgraad van de datasets van Tabel 6.1 van 8:00 t/m 16:30 uur.

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Vraag in minuten:											
	5.350	6.210	5.770	6.140	5.840	5.780	5.420	5.900	6.050	6.380	5.884
Bezettingsgraad in procenten:											
	90,1	104,5	97,1	103,4	98,3	97,3	91,2	99,3	101,9	107,4	99,1

We zien in Tabel 6.3 dat de bezettingsgraad erg hoog is. Gemiddeld ligt de bezettingsgraad in de buurt van de 100 %. Dit betekent dat de planning heel strak moet zijn. We zien nu ook dat een aantal overschrijdingen van de capaciteit wel nodig zijn, omdat de bezettingsgraad soms boven de 100 % ligt.

### Conclusie

Het basisscenario laat ons zien dat het mogelijk is om de CT op inloop te organiseren. De toegangstijd zal flink dalen, ten opzichte van de huidige situatie. De overige voordelen voor CT op inloop zijn beschreven in paragraaf 4.4. De bezettingsgraad laat zien dat er strak gepland moet worden. Daarnaast is de bezetting zo hoog, dat we een verdere stijging van de vraag niet aankunnen onder de huidige omstandigheden.

### 6.1.2 Grotere maximale wachttijd

Deze paragraaf beschrijft wat er gebeurt als we de maximale wachttijd voor de patiënten van het type inloop laten toenemen. Dit scenario staat beschreven in paragraaf 5.6.2.

We kiezen er nu voor om niet tien nieuwe datasets te maken, maar de datasets van paragraaf 6.1 te gebruiken. Dit doen we om de scenario's beter te kunnen vergelijken. Deze datasets zijn gebruikt voor het maken van Tabellen 6.1, 6.2 en 6.3. In Tabel 6.4 staat een overzicht met informatie over de resultaten van elk van deze datasets. Het totale aantal patiënten en het aantal per type, is hetzelfde als in Tabel 6.1. Daarom zijn deze gegevens niet meegenomen in Tabel 6.4.

**Tabel 6.4:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de maximale wachttijd voor inlooppatiënten (90 i.p.v. 45 minuten).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	79,9	44,0	67,3	50,6	48,6	55,7	73,9	49,4	18,2	27,6	51,0
Klinisch	89,7	48,4	78,8	86,7	60,0	92,9	90,5	91,4	50,0	66,7	73,5
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5
Std	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	22	26,8	26,4	20,7	20,8	19,8	25,2	21,3	15,2	15,5	21,8
Std	26,8	28,5	27,8	24,7	26,7	24,4	27,3	24,2	21,7	22,0	25,9
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	0	18	13	12	5	4	8	0	5	21	8,6

Bij negen van de tien datasets in Tabel 6.4 kunnen meer inlooppatiënten dezelfde dag terecht dan in Tabel 6.1. Procentueel gezien is het verschil echter niet groot. Bij slechts twee van de tien datasets in Tabel 6.4 kunnen meer klinische patiënten dezelfde dag terecht dan in Tabel 6.1. Het meest opvallende is echter data set 2, waar minder klinische patiënten dezelfde dag terecht kunnen. Het aantal overschrijdingen van de capaciteit is echter gedaald bij dataset 2. De overschrijdingen van de capaciteit wegen zwaarder (zie vergelijking (5.22)) en dat verklaart waarom het mogelijk is dat minder klinische patiënten dezelfde dag terecht kunnen.

Doordat het verschil in het aantal patiënten dat dezelfde dag terecht kan niet groot is, verandert de toegangstijd ook niet veel. De toegangstijd heeft een sterke correlatie met het percentage van patiënten dat dezelfde dag terecht kan. Het verschil in de wachttijd is wel groot ten opzichte van het basisscenario. Dit komt natuurlijk doordat we een grotere wachttijd toestaan. Zoals in paragraaf 5.5.2 is vermeld, minimaliseert het model de wachttijd niet. Bij de datasets in Tabel 6.1 was de wachttijd echter ook niet geminimaliseerd.

Naast dataset 2 zijn er geen andere datasets waarin het aantal overschrijdingen van de capaciteit is gedaald. Het verhogen van de maximale wachttijd heeft naar verwachting niet een grote invloed op de overschrijdingen van de capaciteit.



## Conclusie

Door de maximale wachttijd voor de inlooppatiënten te verdubbelen van 45 naar 90 minuten, verwachten we dat meer patiënten dezelfde dag terecht kunnen. Het percentage van patiënten dat dezelfde dag terecht kan, stijgt echter niet veel. De bezettingsgraad van de CT is nog altijd hetzelfde, omdat zowel de vraag als het aanbod niet veranderd zijn. Daarnaast is het mogelijk dat we minder overschrijdingen van de capaciteit krijgen, doordat er meer speling is. De verwachte stijging in de wachttijd weegt waarschijnlijk niet genoeg op tegen de geringe stijging van patiënten die dezelfde dag terecht kunnen. Als we de maximale wachttijd minder verhogen, zullen ook minder patiënten dezelfde dag terecht kunnen. Om ervoor te zorgen dat veel meer patiënten dezelfde dag terecht kunnen, zouden we de maximale toegangstijd waarschijnlijk aanzienlijk moeten verhogen, ook voor de klinische patiënten en de spoedpatiënten. We raden het niet aan om de maximale wachttijd te verhogen. De voordelen wegen immers niet op tegen de nadelen.

### 6.1.3 Toename patiënten met een zeker percentage

Deze paragraaf beschrijft wat er gebeurt als het aantal patiënten met een zeker percentage toeneemt. Dit scenario staat beschreven in paragraaf 5.6.3.

Met behulp van model I hebben we, net als in paragraaf 6.1.1, tien verschillende (maar soortgelijke) datasets geproduceerd. Voor deze datasets is een groeifactor van 1,65 gebruikt. Op deze manier simuleren we de vraag voor CT-scans zoals deze eruit ziet over vijf jaar. Hierbij is het percentage ruim gekozen. Deze datasets gebruiken we als invoer voor model II. In Tabel 6.5 staat een overzicht met informatie over de resultaten van elk van deze sets, soortgelijk aan het overzicht in Tabel 6.1. De informatie die niet gegeven is, is hetzelfde voor alle datasets. Deze informatie staat beschreven in paragraaf 5.4. We merken nu ook op dat een groeifactor van 1,65 een groei van 50 % is ten opzichte van de datasets van het basisscenario. Daar was het groeipercentage immers 10 %.

Het valt ons meteen op dat de hoeveelheid overschrijdingen aanzienlijk is gestegen. Het gemiddelde aantal overschrijdingen is twee keer zo hoog als het gemiddelde aantal patiënten. In Tabel 6.6 staat een gespecificeerd overzicht van het aantal overschrijdingen.

De meeste overschrijdingen vinden gedurende werktijd plaats. Op basis van de grote hoeveelheid overschrijdingen trekken we onze conclusies. Het is niet mogelijk om met de huidige voorwaarden, een groeifactor van 1,65 te verwerken. Als de voorwaarden hetzelfde blijven, is een derde CT-scanner noodzakelijk. Dit is niet alleen het geval als we voor CT op inloop kiezen, het is überhaupt niet mogelijk om zoveel patiënten met twee CT-scanners te onderzoeken onder de huidige voorwaarden. Dit resultaat was te verwachten. De vraag is immers met 50 % ten opzichte van het basisscenario toegenomen, maar capaciteit is hetzelfde gebleven. En in het basisscenario was de gemiddelde bezettingsgraad 99,1 %.

#### Aanschaf derde CT-scanner

We zullen nu model II nogmaals simuleren met de tien datasets van Tabel 6.5, maar dan met drie CT-scanners gedurende werktijd. Voorwaarden (5.23) en (5.25) worden daarom door de volgende twee voorwaarden vervangen:

$$CC_j = 3, \quad \forall j : 1 \leq j < n_{pb}. \quad (6.1)$$

$$CC_j = 3, \quad \forall j : n_{pe} \leq j < n_T. \quad (6.2)$$

Voorwaarden (5.24) en (5.26) blijven hetzelfde, omdat gedurende de dienst en de pauze nog steeds één CT-scanner beschikbaar is. In Tabel 6.7 is een overzicht van de resultaten gegeven. Het totaal aantal patiënten en het aantal per type, zijn natuurlijk hetzelfde als in Tabel 6.5. Daarom zijn

**Tabel 6.5:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Aantal patiënten in zes dagen:											
	415	358	408	419	385	438	392	363	364	401	394,3
Aantal patiënten per type:											
Inloop	241	229	234	252	237	247	237	207	200	227	231,1
Afspraak	57	48	64	55	47	62	52	52	52	65	55,4
Klinisch	48	44	47	50	42	55	45	48	46	55	48,0
Spoed	69	37	63	62	59	74	58	56	66	54	59,8
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	71,8	56,3	71,4	74,6	64,6	76,5	70,5	68,6	65,5	70,9	69,2
Klinisch	70,8	79,6	74,5	70,0	76,2	69,1	82,2	77,1	73,9	72,7	74,4
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Std	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	13,5	13,7	14,5	14,5	15,8	14,6	16,2	14,5	12,8	15,3	14,5
Std	14,7	13,5	13,9	14,1	14,6	14,9	14,9	14,2	13,4	15,1	14,4
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	951	471	920	1008	733	1175	701	488	590	924	796,1

**Tabel 6.6:** Aantal overschrijdingen van de capaciteit door de datasets van Tabel 6.5, per situatie.

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aantal overschrijdingen capaciteit:										
	951	471	920	1008	733	1175	701	488	590	924
Aantal overschrijdingen per situatie										
Overschrijdingen gedurende de dienst:										
	13	0	4	19	14	31	30	24	29	7
Overschrijdingen gedurende de pauze:										
	251	80	105	246	107	278	92	52	59	239
Overschrijdingen gedurende werktijd :										
	687	391	811	743	612	866	579	412	502	678

deze gegevens niet meegenomen in Tabel 6.7.

Het aantal overschrijdingen in Tabel 6.7 is aanzienlijk minder dan in Tabel 6.5, maar nog altijd meer dan in Tabel 6.1. In Tabel 6.8 staat een gespecificeerd overzicht van het aantal overschrijdingen.

**Tabel 6.7:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ) en de capaciteit (voorwaarden (6.1) en (6.2)).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	46,1	76,9	37,2	35,3	51,1	40,9	76,8	82,6	68,0	40,1	54,7
Klinisch	70,8	93,2	59,6	56,0	95,2	54,5	86,7	100,0	89,1	80,0	77,7
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,5	0,3	0,6	0,6	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	0,4
Std	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	12,2	14,1	11,8	11,6	12,9	12,9	16,2	13,3	13,7	10,9	13,2
Std	12,5	13,5	13,3	12,3	13,5	13,2	14,9	14,3	14,1	11,4	13,5
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	30	1	8	22	17	115	30	21	25	15	28,4

**Tabel 6.8:** Aantal overschrijdingen van de capaciteit door de datasets van Tabel 6.7, per situatie.

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aantal overschrijdingen capaciteit:										
	30	1	8	22	17	115	30	21	25	15
Aantal overschrijdingen per situatie										
Overschrijdingen gedurende de dienst:										
	13	0	4	19	14	31	30	20	25	7
Overschrijdingen gedurende de pauze:										
	17	1	4	1	3	42	0	1	0	8
Overschrijdingen gedurende werktijd :										
	0	0	0	2	0	42	0	0	0	0

We zien dat de meeste overschrijdingen van de capaciteit gedurende de dienst en de pauze plaatsvinden. Dit komt doordat de capaciteit alleen gedurende werktijd is aangepast. Er komen nu bijvoorbeeld gedurende de dienst 50 % meer patiënten ten opzichte van het basisscenario, maar de capaciteit is constant gebleven. De overschrijdingen gedurende werktijd zijn van de twee datasets met de meeste patiënten. Hoe meer patiënten onderzocht moeten worden, hoe groter de kans dat de capaciteit overschreden wordt. Hierbij zijn ook de tijdstippen van aankomst van de verschillende patiënten van belang.

We bespreken nu Tabel 6.7, hierbij vergelijken we de resultaten in Tabel 6.7 met de resultaten in Tabellen 6.1 en 6.5.

- *Aantal patiënten in zes dagen:*  
Het gemiddelde aantal patiënten van de 10 datasets uit Tabel 6.7 is 394,3. De aantallen patiënten staan al in Tabel 6.5 en zijn daarom niet herhaald.
- *Aantal patiënten per type:*

De verhoudingen tussen de types zijn ongeveer gelijk aan de datasets van Tabel 6.1, per type is het percentage respectievelijk 59, 14, 12 en 15 %.

- *Percentage zelfde dag terecht:*  
De percentages van patiënten die dezelfde dag terecht konden, zijn gestegen ten opzichte van de percentage in Tabel 6.1. In Tabel 6.5 konden meer inlooppatiënten dezelfde dag terecht, maar daar werd de capaciteit zo vaak overschreden dat deze resultaten ons geen reëel beeld geven.
- *Toegangstijd in werkdagen:*  
De gemiddelde toegangstijd is gedaald ten opzichte van de resultaten in Tabel 6.1. Dit komt doordat naar verhouding meer patiënten dezelfde dag terecht konden.
- *Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):*  
De gemiddelde wachttijd van de patiënten is afgenomen. Het verschil in het gemiddelde is echter minder dan een minuut. We minimaliseren niet naar de wachttijd, we stellen alleen eisen voor de maximale wachttijd. Dat de wachttijd is gedaald, kan daarom het resultaat zijn van een andere manier van plannen.
- *Aantal overschrijdingen capaciteit:*  
We hebben nu meer overschrijdingen van de capaciteit dan in Tabel 6.1. Omdat de meeste van deze overschrijdingen buiten werktijd plaatsvinden, zie Tabel 6.8, heeft dit niet veel invloed op de resultaten. In het onderzoek richten we ons namelijk niet op de dienst.

De capaciteit is met minder dan 50 % toegenomen: gedurende werktijd is de capaciteit met 50 % toegenomen, gedurende de dienst en de lunchpauze is de capaciteit constant gebleven. Het aantal patiënten is met 50 % toegenomen ten opzichte van het basisscenario. Hierdoor zou men kunnen verwachten dat de toegangstijd en wachttijd ongeveer gelijk blijven of iets toenemen. De capaciteit is immers iets minder gestegen dan de patiëntenaantallen. De toegangstijd en de wachttijd zijn echter gedaald en de percentages van patiënten die dezelfde dag terecht konden, zijn gestegen. Dit is het belangrijkste resultaat van de vergelijking tussen Tabellen 6.1 en 6.7.

Een derde CT-scanner zorgt ervoor dat we meer speling hebben in de planning. Spoedpatiënten zorgen bijvoorbeeld voor minder blokkeringen in het systeem. Als nu drie spoedpatiënten vlak achter elkaar arriveren, dan is dat geen probleem. Ze kunnen immers alle drie op een CT-scanner geholpen worden.

### Planning van de afspraken

Soortgelijk aan Figuur 6.1, staat in Figuur 6.2 een overzicht van het gemiddelde aantal patiënten dat is ingepland op een zeker tijdstip. Dit gemiddelde is gebaseerd op de datasets die zijn besproken in Tabel 6.7.

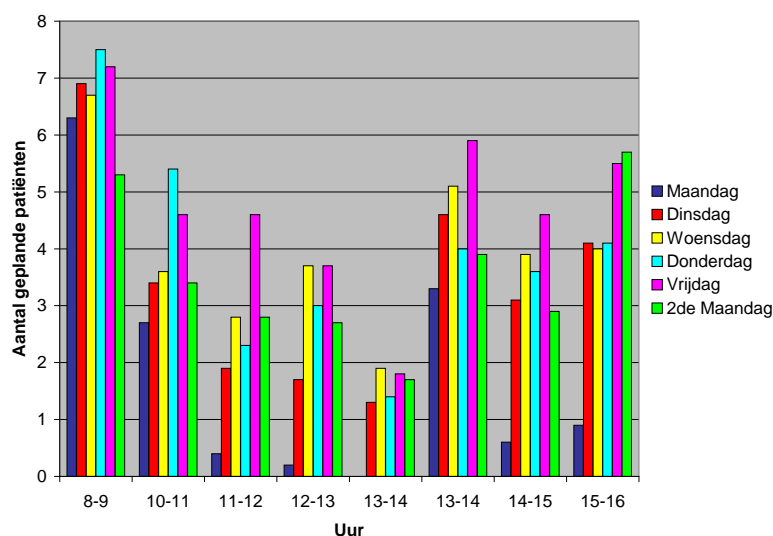
De pieken in Figuur 6.2 zijn hoger dan die in Figuur 6.1. Dit komt natuurlijk doordat er 50 % meer patiënten zijn ten opzichte van Figuur 6.1. De piek tussen 12:00 en 13:00 uur is veel minder toegenomen. Dit komt doordat gedurende de lunchpauze (12:30 - 13:00 uur), nog steeds slechts één CT-scanner beschikbaar is.

### Conclusie

Als de groefactor 1,65 is en de overige variabelen hetzelfde blijven, zijn twee CT-scanners niet voldoende. In dit geval is het nodig een derde CT-scanner aan te schaffen. Dit brengt echter hoge kosten met zich mee. Naast de kosten voor de CT-scanner zelf, is er ook extra personeel nodig om de CT-scanner te bedienen. Dit is geen wenselijk scenario, omdat de kosten erg hoog zijn.

#### 6.1.4 Derde CT-scanner voor spoed

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van wat er gebeurt als we een derde CT-scanner aanschaffen voor de spoedpatiënten, dit scenario staat beschreven in paragraaf 5.6.4.



*Figuur 6.2: Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur is ingepland, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.7.*

In paragraaf 6.1.3 is gebleken dat de aanschaf van een derde CT-scanner noodzakelijk is, wanneer de groeifactor 1,65 is en de overige factoren niet veranderen. Medisch Spectrum Twente is van plan om een derde CT-scanner aan te schaffen en het is waarschijnlijk dat deze op de SEH wordt geplaatst. In deze paragraaf modelleren we wat er gebeurt wanneer we de patiënten van type 1, 2 en 3 op twee CT-scanners behandelen, terwijl het aantal patiënten met 50 % is toegenomen ten opzichte van het basisscenario.

We kiezen er nu voor om niet tien nieuwe datasets te maken, maar de datasets van paragraaf 6.1.3 te gebruiken. Dit doen we om de scenario's beter te kunnen vergelijken. Deze datasets zijn gebruikt voor het maken van Tabellen 6.5, 6.6, 6.7 en 6.8. We halen alle spoedpatiënten uit de datasets en modelleren model II met de oorspronkelijke capaciteit van twee CT-scanners. Zie Tabel 6.9 voor een overzicht van de resultaten. Het aantal patiënten van typen 1, 2 en 3, is hetzelfde als in Tabel 6.5. Het aantal patiënten van type 4 is voor alle sets gelijk aan nul. Daarom zijn deze gegevens niet meegenomen in Tabel 6.9.

Het aantal overschrijdingen van de capaciteit is bij de meeste datasets in Tabel 6.9 erg hoog. Het is niet verstandig om de derde CT-scanner alleen voor spoedpatiënten te gebruiken. De capaciteit voor de niet-spoed patiënten blijft dan immers gelijk, maar de vraag voor deze patiënten is wel gestegen ten opzichte van het basisscenario. We krijgen nu in totaal 50 % meer CT aanvragen, maar minder dan een derde deel van de aanvragen komt van spoedpatiënten. Dus de vraag voor de twee CT-scanners op de afdeling radiologie neemt toe, terwijl de capaciteit niet verandert. Verder gaat een groot deel van de speling die verkregen wordt door de aanschaf van een derde CT-scanner (zie paragraaf 6.1.3) verloren, door deze te beperken tot de spoedpatiënten.

We verwachten dat meer patiënten op de SEH een CT-scan zullen krijgen, omdat de CT-scanner 'er toch staat'. Anders zou deze CT-scanner het grootste gedeelte van de tijd niet gebruikt worden. Een derde CT-scanner zou daarom ook gebruikt kunnen worden voor de klinische patiënten. Dit levert echter veel telefoonverkeer tussen de afdelingen en de SEH. Terwijl één van de argumenten voor CT op inloop juist was dat het telefoonverkeer minder zou worden.

**Tabel 6.9:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ) en het aantal spoedpatiënten ( $PS_{j,k} = 0, \forall j, k$ ).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Aantal patiënten in zes dagen:											
	346	321	345	357	326	364	334	307	298	347	334,5
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	62,2	39,7	55,1	63,9	51,5	61,1	53,6	50,2	37,0	66,1	54,5
Klinisch	64,6	79,5	66,0	66,0	73,8	65,5	73,3	70,8	71,7	70,9	70,0
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
Std	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	15,4	15	14,4	17,6	18,3	16,9	20,3	17,6	15,6	16,1	16,9
Std	14,6	13,7	14,9	15,4	14,7	15,2	15,5	14,3	12,6	14,7	14,7
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	282	104	302	415	180	478	211	29	9	392	240,2

## Conclusie

We raden het sterk af om een derde CT-scanner aan te schaffen alleen voor de SEH. Als de groeifactor 1,65 is en de overige variabelen hetzelfde blijven, zijn twee CT-scanners niet voldoende voor alleen de patiënten die geen spoed hebben. We verwachten dat er meer spoed CT-scans aangevraagd worden als de CT-scanner bij de SEH afdeling staat. Hierdoor kan deze derde CT-scanner ook niet altijd voor klinische patiënten gebruikt worden. Dit is geen wenselijk scenario, omdat de kosten voor een derde CT-scanner hoog zijn. In dit scenario is zelfs een vierde CT-scanner nodig, omdat de patiënten zonder spoed niet allemaal onderzocht kunnen worden op de twee CT-scanners die bij de afdeling radiologie staan.

Als de derde CT-scanner niet bij de SEH wordt geplaatst, moeten de spoedpatiënten alsnog naar de afdeling radiologie worden gebracht. Daarom adviseren we om in het nieuwe gebouw van MST de afdeling radiologie naast de SEH te zetten.

### 6.1.5 Kortere onderzoekstijd

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van wat er gebeurt als de onderzoekstijd aanzienlijk daalt. Dit scenario staat beschreven in paragraaf 5.6.5, in Tabel 5.9 staan de nieuwe (lagere) onderzoekstijden.

In paragraaf 6.1.3 is gebleken dat de aanschaf van een derde CT-scanner noodzakelijk is, wanneer de groeifactor 1,65 is en de overige factoren niet veranderen. Wanneer de onderzoekstijd daalt, is de aanschaf misschien overbodig. We hebben in paragraaf 5.4 besproken dat de onderzoekstijd momenteel flink onder de tijd ligt die in de protocollen beschreven staat. Dit zou één van de oorzaken kunnen zijn voor de hoge toegangstijd. De planning kan niet goed gedaan worden, als we teveel tijd inplannen voor de onderzoeken. Het zou mogelijk kunnen zijn om de onderzoekstijd nog meer te laten dalen. Er zijn vele manieren te bedenken waarmee de onderzoekstijd omlaag kan.

Een aantal manieren is te vinden in de literatuur, onder andere: Reinus et al. (2000), Elkhuzen et al. (2007), Centeno et al. (2000) en Kranenburg (2009). Hoofdstuk 3 bevat een bespreking van deze artikelen. Paragraaf 5.6.5 bespreekt ook een aantal mogelijkheden.

We zullen nu modelleren wat er gebeurt, wanneer de onderzoekstijden gelijk zijn aan de tijden in Tabel 5.9. We kiezen er voor om niet 10 nieuwe datasets te maken, maar de datasets van paragraaf 6.1.3 te gebruiken. Dit doen we om de scenario's beter te kunnen vergelijken. Deze datasets zijn gebruikt voor het maken van Tabellen 6.5 t/m 6.9. Zie Tabel 6.10 voor een overzicht van de resultaten. Het totale aantal patiënten en het aantal per type, is wederom hetzelfde als in Tabel 6.5. Daarom zijn deze gegevens niet meegenomen in Tabel 6.10.

**Tabel 6.10:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ) en de duur van een CT-scan ( $DS_m = 5, \forall m \leq 2$  en  $DS_m = 10, \forall m \geq 3$ ).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	90,0	89,5	90,2	90,9	90,3	91,9	92,0	89,9	91,5	88,1	90,4
Klinisch	97,9	97,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	100,0	99,4
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Std	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	8,0	16,6	11,2	15,8	15,3	13,2	16,4	15,9	14,0	8,0	13,4
Std	12,8	14,4	12,9	13,7	13,7	13,7	14,1	14,3	13,6	12,4	13,9
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1

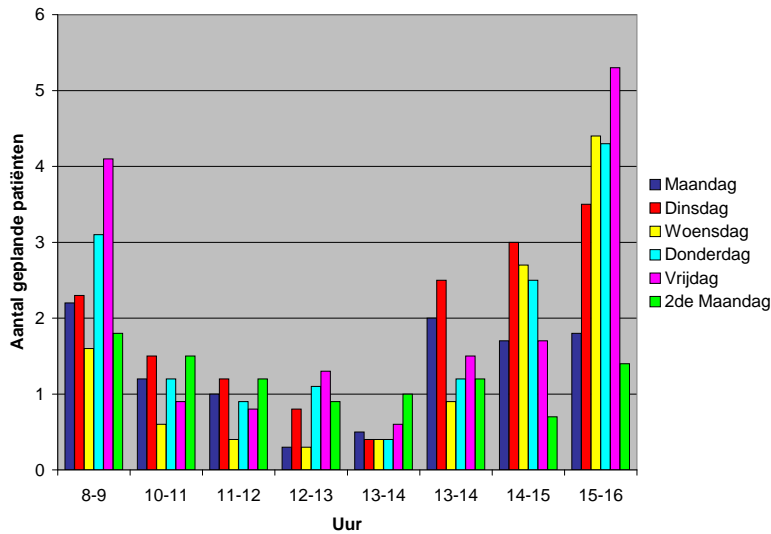
Tabel 6.10 bevat mooie resultaten. Een groot percentage van de patiënten kan dezelfde dag terecht. Toch kunnen sommige patiënten van type 1 en 3 niet op dezelfde dag terecht. Uit nader onderzoek blijkt dat dit komt doordat deze patiënten om 16:00 uur of later arriveerden. En patiënten mogen na dit tijdstip niet meer ingepland worden, zie Tabel 5.1. Dus alle patiënten kunnen, tenzij ze te laat arriveren, dezelfde dag terecht. Hiermee is de inloop zeer succesvol.

Doordat zoveel patiënten dezelfde dag terecht kunnen, is de gemiddelde toegangstijd laag. De wachttijd ziet er ook goed uit.

In dataset 6 was er wel één overschrijding van de capaciteit. Deze is echter veroorzaakt door drie spoedpatiënten die gedurende de dienst vlak na elkaar een CT-scan nodig hadden. Doordat de onderzoeksduur van deze patiënten is gedaald, is de kans kleiner geworden dat spoedpatiënten (gedurende de dienst) voor problemen zorgen. Daardoor zijn er nu minder overschrijdingen van de capaciteit.

### Planning van de afspraken

Soortgelijk aan Figuur 6.1 en Figuur 6.2, staat in Figuur 6.3 een overzicht van het gemiddelde aantal patiënten dat is ingepland op een zeker tijdstip. Dit gemiddelde is gebaseerd op de datasets die zijn besproken in Tabel 6.10.



**Figuur 6.3:** Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur is ingepland, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.10.

In Figuur 6.3 valt het op dat meer patiënten aan het einde van de dag ingepland worden. In Figuur 6.1 en Figuur 6.2 lagen de pieken in de ochtend en na de lunchpauze. Dit verschil zou verklaard kunnen worden doordat het eigenlijk niet uitmaakt waar de patiënten ingepland worden. Wanneer de capaciteit veel groter is dan nodig, zal AIMMS<sup>®</sup> de patiënten op een willekeurige plek neerzetten.

### Bezettingsgraad

We bekijken nu of de capaciteit veel groter is dan nodig, door de bezettingsgraad te bepalen. De datasets van Tabel 6.10 leveren ons net als de datasets van Tabel 6.1 een capaciteit van 5.940 minuten, zie paragraaf 6.1.1. De vraag is vijf minuten voor patiënten van type 1 en 2 en tien minuten voor patiënten van type 3 en 4. Patiënten van type 4 die na 16:30 uur binnenkomen, nemen we niet mee. In Tabel 6.11 staat een overzicht van de vraag en de bezettingsgraad per dataset.

**Tabel 6.11:** Vraag en bezettingsgraad van de datasets van Tabel 6.10 van 8:00 t/m 16:30 uur.

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Vraag in minuten:											
	2.540	2.155	2.510	2.565	2.330	2.725	2.325	2.235	2.300	2.480	2.416,5
Bezettingsgraad in procenten:											
	42,8	36,3	42,3	43,2	39,2	45,9	39,1	37,6	38,7	41,8	40,7



### Verlaging van de capaciteit

We zien nu dat de capaciteit niet verhoogd hoeft te worden, wanneer de duur van een CT-scan aanzienlijk daalt. Zelfs als het aantal patiënten met 50 % toeneemt ten opzichte van het basisscenario. Uit Tabel 6.11 blijkt dat de bezettingsgraad ruim onder de 50 % ligt. Onder de huidige voorwaarden zou het daarom mogelijk moeten zijn om de capaciteit te verlagen tot één CT-scanner. We vervangen voorwaarden (5.23) t/m (5.26) door de volgende voorwaarde:

$$CC_j = 1, \quad \forall j. \quad (6.3)$$

De resultaten van deze aanpassing staan beschreven in Tabel 6.12. Het totale aantal patiënten en het aantal per type, is wederom hetzelfde als in Tabel 6.5. Daarom zijn deze gegevens niet meegenomen in Tabel 6.12.

**Tabel 6.12:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ), de duur van een CT-scan ( $DS_m = 5$ ,  $\forall m \leq 2$  en  $DS_m = 10$ ,  $\forall m \geq 3$ ) en de capaciteit ( $CC_j = 1$ ,  $\forall j$ ).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	81,3	87,8	82,1	84,5	86,5	83,0	89,5	88,4	83,0	83,7	84,9
Klinisch	95,8	95,5	97,9	96,0	100,0	92,7	97,8	100,0	95,7	96,4	96,7
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Std	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	11,8	16,1	14,4	13,4	16,2	15,4	17,1	17,0	13,6	16,1	15,1
Std	13,9	14,3	14,6	13,8	14,1	14,3	14,9	15,1	14,4	15,5	14,7
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0,2

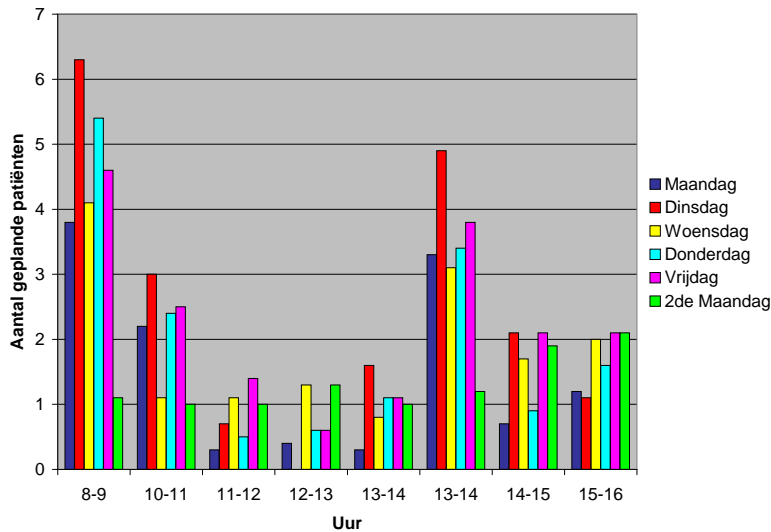
De percentages van patiënten die dezelfde dag terecht kunnen, zijn in Tabel 6.12 iets lager dan in Tabel 6.10. Maar de percentages zien er alsnog goed uit: de meeste patiënten kunnen dezelfde dag terecht. Doordat de percentages iets lager zijn, ligt de toegangstijd iets hoger. De gemiddelde wachttijd is ook iets toegenomen.

In Tabel 6.12 zijn er twee overschrijdingen van de capaciteit in dataset 6. Beide overschrijdingen zijn veroorzaakt door spoedpatiënten die vlak na elkaar een CT-scan nodig hadden. Eén maal gedurende de dienst en één maal in de ochtend.

### Planning van de afspraken

Soortgelijk aan Figuren 6.1, 6.2 en 6.3, staat in Figuur 6.4 een overzicht van het gemiddelde aantal patiënten dat is ingepland op een zeker tijdstip. Dit gemiddelde is gebaseerd op de datasets die zijn besproken in Tabel 6.12.

We zien dat Figuur 6.4, in tegenstelling tot Figuur 6.3, wel op Figuur 6.1 en Figuur 6.2 lijkt. De pieken zijn echter een stuk duidelijker. De meeste patiënten worden in de ochtend ingepland en ook na de pauze is er een piek omdat dan minder patiënten voor de inloop komen.



*Figuur 6.4: Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur is ingepland, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.12.*

## Conclusie

MST doet er verstandig aan om de onderzoekstijd van de CT te verlagen. In paragrafen 6.1.3 en 6.1.4 zijn situaties besproken waarin een derde en zelfs een vierde CT-scanner aangeschaft moest worden. In dit scenario blijkt dat inloop mogelijk is met één CT-scanner als de onderzoekstijd verlaagd wordt, ook als de aanvragen met 50 % toenemen ten opzichte van het basisscenario. Hiervoor moet de onderzoekstijd wel flink verlaagd worden. Om de onderzoekstijd te verlagen is extra personeel nodig. In paragraaf 5.6.5 is uitgelegd dat het aanschaffen van een extra CT-scanner ook op de lange termijn veel duurder is dan een extra personeelslid in dienst nemen. Daarnaast daalt de toegangstijd aanzienlijk en hebben we ook de andere voordelen die zijn beschreven in paragraaf 4.4. Het scenario dat we in deze paragraaf hebben besproken, is daardoor heel wenselijk.

## 6.2 Aanbevelingen aan Medisch Spectrum Twente

MST doet er verstandig aan de CT op inloop te organiseren. De gemiddelde toegangstijd is minder dan een dag, mits het goed wordt aangepakt. Daarnaast blijft de wachttijd ook binnen de gestelde grenzen. Er zijn twee manieren besproken in paragraaf 6.1 waarop de inloop een succes kan worden. Elk van deze manieren zullen we kort toelichten.

- Aanschaf derde CT-scanner.
- Kortere onderzoekstijd, één snelle CT-scanner.

### *Aanschaf derde CT-scanner*

Deze derde CT-scanner moet dan bij de afdeling radiologie geplaatst worden. Een derde CT-scanner is niet direct nodig, maar over een paar jaar zal het aantal aanvragen dusdanig zijn gegroeid, dat een derde CT-scanner noodzakelijk is. De aanschaf brengt de nodige kosten met zich mee. Maar ook wanneer de CT niet op inloop wordt georganiseerd, kunnen we de groei niet aan met slechts twee CT-scanners, als de overige factoren hetzelfde blijven. Een derde CT-scanner biedt meer speling in de planning, hiervoor is het wel noodzakelijk dat alle drie CT-scanners op een gelijke manier worden gebruikt.

*Kortere onderzoekstijd, één snelle CT-scanner*

Wanneer de onderzoekstijd verlaagd wordt, kan de CT op inloop worden georganiseerd, met maar één CT-scanner. Hiervoor dient de onderzoekstijd wel flink verlaagd te worden. Er zijn meerdere manieren waarop dit mogelijk is. Eén snelle CT-scanner is in aanschaf en onderhoud goedkoper dan drie ‘gewone’ CT-scanners. Eén CT-scanner brengt wel verhoogde risico’s met zich mee. Wanneer deze ene CT-scanner defect is, is dat meteen een groot probleem.

Het is ook mogelijk om beide manieren met elkaar te combineren. Dan verlagen we de onderzoekstijd, maar niet zo veel als in paragraaf 6.1.5. Dit zou haalbaar moeten zijn omdat de onderzoekstijd niet te veel verlaagd wordt, zie Tabel 6.13. De tijden die in deze tabel staan, zijn niet veel lager dan de werkelijke onderzoekstijden die momenteel nodig zijn voor de CT onderzoeken.

**Tabel 6.13:** De gemiddelde duur van een CT-scan, in minuten, afhankelijk van het type patiënt

Type patiënt	Duur CT-scan (minuten)
Inloop	10
Afspraak	10
Klinisch	20
Spoed	20

De onderzoekstijden in Tabel 6.13 zijn precies twee keer zo groot als de tijden die we in paragraaf 6.1.5 hebben gebruikt. De vraag en de daarbij behorende bezettingsgraad zijn daarom nu precies twee keer zo groot als in Tabel 6.11. We hebben nu dus een gemiddelde bezettingsgraad van 81,4 %.

Tabel 6.14 geeft de resultaten met de onderzoekstijden die in Tabel 6.13 te vinden zijn in combinatie met de originele capaciteit van twee CT-scanners gedurende werktijd. We gebruiken de datasets met een groeifactor van 1,65, die ook in paragraaf 6.1 zijn gebruikt. Dit doen we om de scenario’s beter te kunnen vergelijken.

**Tabel 6.14:** Tien voorbeeld simulaties van modellen I en II. Gebruikte data zie paragraaf 5.4, met uitzondering van de groeifactor ( $GR = 1,65$ ) en de duur van een CT-scan ( $DS_m = 10, \forall m \leq 2$  en  $DS_m = 20, \forall m \geq 3$ ).

Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gem
Percentage zelfde dag terecht:											
Inloop	78,4	88,2	77,8	80,2	85,7	77,3	87,8	87,4	83,0	83,3	82,8
Klinisch	91,7	95,5	97,9	96,0	100,0	90,9	97,8	100,0	95,7	96,4	96,0
Toegangstijd in werkdagen:											
Gem	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
Std	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Wachttijd in minuten (van patiënten die dezelfde dag terecht konden):											
Gem	10,5	18,8	14,0	11,2	15,3	13,7	15,8	15,8	13,0	13,4	13,7
Std	12,7	14,6	13,7	13,4	13,8	14,0	14,6	15,0	14,4	13,3	14,1
Aantal overschrijdingen capaciteit:											
	6	0	0	8	1	18	5	7	9	6	6,0

De resultaten van Tabel 6.14 zijn erg goed. Een groot gedeelte van de patiënten van type 1 en 3 kan op dezelfde dag terecht. Daarnaast zijn de gemiddelde toegangstijd en wachttijd laag. We hebben nu het voordeel dat we niet drie CT-scanners nodig hebben. Daarnaast hebben we het voordeel dat de veiligheid van de patiënten niet in gevaar komt, wanneer één CT-scanner uitvalt.

De verlaging in de duur van de CT onderzoeken, is haalbaar. Dit zou al bereikt kunnen worden door het infuus buiten de CT-ruimte te plaatsen, de kleedruimtes beter te benutten en snellere CT-scanners aan te schaffen. MST was al van plan de CT-scanners te vervangen, wanneer de afdeling verhuist naar de nieuwbouw. Dit zou een goed moment zijn om de CT op inloop te starten. Het kost namelijk veel tijd om dit voor te bereiden. In het geval van Van den Heuvel en te Loo (2010) was er een jaar voor nodig. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de coördinatie van de veranderingen met de andere afdelingen.

Als we krap rekenen, heeft iedere overschrijding van de capaciteit een invloed die niet gecompenseerd kan worden. Daarom bekijken we een specifiek overzicht van de overschrijdingen, zie Tabel 6.15.

**Tabel 6.15:** Aantal overschrijdingen van de capaciteit door de datasets van Tabel 6.14, per situatie.

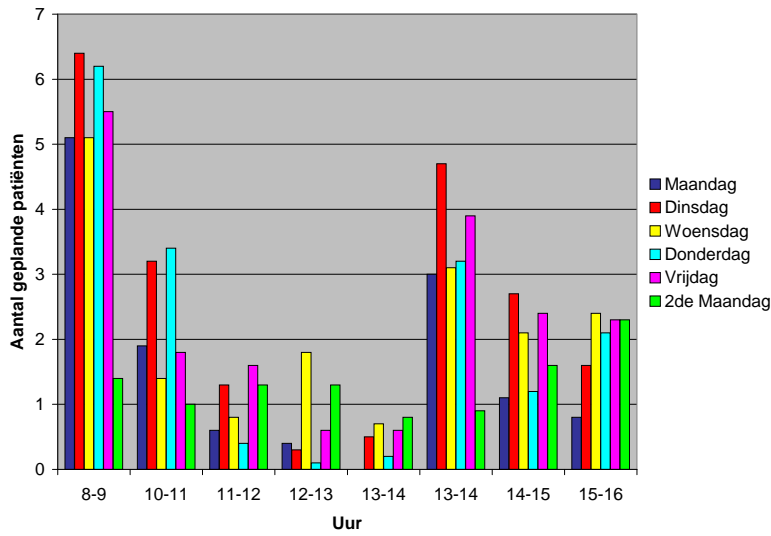
Dataset	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aantal overschrijdingen capaciteit:										
	6	0	0	8	1	18	5	7	9	6
Aantal overschrijdingen per situatie										
Overschrijdingen gedurende de dienst:										
	1	0	0	8	1	13	5	7	9	3
Overschrijdingen gedurende de pauze:										
	5	0	0	0	0	4	0	0	0	3
Overschrijdingen gedurende werktijd :										
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

De enige overschrijding gedurende werktijd, wordt veroorzaakt door drie spoedpatiënten die vlak na elkaar een CT-scan nodig hebben. Overschrijdingen buiten de werktijd, worden veroorzaakt door spoedpatiënten die vlak na elkaar binnenkomen en direct een CT-scan nodig hebben.

### Planning van de afspraken

Een gedeelte van de patiënten heeft een afspraak nodig. Zo kunnen alle patiënten van type 2 altijd pas de volgende werkdag terecht. Ook patiënten van type 1 en 3 die niet dezelfde dag terecht kunnen, omdat ze te laat zijn of omdat het te druk is, krijgen een afspraak voor de volgende werkdag. Figuur 6.5 geeft een overzicht van het gemiddelde aantal patiënten dat is ingepland in een zeker uur, soortgelijk aan Figuren 6.1 t/m 6.4. Dit gemiddelde is gebaseerd op de datasets die zijn besproken in Tabel 6.14.

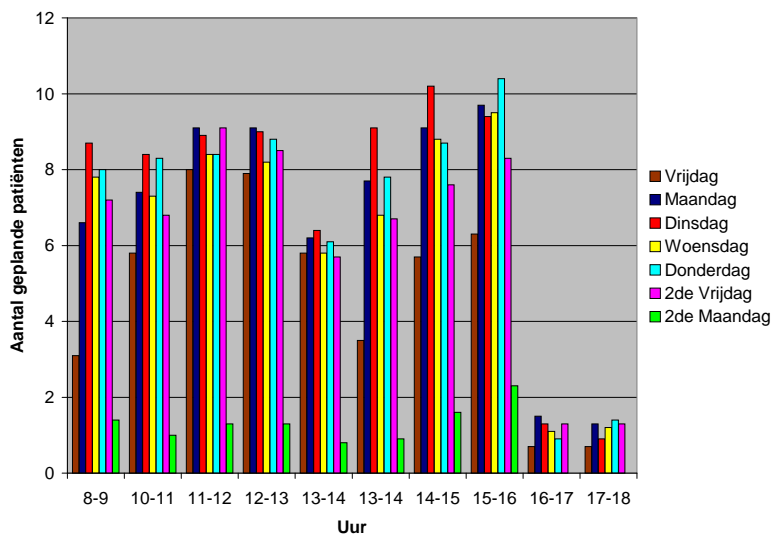
We zien in Figuur 6.5 wederom pieken in de ochtend en na de lunchpauze. Dan zijn er weinig patiënten voor de inloop en kunnen we de patiënten met een afspraak het beste inplannen. Gedurende de rest van de dag, kunnen ook een paar patiënten ingepland worden.



*Figuur 6.5: Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur is ingepland, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.14.*

**CT onderzoeken gedurende de dag**

We weten nu dat inloop, nu en in de toekomst, mogelijk is met twee CT-scanners, als we ervoor kunnen zorgen dat de tijd die nodig is voor een onderzoek daalt. Figuur 6.6 laat zien hoe een gemiddelde werkdag er uit zal komen te zien, gebaseerd op de resultaten van de datasets van Tabel 6.14.



*Figuur 6.6: Gemiddeld aantal patiënten dat in een zeker uur een CT-onderzoek krijgt, per werkdag. Op basis van de resultaten van Tabel 6.14.*

Figuren 6.1 t/m 6.5 begonnen bij de maandag. Dit kwam doordat we naar de afspraken keken en op de eerste vrijdag kunnen nog geen afspraken gepland zijn. Figuur 6.6 laat echter alle onderzoeken zien en dus ook de onderzoeken die niet gepland zijn. Daarom staat ook de eerste vrijdag erbij.

We zien in Figuur 6.6 dat in een uur gemiddeld vier à vijf patiënten per CT-scanner onderzocht worden. De aantallen in Figuur 6.6 zijn gemiddeld acht à tien patiënten per uur, maar dit is voor beide CT-scanners samen. In het middaguur daalt dit aantal, omdat de capaciteit van de CT-scanners dan lager ligt. Gedurende de dienst is slechts één CT-scanner beschikbaar en die onderzoekt gemiddeld één patiënt per uur.

### Conclusie

MST zal de huidige CT-scanners niet meenemen naar de nieuwbouw. Wij raden aan om twee geavanceerde CT-scanners aan te schaffen die het onderzoek snel verrichten en de beelden snel doorsturen. Daarnaast raden we aan om het intraveneuze infuus, voor de patiënten die dit nodig hebben, in een aparte voorbereidingsruimte te plaatsten. Hier is een extra personeelslid voor nodig. Het aanschaffen van drie CT-scanners is echter op de lange termijn veel duurder is dan een extra personeelslid in dienst nemen en slechts twee CT-scanners aanschaffen, zie paragraaf 5.6.5. De toegangstijd daalt aanzienlijk wanneer we CT op inloop toepassen en we hebben ook de andere voordelen die zijn beschreven in paragraaf 4.4. Het scenario dat we in deze paragraaf hebben besproken, is daardoor zeer wenselijk.

Het is ook mogelijk om slechts één CT-scanner aan te schaffen. Dan moet deze CT-scanner zeer snel zijn en moet de onderzoekstijd flink dalen. Dit kan echter hoge kosten met zich meebrengen. Het is aan MST om te bepalen of dit überhaupt wenselijk is. MST is een traumacentrum en slechts één CT-scanner aanschaffen, brengt de nodige risico's met zich mee. Bijvoorbeeld als deze ene CT-scanner uitvalt.

## 6.3 Vervolgonderzoek

We bespreken nu het vervolgonderzoek dat gedaan kan worden naar aanleiding van het onderzoek dat besproken is in dit verslag. Daarnaast beschrijven we ook een aantal aspecten waar rekening mee gehouden moet worden in het eventuele vervolgonderzoek.

- *Testfase inloop*  
Om er zeker van te zijn dat inloop werkt in MST, is het verstandig om de inloop te testen met een testfase.
- *Patiënten die te laat zijn*  
Bij de modelleringen zijn we er vanuit gegaan dat alle patiënten op tijd arriveren. In de werkelijkheid kan dit niet gegarandeerd worden. Om ervoor te zorgen dat patiënten niet te laat arriveren, zou men tegen de patiënten kunnen zeggen dat ze tot een inlooppatiënt worden gerekend als ze te laat zijn. Inlooppatiënten hebben een grotere maximale wachttijd en kunnen geweigerd worden wanneer het druk is.
- *Het spreekuurrooster veranderen*  
Met het huidige spreekuurrooster is inloop goed mogelijk. Wanneer er grote veranderingen plaatsvinden in het rooster kan dit leiden tot problemen met de inloop. Deze problemen zouden echter weer vermeden kunnen worden door de maximale toegangstijd van één naar twee (of meer) dagen te verhogen. Als de veranderingen te extreem zijn (bijvoorbeeld elk specialisme heeft een spreekuur op dinsdagmiddag 14:00 uur), dan kunnen we ervoor kiezen om de inloop op een bepaalde werkdag niet toe te staan.
- *De groeifactor GR per type patiënt variëren*  
De groeifactor kan aangepast worden om verschillende niveaus van groei van de aanvraag te modelleren. We kunnen de groeifactor ook per type patiënt bepalen. Het is namelijk mogelijk

dat de aanvraag voor het ene type kan stijgen, terwijl het andere type afneemt, gelijk blijft of met een andere factor stijgt.

- *Openingstijden verruimen*

Soortgelijk aan de huidige organisatie van de MRI, kan men er bij de CT voor kiezen om langer open te blijven. Men kan dan bijvoorbeeld gedurende de reguliere werktijd inlooppatiënten, klinische patiënten en spoedpatiënten onderzoeken. In de avond kunnen dan patiënten met een afspraak en spoedpatiënten die in de avond arriveren terecht. Voor dit verder onderzocht wordt, is het aan MST om te bepalen of het een wenselijk scenario is dat de openingstijden worden verruimd.





# Lijst met afkortingen

AIOS	Arts In Opleiding tot Specialist
AMC	Academisch Medisch Centrum (Amsterdam)
CT	Computertomografie (manier van onderzoek m.b.v. röntgenstraling)
fte	Fulltime-equivalent
Gem	Gemiddelde
IC	Intensive Care
ILP	Geheeltallig (Integer) Lineair Programmeren
KNO	Keel Neus Oor
LP	Lineair Programmeren
MAS	Master Appointment Schedule
MDL	Maag Darm Lever
MRI	Magnetic Resonance Imaging (manier van onderzoek m.b.v. kernspinresonantie)
MST	Medisch Spectrum Twente
OK	Operatie Kamer
PACS	Picture Archiving and Communication System
PhD	Doctor of Philosophy
SEH	Spoedeisende Hulp
SMED	Single Minute Exchange of Die
Std	Standaardafwijking
TW	Technische Wiskunde
UT	Universiteit Twente



# Lijst met symbolen

$A_{i,j,k,l}$	Aantal spreekuren van specialisme $S_i$ , dat eindigt na tijdslot $T_j$ , op dag $D_k$ , locatie $Z_l$ , 40
$CC_{j,k}$	Capaciteit van de CT op tijdslot $T_j$ op dag $D_k$ , 42
$C_m$	Maximale toegangstijd voor een patiënt van type $Y_m$ (in werkdagen), 42
$DA(I_q)$	Werkdag waarop de CT-scan van patiënt $I_q$ is aangevraagd, 41
$DS_m$	Duur van een CT-scan van een patiënt van type $Y_m$ , 42
$DT$	Duur tijdslot in minuten, 40
$D_k$	Werkdag $k$ , 40
$EC_{j,k}$	Overschrijdingen van de capaciteit $CC_{j,k}$ op tijdslot $T_j$ op dag $D_k$ , 46
$G(I_q)$	Binaire variabele die aangeeft of patiënt $I_q$ geholpen is op de dag van binnenkomst, 42
$GR$	Groefactor per jaar van het aantal patiënten, 40
$I$	Binnenkomende patiënten in de periode die we bekijken, 41
$L_i$	Looptijd van specialisme $S_i$ naar de afdeling radiologie (in tijdslots), 40
$M_{j,k,m}$	Aantal patiënten dat wordt gemeld bij radiologie op tijdslot $T_j$ , dag $D_k$ , type $Y_m$ , 40
$PA_i$	Kans dat een patiënt een CT-scan nodig heeft na een afspraak bij specialisme $S_i$ , 40
$PK_{j,k}$	Verwachte aantal klinische patiënten waarvoor wordt gebeld in tijdslot $T_j$ op dag $D_k$ , 40
$PS_{j,k}$	Verwachte aantal spoedpatiënten dat wordt aangemeld in tijdslot $T_j$ op dag $D_k$ , 40
$S_i$	Specialisme $i$ , 39
$TA(I_q)$	Tijdslot waarop de CT-scan van patiënt $I_q$ is aangevraagd, 41
$TM$	Doelfunctie van het onderzoek, 46
$TP(I_q)$	Type van patiënt $I_q$ , 41
$T_j$	Tijdslot $j$ , 39
$W_m$	Maximale wachttijd voor een patiënt van type $Y_m$ (in tijdslots), 42
$X_{j,k,q}$	Binaire variabele die tijdslot $T_j$ en dag $D_k$ aangeeft waarop patiënt $I_q$ is opgehaald, 43
$Y_1$	Type patiënt is inloop, 40
$Y_2$	Type patiënt is afspraak, 40
$Y_3$	Type patiënt is klinisch, 40
$Y_4$	Type patiënt is spoed, 40
$Y_m$	Type patiënt $m$ , 40
$Z_1$	Locatie Enschede, 40
$Z_2$	Locatie Haaksbergen, Losser en Oldenzaal, 40
$Z_l$	Locatie $l$ , 40
$\bar{C}$	Gemiddelde toegangstijd in werkdagen, 45
$\bar{W}$	Gemiddelde wachttijd in tijdslots, 45
$\sigma_C$	Standaardafwijking van de toegangstijd van de patiënten in werkdagen, 45
$\sigma_W$	Standaardafwijking van de wachttijd van de patiënten in tijdslots, 45
$n_D$	Aantal werkdagen dat we bekijken, 40
$n_E$	Aantal tijdslots gedurende de dienst, 40
$n_S$	Aantal groepen specialismen dat we bekijken, 39
$n_T$	Aantal tijdslots op een werkdag, 40
$n_Y$	Aantal verschillende typen patiënten, 40
$n_Z$	Aantal ziekenhuislocaties, 40
$n_q$	Aantal patiënten dat binnenkomt in de periode die we bekijken, 41
$n_{TE}$	Aantal tijdslots op een dag, 40

$n_{max}$ .....	Maximale tijdslot waarop spoedpatiënten mogen worden ingepland, 40
$n_{pb}$ .....	Eerste tijdslot lunchpauze, 40
$n_{pe}$ .....	Laatste tijdslot lunchpauze, 40

# Referenties

- M.A. Centeno, C. Albacete, D.O. Terzano, M. Carrillo, en T. Ogazon. A simulation study of the radiology department at JMH. *In Proceedings: Winter Simulation Conference*, 2, 2000.
- P. Ciaran O’Kane. A simulation model of diagnostic radiology department. *European Journal of Operational Research*, 6:38–45, 1979.
- S.G. Elkhuisen, J.R.C. van Sambeek, E.W. Hans, J.J. Krabbendam, en P.J.M Bakker. Applying the variety reduction principle to management of ancillary services. *Health Care Manage Rev*, 32(1):37–45, 2007.
- P.H.P. Fung Kon Jin, M.G.W. Dijkgraaf, C.L.Alons, C.van Kuijk, L.F.M.Beenen, G.M. Koole, en J.C. Goslings. Improving CT scan capabilities with a new trauma workflow concept: Simulation of hospital logistics using different CT scanner scenarios. *Eur J Radiol*, 2010.
- M. Greeley. What works: Scheduling - so long, logbooks - hospital-based radiology department automates scheduling, cuts its phone traffic in half and puts referral physicians online. *Health management technology*, 22(11):52–53, 2001.
- M. Kliffen. *Capaciteitsbeheersing na decentralisatie van radiologisch onderzoek in het Erasmus MC*. MSc thesis, Erasmus MC, Rotterdam, 2005.
- R. Kolisch en S. Sickinger. Providing radiology health care services to stochastic demand of different customer classes. *OR Spectru*, 30(2):375–395, 2008.
- J. Kranenburg. *The prospect of walk-in for the CT department of the AMC*. MSc thesis, Universiteit Twente, Enschede, 2009.
- B.C. Mozumdar, D.N. Hornsby, A.S. Gogate, L.A. Intriere, R. Hanson, K. McGreal, P. Kelly, en P. Ros. Radiology scheduling: Preferences of users of radiologic services and impact on referral base and extension. *Acad Radiol*, 10:908–913, 2003.
- W.R. Reinus, A. Enyan, P. Flanagan, B. Pim, D.S. Sallee, en J. Segrist. A proposed scheduling model to improve use of computed tomography facilities. *Journal of Medical Systems*, 24(2): 61–76, 2000.
- D.I. Rosenthal, J.B. Weilburg, T. Schultz, J.C. Miller, V. Nixon, K.J. Dreyer, en J.H. Thrall. Radiology order entry with decision support: Initial clinical experience. *Journal of the American College of Radiology*, 3(10):799–806, 2006.
- M.A. Scholtens. *Visiting the CT-scan; appointment system or walk in? Patient preferences and possible arrival pattern*. MSc thesis, Universiteit Twente, Enschede, 2009.
- G. Van den Heuvel en E. te Loo. Werken zonder wachtlijst - CT op inloop. *Gamma Professional*, 60(4):26–29, 2010.
- J.M. Van Oostrum. *Applying mathematical models to surgical patient planning*. PhD thesis, Erasmus Universiteit, Rotterdam, 2009.