

Bacheloropdracht 2012/2013  
“ Het bloed beter laten stromen ”



# Sanquin

## Bloedvoorziening

Leerstoel Stochastic Operation Research  
Universiteit Twente

Studenten: Edwin Booltink                   s9606912,  
              Rien Lagerwerf                   s1006665,  
              Yvonne Prins                    s1013785.

Begeleiders: Prof. dr. N.M van Dijk,  
               Dr. ir. M.E. Zonderland.

15 januari 2013

## Samenvatting

In dit verslag worden de wachttijden bij een donatiecentrum van Sanquin bestudeerd. Sanquin zorgt in Nederland voor de bloedvoorziening. Er zijn ruim 400.000 donoren in Nederland; deze donoren geven bloed op geheel vrijwillige basis. Donoren horen dan ook zo klantvriendelijk mogelijk geholpen te worden. Hierbij staat de veiligheid en gezondheid van de donoren voorop. Donoren worden, voordat de bloeddonatie start, eerst gekeurd. Bij deze keuring wordt een HB-meting, een meting waarbij eventuele bloedarmoede vastgesteld kan worden, en een bloeddrukmeting uitgevoerd. Verder wordt er in een gesprek gekeken of er bloed mag worden gegeven. Dit gesprek is op basis van een ingevuld vragenformulier waarbij o.a. vragen worden gesteld over reizen en ziektes van de afgelopen periode. Naast de veiligheid en gezondheid is ook een goede en snelle doorloop wenselijk, want dit betekent kortere wachttijden. In de huidige situatie komen lange wachttijden bij diverse centra nog vaak voor, ongeacht de grootte, de regio en het type centrum. Vanuit Sanquin is daarom het verzoek gekomen om de wachttijden bij een centrum van Sanquin te bestuderen, om zo te zien of deze wachttijden verkort kunnen worden. Om de wachttijden bij Sanquin te bestuderen zijn metingen gedaan bij de vestiging in Zwolle. Hierbij zijn vooral de wacht- en bedieningstijden bij de keuring en het afnameproces geobserveerd. De resultaten van deze metingen zijn in dit verslag terug te vinden. In de huidige situatie blijkt, met de gegevens van de metingen, dat de wachttijden inderdaad voorkomen en dat deze wachttijden vooral samenhangen met de keuring.

Er worden in dit verslag een aantal scenario's beschreven. Hierbij wordt geanalyseerd of deze scenario's een vermindering van de wachttijden opleveren. Er wordt als eerst gekeken naar het scenario waarbij de metingen losgekoppeld worden van de keuring. Dit kan op meerdere manieren. De metingen kunnen voor het gesprek plaatsvinden, hierdoor wordt de wachttijd gesplitst in twee kleinere wachttijden. Er is echter gebleken dat, door een beperkt aantal beschikbare medewerkers bij de keuring, dit geen concrete oplossing geeft voor het wachtrijprobleem.

Ook zou de HB-meting bij de balie kunnen plaatsvinden. Als gevolg zouden donoren minder lang bij Sanquin verblijven wanneer ze worden afgekeurd op de HB-waarde. Verder zou dit de wachttijd bij de keuring kunnen verkorten doordat de keuring minder lang gaat duren. Dit scenario levert alleen winst op als de aankomstintensiteiten hoog zijn. Dit resultaat goed te verklaren, bij het verplaatsen van de HB-meting wordt de bedieningstijd bij de balie vier keer zo groot, wat weer zorgt voor een grotere wachttijd bij de balie. Op drukke momenten weegt deze wachttijd bij de balie niet op tegen de wachttijd bij de keuring, op deze momenten zal dit scenario daarom winst opleveren. Op rustige momenten weegt de wachttijd bij de balie niet op tegen de wachttijd bij de keuring, hierdoor zal dit scenario op rustige momenten zorgen voor langere wachttijden. Voordat dit scenario daadwerkelijk toepasbaar is, zou eerst uitgezocht moeten worden of het vaak genoeg zo druk is dat dit scenario consequent winst oplevert. Ook zou gekeken moeten worden naar de haalbaarheid om de HB-meting bij de balie uit te voeren.

Vervolgens is gekeken naar het effect van het splitsen van de stroom plasma- en volbloed-donoren. Oftewel de splitsing van donoren op afspraak en vrije inloop. De plasmadonoren komen op afspraak en de volbloeddonoren komen binnen een tijdsbestek van twee weken binnengelopen. Hierbij zullen voor beide groepen donoren aparte keuringskamers gereserveerd

worden. Als gevolg zullen de wachttijden van de plasma- en volbloeddonoren onafhankelijk van elkaar zijn. Deze splitsing is op twee verschillende manieren geanalyseerd. Bij de eerste manier worden de medewerkers alleen bij de keuring verdeeld over het plasma systeem en het volbloed systeem. Er is hierbij vooral gekeken naar de wachttijden van de volbloeddonoren. De wachttijd van de plasmadonoren zal zo goed als verdwijnen aangezien deze op afspraak met een bepaald tijdsinterval achter elkaar aan worden gepland. Uit het model is zowel bij één als twee keuringsmedewerker(s) voor de volbloeddonoren gebleken dat de wachttijd van de volbloeddonor groter wordt dan in de originele situatie. Deze manier zal daarom niet voor een verbetering zorgen. Bij de tweede manier zijn verschillende verdelingen van medewerkers geanalyseerd. Hierbij zijn, uit het model, drie situaties gevonden die kortere wachttijden opleveren dan de huidige situatie met twee keuringsmedewerkers.

- één keuringsmedewerker en twee afnamemedewerkers voor plasmadonoren en twee keuringsmedewerkers en twee afnamemedewerkers voor volbloeddonoren.
- drie medewerkers die het volledige proces van plasmadonoren begeleiden en twee keuringsmedewerkers en twee afnamemedewerkers voor de volbloeddonoren.
- drie medewerkers die het volledige proces van plasmadonoren begeleiden en vier medewerkers die het volledige proces van volbloeddonoren begeleiden.

Er blijkt echter dat de wachttijden voor de plasmadonoren in de eerste situatie groot zijn. Hierdoor zal deze situatie niet tot een verbetering zorgen. De overige twee situaties zorgen voor kortere wachttijden dan bij de originele situatie met drie keuringskamers, en zullen daardoor wel voor een verbetering zorgen.

Het aanpassen van de openingstijden is het volgende scenario. Door het sluiten van het donatiecentrum op een rustige dag zal op de overige dagen meer personeel ingezet kunnen worden en zal ook de aankomstintensiteit hoger worden. Geanalyseerd is of het extra personeel op de overige dagen de hogere aankomstintensiteit aankan. Gebleken is dat dit scenario zorgt voor kortere wachttijden. In een vervolgonderzoek moet echter nog wel worden gekeken naar de haalbaarheid van dit scenario. Er moet namelijk duidelijk zijn wat de rustige dag/het rustige dagdeel in de week is. Ook zal er naar de indeling van het donatiecentrum gekeken worden. Met verhoogde aankomstintensiteiten en meerdere medewerkers moet er wel genoeg ruimte zijn om alle processen uit te kunnen voeren. Zo zal er soms een vierde keuringskamer geopend moeten worden. Hier moet wel een ruimte beschikbaar voor zijn.

Ook is het effect van een speciaal flauwvallersbed bekeken. Zodra de afnamebedden de beperkende factor bij het afnameproces zijn, zal dit flauwvallersbed zorgen voor kleinere wachttijden wanneer alle bedden bezet zijn en er mensen in de wachtrij staan. Op het moment dat de afnamebedden nog niet volledig bezet zijn, zal dit speciale bed geen invloed hebben op de wachttijden. Dit is goed te verklaren, op het moment dat er nog andere bedden vrij zijn voor afname, heeft het geen nut om de flauwvaller op een speciaal bed te leggen. Niemand heeft last van het extra bezette bed, de afname van de donoren kan ondanks dat extra bezette bed gewoon doorgaan. De situatie verandert echter als de medewerkers de beperkende factor bij het afnameproces zijn. Het flauwvallersbed heeft alleen effect als alle bedden bezet zijn. Voor het aantal beschikbare medewerkers bij de afname maakt het niet uit op welk bed een flauwgevallen donor ligt. Er zal geen verschil zijn in de wachttijden aangezien de bedden

hier geen beperkende factor zijn. Hierdoor zal het aparte flauwvalbed in deze situatie niks veranderen aan de wachttijden. Deze situatie zal daarom niet worden gebruikt.

Het laatst besproken scenario is het plannen van afspraken op alleen de rustige momenten. Op deze manier zullen de aankomsten gelijkmatiger verdeeld worden. De pieken in de aankomstintensiteiten zullen namelijk kleiner worden. Voor beide groepen donoren levert dit een kleinere wachttijd op. De afspraken van de plasmadonoren worden minder opgehouden door de keuringen van de volbloeddonoren. Ook voor volbloeddonoren zorgt dit scenario voor een verbetering. De wachttijden ontstaan vooral op de drukke momenten, deze komen nu minder voor omdat de pieken in de aankomstintensiteiten worden weggehaald. Voordat dit scenario in de praktijk toegepast kan worden, moet er eerst gekeken worden naar de aankomstintensiteiten op een dag/ in een week. Als er geen patroon te vinden is in deze aankomstintensiteiten zal dit scenario in de praktijk niet werken. Het is dan namelijk onduidelijk op welke momenten de plasmadonoren langs moeten komen.

In het verslag zijn bovenstaande scenario's uitgebreid beschreven en is in detail beschreven hoe er tot de conclusies is gekomen.

# Inhoudsopgave

1	Inleiding . . . . .	6
2	Literatuuronderzoek . . . . .	7
3	Probleembeschrijving . . . . .	9
	3.1 Sanquin . . . . .	9
	3.2 Kentallen en werkwijze Sanquin Zwolle . . . . .	9
4	Data analyse . . . . .	12
	4.1 Motivatie voor de metingen . . . . .	12
	4.2 Meetmethode . . . . .	12
	4.3 Analyse van de meetgegevens en een analytisch model . . . . .	13
	4.4 Verdere analyse: gemiddelde bezettingsgraden . . . . .	19
	4.5 Eindconclusies data analyse: . . . . .	22
5	Model . . . . .	24
	5.1 Variabelen . . . . .	24
	5.2 Modelbeschrijving & aannames . . . . .	24
	5.3 Model analyse . . . . .	27
	5.4 Rekenmodel . . . . .	35
6	Validatie model . . . . .	38
	6.1 Model vergelijken met de QNA . . . . .	38
	6.2 Model vergelijken met de werkelijkheid . . . . .	39
	6.3 Afname proces . . . . .	39
7	Analyse van mogelijke verbeteringen . . . . .	41
	7.1 Huidige situatie . . . . .	41
	7.2 Metingen voordat het gesprek begint . . . . .	41
	7.3 Meting bij/voor de balie . . . . .	42
	7.4 Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop . . . . .	44
	7.5 Openingstijden verminderen . . . . .	46
	7.6 Speciaal bed voor de flauwvallers . . . . .	47
	7.7 Afspraken plannen op rustige momenten . . . . .	47
8	Resultaten . . . . .	49
	8.1 Huidige situatie . . . . .	49
	8.2 Metingen voordat het gesprek begint . . . . .	50
	8.3 Meting bij/voor de balie . . . . .	51
	8.4 Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop . . . . .	53
	8.5 Openingstijden verminderen . . . . .	55
	8.6 Speciaal bed voor de flauwvallers . . . . .	57
	8.7 Afspraken plannen op rustige momenten . . . . .	58
9	Conclusie en discussie . . . . .	59

9.1	Huidige situatie . . . . .	59
9.2	Metingen voordat het gesprek begint . . . . .	59
9.3	Meting bij/voor de balie . . . . .	60
9.4	Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop . . . . .	60
9.5	Openingstijden verminderen . . . . .	61
9.6	Speciaal bed voor de flauwvallers . . . . .	62
9.7	Afspraken plannen op rustige momenten . . . . .	62
10	Aanbevelingen . . . . .	63
10.1	Afnameproces modelleren . . . . .	63
10.2	Aankomstproces . . . . .	63
10.3	Werkwijze medewerkers . . . . .	63
11	Referenties . . . . .	64
12	Appendix . . . . .	65

# 1 Inleiding

Er zijn dagelijks honderden mensen in Nederland die bloed nodig hebben. Veel van deze mensen worden gered door bloed van donoren. Het is daarom van groot belang dat er voldoende mensen zijn die bloed willen donoren. In Nederland zorgt Sanquin voor de bloedvoorziening. Hiernaast houdt Sanquin zich bezig met de ontwikkeling van transfusiegeneskunde, het leveren van producten en diensten, het verrichten van wetenschappelijk onderzoek en het verzorgen van onderwijs, opleidingen en bij- en nascholing. Zonder donoren zou Sanquin haar werk echter niet uit kunnen voeren. Gelukkig zijn er ruim 400.000 donoren in Nederland; deze donoren geven bloed op geheel vrijwillige basis. Donoren horen dan ook zo klantvriendelijk mogelijk geholpen te worden. Hierbij staat de veiligheid en gezondheid van de donoren voorop. Donoren worden, voordat de bloeddonatie start, eerst gekeurd. Bij deze keuring wordt een HB-meting en een bloeddrukmeting uitgevoerd. Bij de HB-meting kan eventuele bloedarmoede worden vastgesteld. Verder wordt er in een gesprek ook gekeken of er bloed gegeven mag worden. Dit gesprek is op basis van een ingevuld vragenformulier, waarbij o.a. vragen worden gesteld over reizen en ziektes van de afgelopen periode. Naast de veiligheid en gezondheid is ook een goede en snelle doorloop wenselijk, want dit betekent kortere wachttijden. In de huidige situatie komen de wachttijden bij diverse centra nog vaak voor, ongeacht de grootte, de regio en het type centrum.

Om een goed idee te krijgen van de werkwijze in een bloeddonatiecentra zijn er een tweetal bezoeken geweest aan de Sanquin vestiging in Zwolle. Hierbij is het gehele proces, van binnenkomst tot het naar buiten lopen, bekeken. Donoren moeten langs een viertal stations. Direct bij binnenkomst komen ze aan bij de balie. Bij deze balie krijgen ze een vragenformulier en een bepaalde kleur map. Aan deze map is te zien wat voor soort donor die persoon is, een plasmadonor of een volbloeddonor. Vervolgens lopen de donoren door naar een ruimte waar ze het vragenformulier in kunnen vullen. Dit zijn vragen die betrekking hebben op het wel of niet kunnen geven van bloed. Na het invullen van dit formulier kunnen de donoren door naar de keuring en het gesprek. Dit vindt plaats in een keuringskamer en wordt uitgevoerd door een keuringsarts of een medewerker. Hier wordt de HB en de bloeddruk gemeten en verder wordt ook het ingevulde vragenformulier besproken. Als dit positief is verlopen, kunnen de donoren door naar de daadwerkelijke afname. Deze afname is gesplitst in een afname van plasma en een afname van volbloed. Nadat de bloedafname verricht is, kunnen de donoren even bijkomen in een apart gedeelte van het donatiecentrum, waar men iets kan eten en drinken.

In dit verslag zal gekeken worden naar wacht- en procestijden in donatiecentra. De onderzoeksvraag richt zich op het verkorten van deze tijden. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar de keuring. Na een literatuuronderzoek naar wachttijden in donatiecentra zal het donatieproces van Sanquin in Zwolle uitgebreid beschreven worden. Daarna worden de data van uitgevoerde metingen geanalyseerd. Vervolgens wordt het donatieproces uitgedrukt in een wiskundig model. Dit model is de basis waarop verschillende mogelijke oplossingen worden uitgewerkt om wachttijden te verkorten. Deze oplossingen worden vervolgens geanalyseerd. Tot slot zullen de verschillende mogelijke oplossingen met elkaar worden vergeleken.

## 2 Literatuuronderzoek

De voornaamste interesse bij dit onderzoek is om het bloedafnameproces bij de bloedbank te kunnen modelleren. Hiermee kan gekeken worden of de wachttijden verkort kunnen worden door het veranderen van de opbouw van het proces.

In het verleden zijn een paar onderzoeken geweest bij bloedbanken in zowel binnen- als buitenland. In [1] wordt bij de Nederlandse bloedbank Sanquin gekeken naar de voorraadbeheersing van bloedplaatjes. Na afname zijn deze bloedplaatjes enkele dagen houdbaar. De vraag naar bloedplaatjes is zeer variabel en tekorten zijn niet toegestaan. Bij een te hoge productie zal een deel echter weggegooid moeten worden. In dit onderzoek is er gekeken naar een manier om zowel het tekort als de verspilling te minimaliseren. In [1] zijn verschillende referenties naar andere soortgelijke onderzoeken te vinden. De probleemstelling bij deze onderzoeken zijn echter afwijkend van het bestudeerde probleem in dit verslag. Hierdoor worden deze onderzoeken in dit verslag niet verder besproken. Ook onderzoek naar wachttijden bij bloedbanken is al eerder bestudeerd in een Canadees onderzoek [2]. In dit artikel is gekeken naar de personeelschema's. Hierbij is gekeken naar de personeelschema's. Bij welke verdeling van het personeel zijn de wachttijden het kortst, is de belangrijkste vraag in dat onderzoek. Hier is een roostermodel uit voortgekomen dat het personeel in staat stelt schemas op te stellen, zodat wachttijden beter gecontroleerd kunnen worden. De situatie bij dit onderzoek heeft veel gemeen met de huidige situatie in Nederland. Er is verschil in de wijze waarop de vrijwilligers aankomen. Bij het onderzoek in Canada komen de vrijwilligers aan op geplande tijden, terwijl in Nederland de donoren de hele dag door langs kunnen komen. In 2010 is er al eerder onderzoek gedaan naar wacht- en doorlooptijden bij Sanquin. De resultaten van de metingen uit 2010 uitgevoerd in donatiecentra in Noordoost Nederland zijn beschreven in [3].

Naast informatie over vorige onderzoeken is ook informatie over de methoden waarmee in dit verslag gewerkt gaat worden belangrijk. In [4] wordt een inleiding gegeven tot de vele wiskundige modellen en oplosmethoden van de operationele analyse. In hoofdstuk 9.4 van dit boek wordt een aantal eenvoudige wachttijdmodellen besproken. Hierbij wordt veel informatie gegeven over het bepalen en benaderen van gemiddelde wachttijden en wachtrijslengtes. De formules worden gegeven voor verschillende systemen. Deze vertonen parallellen met het probleem wat in dit verslag bestudeerd wordt. In paragraaf 4.4.1 van [5] wordt een formule gegeven voor de minimale wachttijd in een M/M/s model. Deze formule zal in het verslag gebruikt worden om een analytisch model te vergelijken met enkele meetgegevens. In [6] wordt gekeken naar een netwerk van meerdere wachtrijen. Hier wordt ook bewezen dat de servers in een willekeurig netwerk met Erlang processen onderling onafhankelijk te analyseren zijn. Zulke netwerken worden sindsdien ook wel Jackson netwerken genoemd. Ook het bloeddonatieproces bij Sanquin bestaat uit meerdere servers en daardoor meerdere wachtrijen. Door het resultaat [6] zullen ook hier de wachtrijen apart geanalyseerd kunnen worden. In 1983 is de Queueing Network Analyzer ontworpen, [7]. Met deze QNA kunnen open netwerken van willekeurige wachtrijen (G/G/s) met de FCFS eigenschap geanalyseerd worden. De FCFS eigenschap houdt in dat degene die het eerst binnenkomt ook het eerst geholpen wordt. Ook in deze opdracht zal hiervan gebruik worden gemaakt. De QNA is op het internet beschikbaar als Excel tool [8]. Hiermee kan op een 'simpele' wijze een netwerk van G/G/s modellen geanalyseerd worden. In [9] een basis algoritme voor de QNA afgeleid, dit algoritme wordt



later in het verslag weergegeven om inzicht te krijgen in deze oplosmethode. In [10] wordt een theoretische en praktische benadering gebruikt om een systeem te analyseren wanneer de productvorm kan worden vastgesteld. Hierbij wordt het systeem geanalyseerd bij bijvoorbeeld verschillende bezettingsgraden of parameterwaarden. Ook wordt voor de  $M/M/1$  wachtrijen bewezen dat de wachtrijen binnen het netwerk apart analyseerbaar zijn. In dit onderzoek kan dit bewijs uitgebreid worden naar  $M/M/s$  wachtrijen, Dit is weer relevant voor dit onderzoek.

### 3 Probleembeschrijving

In bloeddonaatiecentra doneren mensen op vrijwillige basis hun bloed. Om een tekort aan bloeddonoren te voorkomen is het onder andere belangrijk deze mensen klantvriendelijk tegemoet te treden. Het verkorten van de wacht- en procestijden is dan ook zeer wenselijk. Het bloeddonaatiecentrum in Zwolle is twee keer bezocht om meer inzicht te krijgen in het proces van bloeddonatie. De aandacht ging daarbij vooral uit naar het keuringsproces en naar de capaciteit van de afname. Het eerste bezoek heeft informatie over kentallen en de werkwijze van het donatiecentrum opgeleverd. Tijdens het tweede bezoek zijn metingen uitgevoerd. In december is ook nog een bezoek gebracht aan het donatiecentrum in Enschede. Daar zijn de aan- en afkoppeltijden bij de bloedafname gemeten.

#### 3.1 Sanquin

Sanquin Bloedvoorziening is een non-profit organisatie die in 1998 is ontstaan uit een fusie van de Nederlandse Bloedbanken en het Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst van het Nederlandse Rode Kruis (CLB). Sanquin verzorgt de bloedvoorziening in Nederland. Ook speelt Sanquin een belangrijke rol in de transfusiegeneeskunde. Op grond van de Wet inzake bloedvoorziening is Sanquin als enige organisatie in Nederland aangewezen om zorg te dragen voor de behoefte aan bloedproducten. Bij Sanquin staat de gezondheid van de patiënten en donoren centraal. Daarom staat veiligheid voorop. Geavanceerde productiemethoden, strakke procedures, strenge kwaliteitseisen en controles, maar ook het opleiden van personeel dragen bij aan een veilige bloedtransfusieketen van donor tot patiënt.

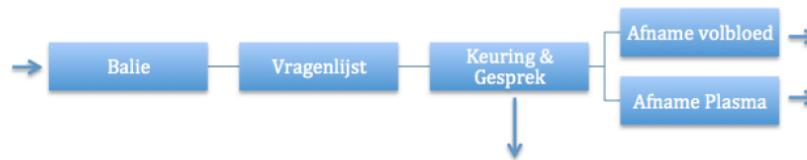
#### 3.2 Kentallen en werkwijze Sanquin Zwolle

In het donatiecentrum zijn drie keuringskamers aanwezig. De capaciteit van de afname bestaat uit tien bedden voor plasmadonoren, waarvan één beschikbaar wordt gehouden voor eventuele flauwvallers en uit 5 bedden voor volbloeddonoren. Verder wordt er gewerkt in sessies van vier uur. Deze sessies zijn bij Sanquin te Zwolle over het algemeen de ochtend-, middag- en avondsessie. Per sessie zijn er acht medewerkers aanwezig:

- één medewerker ontvangt binnenkomende donoren en controleert hun identiteit
- twee medewerkers + één keuringsarts keuren de donoren
- twee medewerkers verzorgen de volbloedafname en twee medewerkers verzorgen de plasma-afname

Per sessie heeft één van deze medewerkers de leiding. Deze bepaalt o.a. de tijden waarop er pauze wordt gehouden. Om de twee uur verwisselen de medewerkers van activiteit. Donoren kunnen op verschillende manieren aankomen bij Sanquin. Plasmadonoren maken een afspraak om op een bepaald tijdstip langs te komen. Volbloeddonoren krijgen bericht per post, waarin staat dat ze in de komende twee weken langs kunnen komen. In het centrum worden beide soorten donaties verzorgd. De donoren melden zich na binnenkomst bij de balie. Hier wordt de identiteit van de donor gecontroleerd en ontvangen ze een vragenlijst met een donormap. Aan de kleur van de donormap is een plasmadonor te onderscheiden van een volbloeddonor. Vervolgens vullen de donoren het vragenformulier in, wat ongeveer vijf minuten in beslag

neemt. Na het invullen wordt het formulier besproken en zal er een tweetal metingen worden uitgevoerd. Altijd geldt dat de privacy van de donoren voorop staat. Zo worden keuringsgesprekken in aparte kamers gevoerd. Bij deze keuringen wordt een deel van de donoren afgekeurd. Het percentage uitstellen/afkeuringen bij plasmadonoren is ongeveer 4%. Het percentage uitstellingen/afkeuringen bij volbloeddonoren is ongeveer 10%. Het uitstellen is het gevolg van een tijdelijk laag HB-gehalte. Na ongeveer een kwartier wordt opnieuw gemeten. Bij een voldoende hoge waarde wordt de donor alsnog geaccepteerd. Het percentage afkeuringen bij volbloeddonoren ligt hoger dan bij plasmadonoren, omdat volbloeddonoren minder vaak bloed doneren dan plasmadonoren. Wanneer het keuringsgesprek en de metingen goed zijn verlopen, gaat de donor naar de afname. De afnameruimte is verdeeld in twee delen, opgesplitst in plasmadonaties en volbloeddonaties. Plasmadonaties duren gemiddeld zo'n 45 minuten en volbloeddonaties duren gemiddeld ongeveer tien minuten. De capaciteit van de afname is afgestemd op het aantal medewerkers en niet op het aantal bedden, dit omdat de medewerkers de beperkende factor blijken te zijn. Medewerkers springen bij van plasmabedden naar volbloedbedden en omgekeerd. In figuur 3.1 hieronder is een schema te zien van het proces.



Figuur 3.1: Model Schema

Per dag valt er gemiddeld één donorbed gedurende één uur uit doordat er een donor onwel wordt. Verder komt technische uitval van apparatuur ruwweg één keer per week voor. Vanwege de spoedig uitgevoerde reparaties is deze uitval van korte duur. Er wordt daardoor verondersteld dat er een regelmatige capaciteit van apparatuur aanwezig is. In de praktijk blijkt dat uitloop van de dagplanning vooral ontstaat door fluctuaties in keuringstijd en niet doordat de capaciteit van de bedden tekortschiet. Momenteel wordt veel aandacht geschonken aan het leren omgaan met pieken. Het gedeeltelijk heralloceren van medewerkers van de afname naar de keuring gebeurt al deels. Niet geheel duidelijk is wanneer en hoeveel. De globale taakstelling voor het centrum is 50 donoren per sessie van vier uur, voor 48% (24) plasmadonoren en voor 52% (26) volbloeddonoren. Het volume plasma bedraagt op jaarbasis 60.000-65.000 eenheden en het volume volbloed 125.000 eenheden. Een totaal aantal van 10 tot 15 donoren, bij wie tegelijkertijd bloed wordt afgenomen, wordt ervaren als druk.

### 3.2.1 Opkomst donoren

Plasmadonoren mogen 23 keer per jaar doneren. Vrouwelijke volbloeddonoren mogen drie keer per jaar doneren en mannelijke volbloeddonoren vijf keer per jaar. Nieuwe donoren krijgen per post bericht dat ze in de komende twee weken langs kunnen komen. De keuring van deze nieuwe donoren kan enkel door de arts worden uitgevoerd, dit omdat nieuwe donoren nog

onbekend zijn met het bloed geven en waarschijnlijk meer vragen hebben. Deze vragen wil men door een ervaren persoon laten beantwoorden, die niet alleen de gegevens kan verwerken maar ook veel verstand heeft van de verschillende aspecten van het doneren. De keuring van nieuwe donoren duurt ongeveer 20 minuten. Per week worden 150 volbloeddonoren opgeroepen om ergens in de daaropvolgende twee weken bloed te doneren. Hiervan is de opkomst 50%. De oproep en frequentie van het donorbezoek zijn op elkaar afgestemd. Zo wordt er onderscheid gemaakt tussen trouwe en bekende donoren. Trouwe donoren komen regelmatig, d.w.z meerdere keren per jaar. Bekende donoren zijn donoren die wel bloed hebben gegeven maar inmiddels al meer dan twee jaar geen bloed gedoneerd hebben. Trouwe donoren worden vaker opgeroepen.

### **3.2.2 Wachtijdperceptie**

Wachtijdperceptie is in de huidige werkwijze al van belang. Zo werkt men met het fairness principe, waarbij donoren geholpen worden op volgorde van aankomst. Plasmadonoren komen op een afgesproken tijdstip aan bij het donatiecentrum, terwijl volbloeddonoren op een willekeurig moment binnen een periode van twee weken kunnen aankomen. Dit leidt soms tot situaties waarin later gearriveerde plasmadonoren eerder de wachtkamer van de keuring kunnen verlaten dan volbloeddonoren. Omdat dit in de perceptie van de al wachtende volbloeddonoren niet eerlijk overkomt, wordt regelmatig een volbloeddonor eerst gekeurd, ook al wordt de geplande tijd voor de plasmadonor niet gehaald. Er wordt ook rekening gehouden met de wachtijdperceptie door een goede informatievoorziening aan donoren te bieden. Zo wordt er bij uitloop en drukte al informatie gegeven over de verwachte tijdsduur tot bloedafname. Een toevallig wachtende donor voor de keuring bevestigde tijdens één van de observaties het belang van wachtijdperceptie.

## 4 Data analyse

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de meetmethode en de resultaten.

### 4.1 Motivatie voor de metingen

In 2010 zijn in de bloeddonaatiecentra van Sanquin in noord-oost Nederland metingen uitgevoerd die gemiddelde wacht- en procestijden hebben opgeleverd. Deze metingen hebben ook in het donatiecentrum te Zwolle plaatsgevonden. O.a. de procestijd van de gehele keuring werd daarbij gemeten. De procestijden van de onderdelen van deze keuring, namelijk die van de metingen en het gesprek, zijn niet afzonderlijk bepaald. Voor het verkorten van wacht- en procestijden gaat de aandacht in deze opdracht vooral uit naar het keuringsproces en naar de capaciteit van het afnameproces. Dit vereist een beter inzicht in de procestijden van de verschillende onderdelen van het keuringproces. Daarom is op woensdag 31 oktober 2012 tussen 12:30 uur en 16:00 uur een meting in het donatiecentrum uitgevoerd. Voor deze dag en tijdstip is gekozen, omdat in de praktijk is gebleken dat de woensdag meestal het drukst bezocht is en dat het piekmoment op die dag vaak om 12.30 uur ligt. Dit is het tijdstip waarop het donatiecentrum open gaat.

Op 12 december 2012 is een extra meting uitgevoerd in het bloeddonaatiecentrum van Sanquin in Enschede. Deze meting is gedaan om de aan- en afsluittijden van donoren bij de afname in beeld te krijgen. Hiermee is de capaciteit van de afname beter te berekenen.

### 4.2 Meetmethode

De meting bestond uit vier delen. Het eerste deel richtte zich op de wacht -en procestijden van de keuringskamer. Het tweede deel en derde deel bestonden uit een vragenformulier die ingevuld werden door respectievelijk de medewerkers en de donoren. Deze waren opgesteld om inzicht te krijgen in de tijdsduur van zowel het gesprek als van de metingen tijdens de keuring. Het vierde deel richtte zich op de wacht- en procestijden van de afnameruimte.

In het eerste deel werd het aankomsttijdstip van elke donor bij de keuringswachtkamer genoteerd. Vervolgens werden zowel het begintijdstip als het eindtijdstip van de keuring genoteerd. Hierbij werd onderscheid gemaakt in de drie verschillende keuringskamers die werden gebruikt. De resultaten van deze metingen zijn te vinden in tabel 12.1 op pagina 65.

Voor het tweede en derde deel van de meting kregen de dokter, doktersassistent en donoren het verzoek een formulier in te vullen met de volgende vragen:

- Hoe lang duurde het meten van de HB-waarde?
- Hoe lang duurde het bloeddruk meten?
- Hoe lang duurde het gesprek?
- Ging het gesprek door tijdens het meten?
- Zou het gesprek sneller gaan als de metingen niet op dat moment gedaan zijn?

- Was dit de eerste keer dat u bloed ging doneren?
- Hoeveel mensen zijn er gekeurd van het moment dat u begon met wachten tot het moment dat u werd gekeurd?
- Vond u dat u lang heeft moeten wachten?

Aan de donoren werd gevraagd deze acht vragen te beantwoorden. De dokter en doktersassistent kregen het verzoek om voor elke donor de eerste vijf vragen in te vullen. Deze opzet was gekozen om nauwkeurige controlegegevens te verkrijgen. In de praktijk bleek het echter verwarrend om zowel de dokter en doktersassistent als de donor een formulier in te laten vullen. Dit betekende namelijk twee formulieren per keuring. De dokter gaf verder aan, dat het bijhouden van tijden tijdens de keuring enigszins een belasting was. Verder bleek dat zowel donoren als de doktersassistent de gehele keuringstijd en gesprekstijd soms door elkaar haalden. Het tweede gedeelte van de middag is de werkwijze daarom iets veranderd. Met de dokter en de doktersassistent werd afgesproken dat per keuring één formulier zou worden ingevuld. Zij zouden de donoren hierbij helpen. Door deze verandering in werkwijze werden de door donoren ingevulde formulieren nauwkeuriger. Het eerste gedeelte van de middag hebben de dokter en dokterassistent de data wel voor zichzelf bijgehouden. De resultaten van de metingen van de dokter zijn weergegeven in tabel 12.3 op pagina 68. De resultaten van de metingen van de doktersassistent zijn niet verwerkt, omdat zij in het eerste gedeelte van de middag maar zes keuringen uitvoerde. Gedurende de periode van de metingen hebben 47 keuringen plaatsgevonden. Hierbij zijn 34 formulieren door de donoren ingevuld. Het aantal formulieren dat in het begin van de middag nog door donoren volledig zelf was ingevuld betrof een klein aantal en is niet afzonderlijk bewaard. De data afkomstig van alle donoren zijn weergegeven in tabel 12.4 op pagina 69.

In het al eerder gedane onderzoek is de procestijd voor het invullen van het donorformulier voorafgaand aan de keuring apart gemeten. Dit leverde een betrouwbare, gemiddelde tijdsduur op van vijf minuten. In ons onderzoek is daarom afgezien van het apart meten van dit onderdeel.

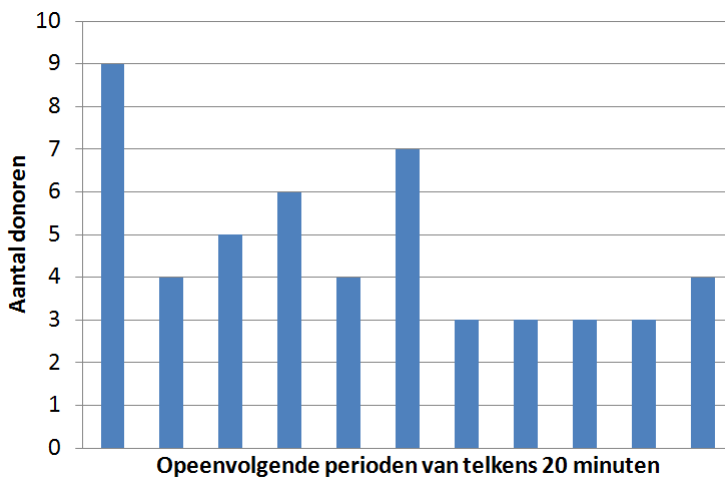
In het vierde deel van de metingen zijn het begin- en eindtijdstip van afname per donor geregistreerd. De resultaten van deze metingen zijn in tabel 12.5 op pagina 70 weergegeven.

### 4.3 Analyse van de meetgegevens en een analytisch model

De resultaten van de vier metingen zijn weergegeven in de tabellen 12.1, 12.3, 12.4 en 12.5 op pagina's 65, 68, 69 en 70. In deze paragraaf worden de resultaten geanalyseerd. Verschillende kentallen worden berekend, zoals gemiddelden en varianties van wacht- en procestijden. Met de meetresultaten en een aantal aannames zal een model van de minimale wachttijd bij de keuring worden gemaakt. Dit model zal worden vergeleken met de gemeten minimale wachttijden bij de keuring. Verder worden de bezettingsgraden gedurende de meting van de bedden in de afnameruimte berekend. In 4.3.3 zullen gemiddelde bezettingsgraden van meerdere processen berekend worden om eventuele knelpunten in het donatieproces te vinden. Deze paragraaf zal eindigen met conclusies volgend uit de metingen en meetresultaten.

### 4.3.1 Keuring

Het aankomstpatroon bij de keuring is te zien in figuur 4.1. Deze geeft weer dat er in de eerste twee uur van de middag meer donoren het centrum hebben bezocht dan in de twee uur daarna.



Figuur 4.1: Gemeten aantal aankomsten bij keuring in periodes van 20 minuten

De gemiddelden  $\bar{x}$  en varianties  $S^2$  zijn bepaald met de volgende formule, waarin het aantal metingen is aangegeven met  $n$  en waarin de  $i$ -de gemeten wachttijd of procestijd is aangegeven met  $x_i$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

De gemeten wachttijden voor de keuring en de gemeten totale keuringstijden zijn in tabel 12.1 op pagina 65 weergegeven. Deze leiden tot de gemiddelden en de standaarddeviaties in tabel 4.1.

	Gemiddelde $\bar{x}$ (min:sec)	Standaarddeviatie $S$ (min:sec)
Wachttijd keuring	6:47	3:41
Totale keuringstijd	5:52	2:46

Tabel 4.1: Metingen uitgevoerd door studenten in wachtkamer keuring

De wacht- en procestijden die door de dokter zijn gemeten staan in tabel 12.3 op bladzijde 68. Deze leiden tot de gemiddelden en de standaarddeviaties in tabel 4.2.

	Gemiddelde $\bar{x}$ (min:sec)	Standaarddeviatie $S$ (min:sec)
HB-meting	1:22	0:36
Bloeddruk meting	1:17	0:37
Totale metingstijd	2:38	1:04
Gesprekstijd	4:23	2:35

Tabel 4.2: Metingen uitgevoerd door dokter

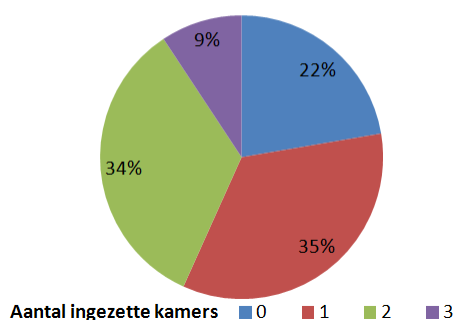
De wacht- en procestijden die door de donoren zijn gemeten staan in tabel 12.4 op bladzijde 69. De gemiddelden en de standaarddeviaties hiervan staan in tabel 4.3.

	Gemiddelde $\bar{x}$ (min:sec)	Standaarddeviatie $S$ (min:sec)
HB-meting	1:28	1:16
Bloeddruk meting	1:29	1:11
Totale metingstijd	2:58	2:08
Gesprekstijd	4:26	3:00

Tabel 4.3: Metingen uitgevoerd door donoren

Tijdens de meting wisselde het aantal keuringskamers dat werd ingezet. Tabel 12.2 op bladzijde 66 geeft dit verloop weer. Figuur 4.2 laat het percentage van de tijd zien waarbij 0, 1, 2 en 3 kamers ingezet werden.

Verdeling van het aantal ingezette keuringskamers



Figuur 4.2: Verdeling over de middag van het aantal ingezette keuringskamers in procenten

Met de gegevens die nu bekend zijn en met een aantal aannames is het mogelijk om een model van de minimale wachttijd bij de keuring op te stellen. Zodoende kunnen de gemeten resultaten vergeleken worden met de berekende resultaten van het model. De gemeten minimale wachttijd bij de keuring is weergegeven in figuur 4.3. Hierin is een duidelijk patroon te herkennen. De figuur doet denken aan een exponentiële functie. Voor het model wordt de aanname gemaakt dat de aankomsten te beschrijven zijn met een poisson proces, wat inhoudt dat de tussenaankomsttijden van opeenvolgende donoren exponentieel verdeeld zijn. De verdeling van de keuringstijd wordt als onbekend verondersteld. Met de waarden voor de



gemiddelde tijdsduur en variantie van de keuring uit tabel 4.1 kan er toch gerekend worden. Uit figuur 4.2 blijkt dat het aantal ingezette keuringsmedewerkers gedurende de middag van de meting voor het grootste deel gelijk was aan één of twee. In het model wordt het aantal keuringsmedewerkers op twee gesteld. Bovenstaand model is bekend als een M/G/s-model. De waarde  $M$  staat voor het aankomstproces dat een poisson proces is, de  $G$  staat voor het keuringsproces dat een algemene verdeling heeft en de  $s$  staat voor het aantal keuringsmedewerkers. De kans in een M/G/s-model dat een donor langer dan  $t$  minuten moet wachten,  $P(W > t)$ , ziet er als formule als volgt uit:

$$P(W > t)_{M/G/s} = \frac{(1 + c_K^2)}{2} \cdot P(W > t)_{M/M/s}. \quad (4.3.1)$$

In formule 4.3.1 is  $P(W > t)_{M/G/s}$  de minimale wachttijd voor een M/G/s-model. De parameter  $c_K^2$  is het quotiënt van de variantie en het kwadraat van de gemiddelde tijdsduur van het keuringsproces. Deze tijdsduur is aangegeven met  $K$ .

$$c_K^2 = \frac{S^2[K]}{(\bar{x}[K])^2}.$$

In formule 4.3.1 is  $P(W > t)_{M/M/s}$  de minimale wachttijd in een M/M/s-model. In dit model is de verdeling van de keuringstijd bekend. Deze is namelijk exponentieel verdeeld. De minimale wachttijd voor een M/M/s-model is te vinden in [5] in paragraaf 9.4 en kan uitgedrukt worden met de volgende formule:

$$P(W > t)_{M/M/s} = P(W > 0) \cdot e^{-s_k \mu_k (1 - \frac{\rho_k}{s_k}) t}. \quad (4.3.2)$$

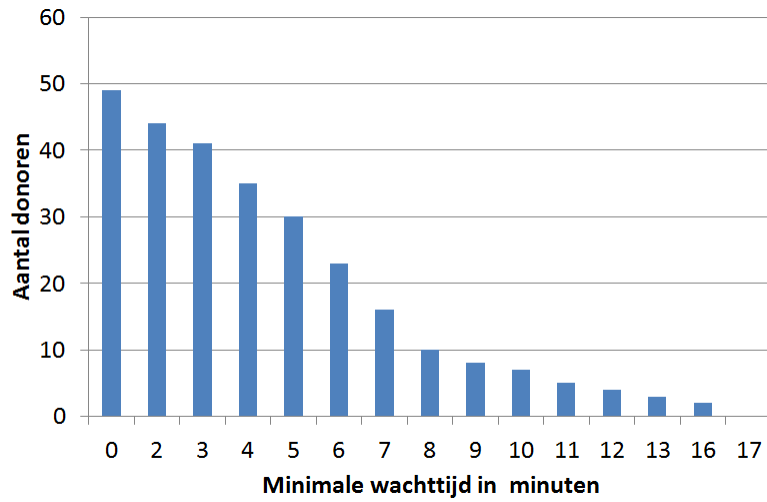
In formule 4.3.2 staat  $s_k$  voor het aantal keuringsmedewerkers. De  $\rho_k$  is de werklast die per tijdseenheid arriveert bij de keuring. Deze is te berekenen met de volgende formule, waarin  $\lambda_k$  en  $\mu_k$  staan voor respectievelijk de aankomst- en bedieningsintensiteiten bij de keuring:

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}.$$

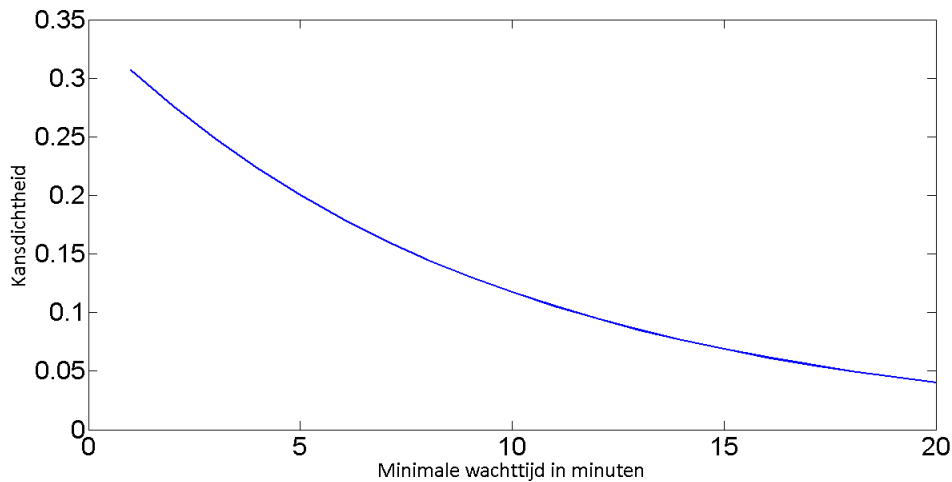
De  $P(W > 0)$  in formule 4.3.2 is de kans dat een binnenkomende donor bij de keuring moet wachten. De formule hiervoor ziet er als volgt uit met  $n_k$  het aantal mensen dat al door een keuringsmedewerker wordt geholpen:

$$P(W > 0) = \left( \sum_{n_k=0}^{s_k-1} \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!} + \frac{\rho_k^{s_k}}{s_k!} \frac{s_k}{s_k - \rho_k} \right)^{-1} \cdot \frac{s_k \cdot \rho_k^{s_k}}{s_k! (s_k - \rho_k)}.$$

De minimale wachttijd die met dit model berekend kan worden is slechts afhankelijk van de parameters  $\rho_k$ ,  $s_k$  en  $c_K^2$ . Uit tabel 4.5 op pagina 18 kan voor de aankomstintensiteit de waarde genomen worden van  $\lambda_k = 14$ . Uit dezelfde tabel kan voor de keuringsintensiteit de waarde  $\mu_k = 10,22$  genomen worden. Het aantal keuringsmedewerkers is gesteld op een waarde van  $s_k = 2$ . De waarden voor de gemiddelde duur en de variantie van het keuringsproces uit tabel 4.1 geeft voor  $c_K^2 = 0,22$ . De berekende minimale wachttijd van dit model is weergegeven in 4.4. Er is een duidelijke overeenkomst tussen de figuren 4.3 en 4.4. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het analytisch model goed overeenkomt met de gedane metingen.



Figuur 4.3: Gemeten minimale wachttijd bij keuring in minuten



Figuur 4.4: Berekende minimale wachttijd keuring in minuten voor  $s_k = 2$

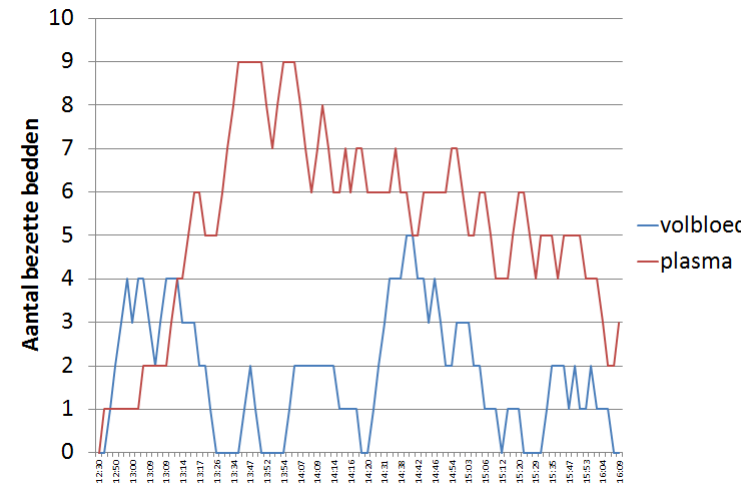
### 4.3.2 Afname

De begin- en eindtijden van de afname van de plasmadonoren en de volbloeddonoren staan in tabel 12.5 op bladzijde 70. Hieruit zijn de gemiddelden en de standaarddeviaties berekend en weergegeven in tabel 4.4.

	Gemiddelde $\bar{x}$ (min:sec)	Standaarddeviatie $S$ (min:sec)
Afnametijd plasma	47:46	6:11
Afnametijd volbloed	16:02	5:31

Tabel 4.4: Metingen uitgevoerd in afnameruimte

Tabel 12.5 op bladzijde 70 is tevens gebruikt om een chronologische lijst van aankomst en vertrek in de afnameruimte op te stellen. Deze lijst is weergegeven in de tabel 12.7 op bladzijde 72. Met deze gegevens is de bedbezetting van de bedden bepaald die in figuur 4.5 te zien is.



Figuur 4.5: Bedbezetting plasma- en volbloedbedden

### 4.3.3 Conclusies volgend uit metingen en meetresultaten

De conclusies van de metingen worden hieronder beschreven.

- De resultaten van de metingen uitgevoerd in Zwolle in 2010 in [3], laten weinig verschil zien met de resultaten van de daar uitgevoerde metingen in 2012, zie tabel 4.5.

	2010	2012
Aank. balie en keuring	15,0	14,0
Aank. afname	13,5	12,6
Proc. balie	2:00	1:00
Proc. keuring	5:00	5:52
Proc. afname plasma	47:46	47:00
Proc. afname volbloed	16:02	17:00

Tabel 4.5: Meetresultaten in Zwolle van 2010 en 2012; aankomstintensiteiten in aantal donoren per uur en procestijden in min:sec

Alleen de procestijden bij de balie verschillen aanzienlijk.

- Het aantal donoren dat het centrum in de eerste helft van de middag bezoekt is groter dan het aantal donoren dat in de tweede helft van de middag arriveert.
- De gemeten minimale wachttijd bij de keuring vertoont een overeenkomstig verloop met de berekende wachttijd van een M/G/2 model.

- Uit de metingen van tabellen 4.2 en 4.3 blijkt, dat bij de keuring de variantie van de gesprekstijden veel groter is dan de variantie van de totale metingstijden. Varianties hebben een grote invloed op de lengte van wachtrijen en wachttijden. Het is o.b.v. deze gegevens voor de hand liggend om het gesprek een grotere invloed op de wachttijden toe te kennen dan de metingen.
- De metingen van de onderdelen tijdens de keuring kunnen vooral worden verbeterd als er tijdens de keuring door een derde persoon gemeten wordt. Dit kan overigens alleen een dokter of een doktersassistent zijn.
- De dokter geeft aan bij keuringen, gedaan door verschillende medici, aanwezig te zijn geweest. Het viel haar daarbij op dat er veel verschil was in de manier waarop de keuringen worden uitgevoerd. Er zou tijdswinst geboekt kunnen worden als er algemene instructies zouden zijn, bijvoorbeeld over de volgorde van de uit te voeren handelingen.
- Een ander punt van belang werd naar voren gebracht door de doktersassistent. Het blijkt dat het maken van een vervolgspraak regelmatig tijdens de keuring plaatsvindt. In sommige gevallen kost dit zeker enkele minuten.
- Uit de weergave van de bedbezetting, zie figuur 4.5, blijkt dat de maximale capaciteit niet bereikt wordt. In de bedbezetting van de plasma-afname is een patroon zichtbaar van aanvankelijk een snelle stijging gevolgd door een geleidelijkere daling. Verder zijn er bij de volbloedafname twee piekperiodes te herkennen.

#### 4.4 Verdere analyse: gemiddelde bezettingsgraden

Een indruk van mogelijke knelpunten in het donatieproces kan worden verkregen door de gemiddelde bezettingsgraden van de processen te berekenen. De formule voor de gemiddelde bezettingsgraad  $\rho$  is als volgt:

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu_i}.$$

Hierin is  $\lambda$  de hoeveelheid werk die gemiddeld per tijdseenheid arriveert. De hoeveelheid werk die gemiddeld per tijdseenheid verwerkt kan worden door een afzonderlijke server is aangeduid met  $\mu_i$ . De index  $i$  geeft aan of de server een baliemedewerker  $b$ , een keuringsmedewerker  $k$  of een medewerker bij de afname  $a$  is. Verder staat  $s$  voor het aantal servers dat ingezet wordt bij een proces. In deze paragraaf worden de bezettingsgraden voor de balie, de keuring, de afname plasma en de afname volbloed berekend. In 4.3.1 is gebleken dat de metingen uit 2010 grotendeels overeenkomen met die uit 2012, de metingen voor de balie uitgezonderd, zie tabel 4.5. Vandaar dat bij de berekeningen van de bezettingsgraden in deze paragraaf uitgegaan is van de meetresultaten uit 2012. Alleen bij de berekening van de bezettingsgraad bij de balie is ook gebruik gemaakt van de metingen uit 2010, zie tabel 4.6. Het verschil in bezettingsgraad dat deze tabel laat zien is opmerkelijk. Tijdens de metingen in 2012 was het opgevallen dat de bedieningstijd bij de balie zeer kort was. De waarde van één minuut bedieningstijd bij de balie, weergegeven in tabel 4.5, is dan ook conservatief. Aangezien de baliemedewerker ook ingezet kan worden bij de afname, is het van belang een goede inschatting te kunnen maken van de procestijd bij de balie. Een lagere procestijd aan de balie betekent een toename van de beschikbaarheid van de baliewerknemer voor het afnameproces. Waar o.b.v. de metingen in 2010 uitgegaan kan worden van een half uur dat de baliemedewerker elk uur kan bijspringen,

is dit o.b.v. de metingen in 2012 meer dan drie kwartier.

Meting	Aantal werknemers $s$	Aankomst-intensiteit $\lambda$ (donoren/uur)	Procestijd per werknemer (min:sec)	Bediening-intensiteit $\mu_b$ (donoren/uur)	Bezettingsgraad $\rho$ (%)
2010	1	15,0	2:00	30,0	50
2012	1	14,0	1:00	60,0	23

Tabel 4.6: Bezettingsgraad balie

#### 4.4.1 Keuring

In tabel 4.7 zijn de bezettingsgraden berekend voor de keuring. Hier zijn drie situaties met elkaar vergeleken, die verschillen in het aantal ingezette werknemers. De tabel laat duidelijk zien dat het inzetten van één medewerker onmogelijk is, dit omdat de bezettingsgraad dan boven de 100% uitkomt. Ook laat de tabel zien dat bij een inzet van twee medewerkers er al een redelijk hoge bezettingsgraad ontstaat. Bij het keuringsproces is één van de servers een arts. Deze arts is niet altijd een medewerker van het donatiecentrum en kan niet altijd flexibel ingezet worden bij de andere onderdelen van het donatieproces. Voor het donatiecentrum is het vooral de vraag of er één of twee medewerkers naast de arts bij de keuring moeten worden ingezet.

Aantal werknemers $s$	Aankomst-intensiteit $\lambda$ (donoren/uur)	Procestijd per werknemer (min:sec)	Bedienings-intensiteit $\mu_k$ (donoren/uur)	Bezettingsgraad $\rho$ (%)
1	14,0	5:52	10,2	(137)
2	14,0	5:52	10,2	68
3	14,0	5:52	10,2	46

Tabel 4.7: Bezettingsgraad keuring o.b.v. metingen Zwolle 2012

In tabel 4.8 is de keuring gesplitst in de metingen en een gesprek met een medewerker. De metingen vinden plaats vóór het gesprek. In het donatieproces komt er een proces bij in de vorm van een metingsproces. Uit de metingen van 2012 komt een aankomstintensiteit  $\lambda$  van 14 donoren per uur bij de balie. In dit geval is deze voor de metingen ook 14 donoren per uur. Verder geldt dat na de metingen de aankomstintensiteit zich verdeelt in 10% uitval, 45% volbloedafname en 45% plasma-afname; vandaar de waarde van de aankomstintensiteit van 12,6 bij de keuring in de derde kolom. In deze tabel is te zien dat het inzetten van één medewerker bij zowel het gesprek als bij de keuring hoge bezettingsgraden oplevert. Deze splitsing leidt er toe dat er minimaal twee medewerkers bij het gesprek moeten worden ingezet om de bezettingsgraden voldoende laag te krijgen. In vergelijking met tabel 4.7 valt het op dat bij een inzet van drie medewerkers een splitsing van de keuring nadeliger is t.o.v. de situatie zonder splitsing. Met splitsing is er een bezettingsgraad van 62% voor de medewerker

die de meting uitvoert en een bezettingsgraad van 46% voor de twee keuringsmedewerkers. Zonder splitsing is er voor alle drie keuringsmedewerkers een bezettingsgraad van 46%.

Proces	Aantal werknemers $s$	Aankomst-intensiteit $\lambda$ (donoren/uur)	Procestijd per werknemer (min:sec)	Bedienings-intensiteit $\mu_k$ (donoren/uur)	Bezettingsgraad $\rho$ (%)
Metingen	1	14,0	2:38	22,7	62
Keuring	1	12,6	4:23	13,7	92
Metingen	1	14,0	2:38	22,7	62
Keuring	2	12,6	4:23	13,7	46

Tabel 4.8: Bezettingsgraden metingen en gesprek bij gesplitste keuring o.b.v. metingen in Zwolle 2012 uitgevoerd door de arts, zie tabel 4.2.

#### 4.4.2 Afname

In tabel 4.9 zijn de bezettingsgraden bij de afname berekend. Hierbij is er vanuit gegaan dat het aantal bedden de capaciteit van het afnameproces bepaalt. In het donatiecentrum in Zwolle zijn de bedden van de plasma- en volbloedafname onderling niet uitwisselbaar. De eerste regel in tabel 4.9 geeft deze situatie weer. In het geval de bedden als uitwisselbaar worden beschouwd is er een capaciteit van 15 bedden. De tweede regel in tabel 4.9 geeft deze situatie weer. De bezettingsgraad van 45% laat zien dat door uitwisselbaarheid van de bedden de bezettingsgraad van de plasmabedden iets verlaagd kan worden. Zolang deze laatste echter relatief laag is, namelijk 50%, is dit niet noodzakelijk.

Proces	Aantal bedden $s$	Aankomst-intensiteit $\lambda$ (donoren/uur)	Procestijd per bed (min:sec)	Bedienings-intensiteit $\mu_a$ (donoren/uur)	Bezettingsgraad $\rho$ (%)
Plasma	10	6,3	47:46	1,3	50
Volbloed	5	6,3	16:02	3,7	34
Plasma en volbloed	15	12,6	31:54	1,9	45

Tabel 4.9: Afname: bezettingsgraden met bedden als server o.b.v. metingen Zwolle 2012

Bij de afname plasma en de afname volbloed verrichten de medewerkers aan het begin en aan het eind van de afname noodzakelijke handelingen. In de tussentijd is er voor de werknemers tijd beschikbaar voor andere werkzaamheden. Als de capaciteit afhankelijk is van het aantal ingezette medewerkers, is het voor de hand liggend om deze als server te nemen. Dit in tegenstelling tot tabel 4.9, waarin de bedden als de servers worden gezien. Om meer inzicht te krijgen op de werkelijke aan- en afkoppeltijd van het afnameproces zijn in Enschede metingen uitgevoerd. Deze hebben geleid tot een gemiddelde aan- en afkoppeltijd zoals in kolom vier van tabel 4.10 is aangegeven. Ook hier zijn twee situaties met elkaar vergeleken. In de eerste situatie zijn er zowel voor het plasma-afnameproces als het volbloedafnameproces twee

medewerkers beschikbaar. Deze zijn niet uitwisselbaar en leiden tot een bezettingsgraad van respectievelijk 50% en 37%. In de tweede situatie zijn ze wel uitwisselbaar en dat geeft een bezettingsgraad voor het hele afnameproces van 43%.

Proces	Aantal werknemers $s$	Aankomst-intensiteit $\lambda$ (donoren/uur)	Procestijd per werknemer (min:sec)	Bedienings-intensiteit $\mu_a$ (donoren/uur)	Bezettingsgraad $\rho$ (%)
Plasma	2	6,3	9:28	6,3	50
Volbloed	2	6,3	7:04	8,5	37
Plasma en volbloed	4	12,6	8:16	7,3	43

Tabel 4.10: Afname: bezettingsgraden met werknemers als server o.b.v. metingen Zwolle en Enschede 2012

#### 4.4.3 Conclusies gemiddelde bezettingsgraden

- Het is van belang een goede inschatting te kunnen maken van de procestijd bij de balie. Een lagere procestijd aan de balie betekent een toename van de beschikbaarheid van de balie-medewerker voor andere taken, zoals hulp bij de afname of het doen van metingen.
- Uit de berekening van de bezettingsgraden blijkt vooral dat het knelpunt bij het keuringsproces zit. Het inzetten van slechts één medewerker naast de keuringsarts leidt tot hoge bezettingsgraden, zowel bij splitsing van de keuring als zonder splitsing.
- Voor het voldoende omlaag krijgen van de bezettingsgraad bij de keuring zal er vaak gebruik moeten worden gemaakt van een derde keuringsmedewerker, zeker op piekmomenten. Er lijkt hiervoor ruimte te zijn bij de capaciteit van de afname. De bezettingsgraad bij de afname is relatief laag. Het maakt hierbij niet uit of de bedden of de medewerkers als server worden beschouwd.

#### 4.5 Eindconclusies data analyse:

- De resultaten van de metingen uitgevoerd in Zwolle in 2010 in [3] laten weinig verschil zien met de resultaten van de daar uitgevoerde metingen in 2012, zie tabel 4.5. Alleen de procestijden bij de balie verschillen aanzienlijk. Deze metingen in 2012 uitgevoerd in Zwolle verschillen ook weinig van de metingen die in 2010 in de andere donatiecentra in Noord-Oost Nederland zijn uitgevoerd.
- De gemeten minimale wachttijd bij de keuring vertoont een overeenkomstig verloop met de berekende wachttijd van een M/G/2 model. Dit analytisch model komt goed overeen met de gedane metingen.
- Uit de metingen van tabellen 4.2 en 4.3 blijkt, dat bij de keuring de variantie van de gesprekstijden veel groter is dan de variantie van de totale metingstijden. Varianties hebben een grote invloed op de lengte van wachtrijen en wachttijden. Het is o.b.v. deze

gegevens voor de hand liggend om het gesprek een grotere invloed op de wachttijden toe te kennen dan de metingen.

- Uit de weergave van de bedbezetting, zie figuur 4.5, blijkt dat de maximale capaciteit niet bereikt wordt. In de bedbezetting van de plasma-afname is een patroon zichtbaar van aanvankelijk een snelle stijging gevolgd door een geleidelijkere daling. Verder zijn er bij de volbloedafname twee piekperioden te herkennen.
- Voor het maken van een model met als doel het verbeteren van de procestijden, is uit de bezettingsgraden af te leiden dat vooral naar het keuringsproces gekeken moet worden. Bij dit proces is er regelmatig een derde keuringsmedewerker nodig. Bij de afname is de bezettingsgraad relatief laag. Het ligt hierdoor voor de hand om bij het maken van het model te kijken naar het verplaatsen van medewerkers van de afname naar de keuring. De bezettingsgraad bij de balie is ook relatief laag en het ligt het voor de hand om te kijken of er extra werk naar de baliemedewerker kan gaan.



## 5 Model

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het model tot stand is gekomen. Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd. Ten eerste worden de variabelen en de schematische versie van het model geïntroduceerd. Vervolgens wordt beschreven hoe het model is geanalyseerd en worden de formules voor de wachttijden afgeleid en/of gegeven. Tot slot worden de resulterende rekenmodellen besproken.

### 5.1 Variabelen

De volgende variabelen zijn in het model gebruikt.

Variabele	Omschrijving	Gebied
$i$	Nummer server	$i \in \{1, \dots, 5\}$
$s$	Aantal ingezette werknemers	$s \geq 0$
$s_i$	Aantal ingezette werknemers bij server $i$	$s_i \geq 0$
$n$	Aantal donoren	$n \geq 0$
$n_i$	Aantal donoren bij server $i$	$n_i \geq 0$
$\rho$	Bezettingsgraad	$0 \leq \rho \leq 1$
$\rho_i$	Bezettingsgraad server $i$	$0 \leq \rho_i \leq 1$
$L_i$	Verwachte lengte wachtrij bij server $i$	$L_i \geq 0$
$W_i$	Aantal donoren in de wachtrij bij server $i$	$W_i \geq 0$
$c_B^2$	Squared coefficient of variance ( <i>scv</i> ) van de bedieningstijd	$c_B^2 \geq 0$
$k$	Fractie donoren goedgekeurd	$0 \leq k \leq 1$
$k_p$	Fractie goedgekeurde plasmadonoren	$0 \leq k_p \leq 1$
$k_{vb}$	Fractie goedgekeurde volbloeddonoren	$0 \leq k_{vb} \leq 1$
$d$	Fractie donoren plasma	$0 \leq d \leq 1$

### 5.2 Modelbeschrijving & aannames

In deze paragraaf wordt het probleem omgezet naar een schematisch wachtrijmodel, hier wordt nog niet naar de verdelingen van de bedieningstijden en aankomsten gekeken, maar wel naar de hoeveelheid servers en waar er wachtrijen zijn en welke aannames er nodig zijn.

De eerste aanname is dat er geen verschil tussen de plasmadonoren en volbloeddonoren is. Dit betekent dat de stroom van donoren door het systeem niet gespecificeerd hoeft te worden in verschillende stromen. Om het duidelijk te houden wordt het systeem opgedeeld in vijf processen:

- Proces 1: Balie
- Proces 2: Formulier invullen
- Proces 3: Donoren keuren
- Proces 4: Afname plasma
- Proces 5: Afname volbloed

In deze volgorde zullen de processen besproken worden. De laatste twee processen worden samen besproken, gezien de afname op meerdere manier gemodelleerd kan worden (los of samen).

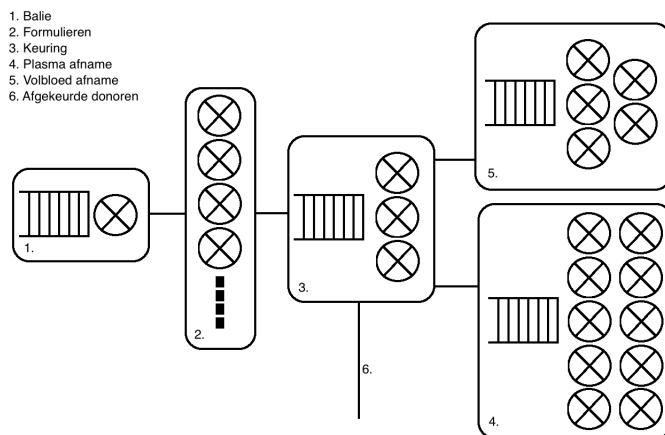
Bij de balie zit een medewerker die één donor per keer kan helpen en er is geen beperking op de hoeveelheid donoren die er kunnen wachten, daarom wordt de balie gemodelleerd als een proces met één server en een oneindige wachtruimte. Bij de balie heeft de donor een formulier gekregen, deze moet worden ingevuld. Gezien er geen medewerkers nodig zijn en er geen speciale ruimte nodig is om het formulier in te vullen, kan dit proces worden gemodelleerd als een proces met oneindig veel servers, waardoor er geen wachtrij kan ontstaan.

Naar aanleiding van het ingevulde formulier, moet er een gesprek worden gevoerd met een medewerker en moeten de HB-waarde en bloeddruk gemeten worden, hiervoor zijn drie keuringskamers beschikbaar (om privacy-redenen moet het gesprek in een kamer en één op één worden gehouden). Er zijn meerdere manieren om dit proces te modelleren, voor dit model worden de drie deelprocessen (HB-meten, bloeddruk meten en het gesprek voeren) gemodelleerd als één bedieningsproces. De hoeveelheid servers heeft een maximum van drie, maar hangt af van de hoeveelheid medewerkers die beschikbaar zijn. Tot slot is net zoals bij de andere processen geen beperking op de wachtruimte. Voordat het afnameproces besproken wordt moet nog opgemerkt worden dat na de keuring een bepaalde fractie van de donoren wordt afgekeurd. Dit wordt gemodelleerd door de aankomstintensiteit bij het afnameproces met een factor te verkleinen (gebaseerd op de gegevens van Sanquin).

Het afnameproces kan op meerdere manieren worden gemodelleerd. De eerste manier is om de bedden als server zien, dit zou betekenen dat de stroom van donoren opgesplitst moet worden in een stroom plasma- en volbloeddonoren (gezien er een aantal plasma- en volbloedbedden zijn voor de afname). De bedieningstijd is in deze situatie dan de tijd dat een donor op het bed ligt (vastkoppelen, bloed geven en loskoppelen). Het gehele systeem met deze manier van modelleren is schematisch te zien in figuur 5.1.

Om dit soort figuren te begrijpen moeten de verschillende symbolen geïntroduceerd worden:

- Server: Cirkel met een kruis
- Wachtrij: Horizontale trap
- Proces: Afgebakende groep servers met mogelijk een wachtrij
- Stroom donoren: Lijnen die de processen verbinden

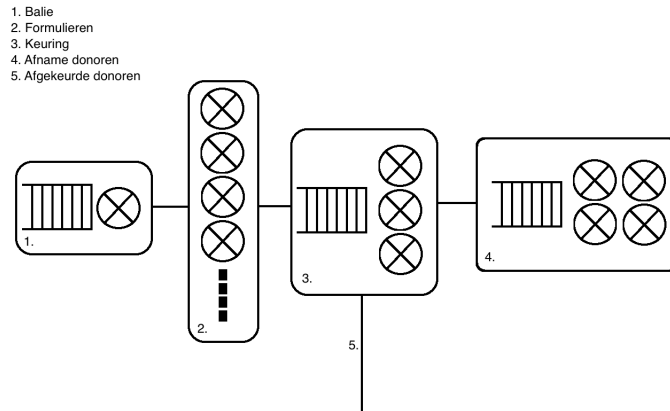


Figuur 5.1: Basissituatie met bedden als servers bij de afname

Een andere manier om het afnameproces te modelleren is om de medewerkers als server zien. Dit betekent dat de stroom van donoren niet moet worden opgesplitst. Wel is er een moeilijkheid bij het modelleren van de bedieningstijd, de medewerkers zijn alleen aanwezig bij het vast- en loskoppelen van de donoren. Dit is opgelost door het interval in de bedieningstijd te verwaarlozen, daarmee wordt de verwachte bedieningstijd in deze situatie:

$$E[B_m] = E[B_{m,p} + B_{m,vb}] = P_p \cdot E[B_{m,p}] + P_{vb} \cdot E[B_{m,vb}]. \quad (5.2.1)$$

Hier staan de indices  $m$  voor het medewerkers model,  $p$  voor plasmadonoren,  $vb$  voor volbloeddonoren en is  $P_i$  de kans op een donor van soort  $i$ . Het verwaarlozen van bovengenoemd interval is in deze situatie geen groot probleem en gezien de totale bedieningstijd gelijk blijft aan de werkelijkheid. De schematische weergave van het gehele systeem met deze manier van modelleren is te zien in figuur 5.2.



Figuur 5.2: Basissituatie met medewerkers als server bij de afname

### 5.3 Model analyse

In deze paragraaf wordt beschreven welke analyses er nodig zijn voor het afleiden van de wachttijdformules.

Zoals al eerder is gezegd is het systeem een netwerk van wachtrijen. Zo'n netwerk is meestal niet direct analyseerbaar. Daarom wordt in deze paragraaf bewezen dat het voor dit netwerk niet nodig is om het totale netwerk te bekijken, gegeven dat de wachtrijen te beschrijven zijn als  $M/M/s$  processen. Vervolgens worden de algemene wachttijdformules voor een  $M/M/s$  proces afgeleid. Tot slot worden de benaderingen voor de wachttijdformules van een  $M/G/s$  proces gegeven, gezien vanuit de meting kan worden geconcludeerd dat de wachtrijen geen  $M/M/s$  proces zijn. Dit heeft als gevolg dat de processen eigenlijk niet los van elkaar kunnen worden bekeken. In hoofdstuk 6 zal blijken dat dit echter nog steeds een goede benadering is.

#### 5.3.1 Bewijs multiple server onafhankelijkheid bij $M/M/s$ processen

Zoals bewezen in [10] zijn de processen (gegeven dat het  $M/M/1$  processen zijn) in een tandem netwerk onafhankelijk van elkaar. Met diezelfde strategie wordt hieronder de onafhankelijkheid van  $M/M/s$  processen in een tandem netwerk bewezen.

**5.3.1.1 Bewijs onafhankelijkheid: tandemnetwerk** Gegeven is dat de volgende evenwichtsvergelijking op moet gaan, hiermee wordt bedoeld dat de som van de rechtervergelijkingen gelijk zijn aan de som van de linkervergelijkingen.

$$\pi(n_1, n_2) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1) \quad \pi(n_1 - 1, n_2) \cdot \lambda \quad (5.3.1)$$

$$\pi(n_1, n_2) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2) \quad \pi(n_1 + 1, n_2 - 1) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1 + 1) \quad (5.3.2)$$

$$\pi(n_1, n_2) \cdot \lambda \quad \pi(n_1, n_2 + 1) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2 + 1) \quad (5.3.3)$$

$$\text{Totaal in situatie } (n_1, n_2) = \text{Totaal uit situatie } (n_1, n_2)$$

Hier is  $\pi(n_1, n_2)$  de kans en de fractie van de tijd dat het systeem in de situatie  $(n_1, n_2)$  zit. Het verschil met de evenwichtsvergelijkingen van het tandem netwerk met M/M/1 processen is de factor  $f_i$ , dit is een functie die afhangt van het aantal servers bij het proces  $i$  en het aantal donoren bij proces  $i$ . Deze zal gedefinieerd worden in formule (5.3.5).

Op het moment dat er verondersteld wordt dat (5.3.1) aan elkaar gelijk is, vergelijking (5.3.2) aan elkaar gelijk is en ook (5.3.3) aan elkaar gelijk is, blijft de globale evenwichtsvergelijking gelden. Dit is een handig feit want het gelijkstellen van deze uitdrukkingen leidt tot een bruikbare representatie voor  $\pi(n_1, n_2)$ .

In de volgende beredenatie is (5.3.2) als gelijkheid verondersteld.

$$\begin{aligned} \pi(n_1, n_2) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2) &= \pi(n_1 + 1, n_2 - 1) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1 + 1), \\ \pi(n_1, n_2) &= \pi(n_1 + 1, n_2 - 1) \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{f_1(n_1 + 1)}{f_2(n_2)}. \end{aligned} \quad (5.3.4)$$

Met de functie  $f_i$  op de volgende manier beschreven:

$$f_i(n_i) = \begin{cases} n_i & \text{als } 0 \leq n_i \leq s_i, \\ s_i & \text{als } n_i \geq s_i. \end{cases} \quad (5.3.5)$$

Waar  $s_i$  het aantal servers is bij proces  $i$ .

Herhalen van stap (5.3.4) tot de laatste wachtrij geen wachtenden meer heeft, levert het volgende resultaat op:

$$\pi(n_1, n_2) = \pi(n_1 + n_2, 0) \cdot \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^{n_2} \cdot \frac{F(f_1(n_1))}{G(f_2(n_2))}. \quad (5.3.6)$$

Hier zijn  $F$  en  $G$  functies die op zijn gebouwd uit respectievelijk alle factoren van  $f_1$  en  $f_2$ . Deze definitie van  $f_i$  levert de volgende uitdrukking op voor  $F$  en  $G$ :

$$F(f_1(n_1)) = \begin{cases} \frac{(n_1+n_2)!}{n_1!} & \text{als } 0 \leq (n_1 + n_2) \leq s_1, \\ s_1^{n_1+n_2-s_1} \cdot \frac{s_1!}{n_1!} & \text{als } n_1 \leq s_1 \leq (n_1 + n_2), \\ s_1^{n_2} & \text{als } n_1 \geq s_1, \end{cases} \quad (5.3.7)$$

$$G(f_2(n_2)) = \begin{cases} n_2! & \text{als } 0 \leq n_2 \leq s_2, \\ s_2^{n_2-s_2} \cdot s_2! & \text{als } n_2 \geq s_2. \end{cases} \quad (5.3.8)$$

Nu het systeem zo is omschreven dat er alleen nog mensen in de rij staan bij het eerste proces, kan met het gelijkstellen van de uitdrukkingen bij (5.3.2) de kans op situatie  $(n_1+n_2, 0)$  worden uitgedrukt in  $\pi(0, 0)$ :

$$\begin{aligned}\pi(n_1 + n_2, 0) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1 + n_2) &= \pi(n_1 + n_2 - 1, 0) \cdot \lambda, \\ \pi(n_1 + n_2, 0) &= \pi(n_1 + n_2 - 1, 0) \cdot \frac{\lambda}{\mu_1} \frac{1}{f_1(n_1 + n_2)}, \\ \pi(n_1 + n_2, 0) &= \pi(0, 0) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1+n_2} \cdot \frac{1}{H(f_1(n_1 + n_2))}.\end{aligned}\quad (5.3.9)$$

Waarbij H gedefiniëerd is als:

$$H(f_1(n_2 + n_1)) = \begin{cases} (n_1 + n_2)! & \text{als } 0 \leq (n_1 + n_2) \leq s_1, \\ s_1^{n_2+n_1-s_1} \cdot s_1! & \text{als } (n_2 + n_1) \geq s_1. \end{cases}\quad (5.3.10)$$

Een combinatie van (5.3.6) en (5.3.9) levert de volgende uitdrukking voor  $\pi(n_1, n_2)$  op.

$$\begin{aligned}\pi(n_1, n_2) &= \pi(n_1 + n_2, 0) \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{n_2} \cdot \frac{F}{G}, \\ &= \pi(0, 0) \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{n_2} \cdot \frac{F}{G} \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1+n_2} \cdot \frac{1}{H}, \\ &= \pi(0, 0) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_2}\right)^{n_2} \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \frac{F}{H \cdot G}.\end{aligned}\quad (5.3.11)$$

Vervolgens kan  $\frac{F}{H}$  herschreven worden:

$$\frac{F}{H} = \begin{cases} \frac{1}{n_1!} & \text{als } 0 \leq (n_1 + n_2) \leq s_1, \\ \frac{1}{n_1!} & \text{als } n_1 \leq s_1 \leq (n_1 + n_2), \\ \frac{1}{s_1!} \cdot s_1^{n_1-s_1} & \text{als } n_1 > s_1. \end{cases}\quad (5.3.12)$$

Dan zijn  $\frac{H}{F}$  &  $G$  te lezen als:

$$m(n_i) = \begin{cases} n_i! & \text{als } 0 \leq n_i \leq s_i, \\ s_i^{s_i-n_i} \cdot s_i! & \text{als } n_i \geq s_i. \end{cases}\quad (5.3.13)$$

De volgende bereiding laat zien dat de derde vergelijking ook voldoet aan de eerdere uitdrukking voor  $\pi(n_1, n_2)$ :

$$\begin{aligned}\pi(n_1, n_2) \cdot \lambda &= \pi(n_1, n_2 + 1) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2 + 1), \\ \pi(n_1, 0) &= \pi(n_1, 1) \cdot \frac{\mu_2}{\lambda} \cdot f_2(1), \\ &= \pi(n_1, n_2) \cdot \left(\frac{\mu_2}{\lambda}\right)^{n_2} \cdot m(n_2), \\ &= \pi(0, 0) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \cdot \frac{1}{m(n_1)}, \\ \pi(n_1, n_2) &= \pi(0, 0) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_2}\right)^{n_2} \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \cdot \frac{1}{m(n_2) \cdot m(n_1)}.\end{aligned}\quad (5.3.14)$$

Tot slot moet worden laten zien dat  $\pi(0,0)$  te schrijven is als  $\pi_1(0) \cdot \pi_2(0)$ . Bekend is dat de som van de kansen gelijk is aan één:

$$\begin{aligned}\pi(0,0) &= \frac{1}{\sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_2=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu_2}\right)^{n_2} \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \cdot \frac{1}{m(n_2)} \frac{1}{m(n_1)}}, \\ \pi(0,0) &= \left[ \sum_{n_2=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu_2}\right)^{n_2} \frac{1}{m(n_2)} \right]^{-1} \left[ \sum_{n_1=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \frac{1}{m(n_1)} \right]^{-1}.\end{aligned}\quad (5.3.15)$$

Uit (5.3.14) en (5.3.15) volgt:

$$\pi(n_1, n_2) = \pi_1(n_1) \cdot \pi_2(n_2).\quad (5.3.16)$$

Daarmee is bewezen dat in een tandemnetwerk van M/M/s processen de processen onderling onafhankelijk zijn.

### 5.3.2 Bewijs onafhankelijkheid: serieel netwerk

Op dezelfde manier wordt het bewijs uitgebreid naar een serieel netwerk, met een willekeurig aantal M/M/s processen. De evenwichtsvergelijkingen worden dan:

$$\begin{array}{rcl}\pi(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1) & \pi(n_1 - 1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \lambda \\ \pi(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2) & \pi(n_1 + 1, n_2 - 1, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1 + 1) \\ \vdots & \vdots \\ \pi(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \mu_2 \cdot f_2(n_2) & \pi(n_1, n_2, \dots, n_{J-1} + 1, n_J - 1) \cdot \mu_1 \cdot f_1(n_1 + 1) \\ \pi(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \lambda & \pi(n_1 + 1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) \cdot \mu_J \cdot f_J(n_J + 1)\end{array}$$

---

Totaal in situatie  $(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J) =$  Totaal uit situatie  $(n_1, n_2, \dots, n_{J-1}, n_J)$

Als de een-na-laatste evenwichtsvergelijking aan elkaar gelijk wordt gesteld, kan de laatste rij verplaatst worden naar de een-na-laatste rij:

$$\begin{aligned}\pi(n_1, \dots, n_J) \mu_J f_J(n_J) &= \pi(n_1, \dots, n_{J-1}, n_J - 1) f_{J-1}(n_{J-1} + 1) \mu_{J-1}, \\ &= \pi(n_1, \dots, n_{J-1}, n_J - 1) \frac{f_{J-1}(n_{J-1} + 1)}{f_J(n_J)} \frac{\mu_{J-1}}{\mu_J}, \\ &= \pi(n_1, \dots, n_{J-1} + n_J, 0) \frac{F(f_{J-1}(n_{J-1}))}{G(f_J(n_J))} \cdot \left(\frac{\mu_{J-1}}{\mu_J}\right)^{n_J}.\end{aligned}\quad (5.3.17)$$

Met met  $f_i$  zoals (5.3.5) en  $F, G$  als:

$$F(f_i(n_i)) = \begin{cases} \frac{(n_i + \dots + n_J)!}{n_i!} & \text{als } 0 \leq (n_i + \dots + n_J) \leq s_J, \\ s_i^{(n_i + \dots + n_J) - s_i} \cdot \frac{s_i!}{n_i!} & \text{als } n_i \leq s_i \leq (n_i + \dots + n_J), \\ s_i^{(n_i + \dots + n_J)} & \text{als } n_i \geq s_i, \end{cases}\quad (5.3.18)$$

$$G(f_i(n_i)) = \begin{cases} (n_i + \dots + n_J)! & \text{als } 0 \leq (n_i + \dots + n_J) \leq s_i, \\ s_i^{(n_i + \dots + n_J) - s_i} \cdot s_i! & \text{als } (n_i + \dots + n_J) \geq s_i. \end{cases}\quad (5.3.19)$$

Met  $i = \{1, 2, \dots, J\}$ .

Als de twee-na-laatste evenwichtsvergelijking aan elkaar gelijk wordt gesteld, kan de de een-na-laatste rij verplaatst worden naar de twee-na-laatste rij:

$$\begin{aligned}\pi(n_1, \dots, n_{J-1} + n_J, 0) &= \pi(n_1, \dots, n_{J-2} + 1, n_{J-1} + n_J - 1, 0) \cdot \frac{\mu_{J-2}}{\mu_{J-1}} \cdot \frac{f_{J-2}(n_{J-2} + 1)}{f_{J-1}(n_{J-1} + n_J)}, \\ &= \pi(n_1, \dots, n_{J-2} + n_{J-1} + n_J, 0, 0) \cdot \left(\frac{\mu_{J-2}}{\mu_{J-1}}\right)^{n_{J-1}} \cdot \frac{F(f_{J-2}(n_{J-2}))}{G(f_{J-1}(n_{J-1}))}.\end{aligned}\quad (5.3.20)$$

Vervolgens worden (5.3.17) en (5.3.20) gecombineerd:

$$\begin{aligned}\pi(n_1, \dots, n_J) &= \pi(n_1, \dots, n_{J-2} + n_{J-1} + n_J, 0, 0) \cdot K(F, G) \cdot \left(\frac{\mu_{J-2}}{\mu_{J-1}}\right)^{n_{J-1} + n_J} \cdot \left(\frac{\mu_{J-1}}{\mu_J}\right)^{n_J}, \\ &= \pi(n_1, \dots, n_{J-2} + n_{J-1} + n_J, 0, 0) \cdot K(F, G) \cdot \frac{1}{\mu_{J-1}^{n_{J-1}}} \cdot \frac{1}{\mu_J^{n_J}},\end{aligned}\quad (5.3.21)$$

$$K(F, G) = \frac{F(f_{J-1}(n_{J-1}))}{G(f_J(n_J))} \cdot \frac{F(f_{J-2}(n_{J-2}))}{G(f_{J-1}(n_{J-1}))}.\quad (5.3.22)$$

Deze stappen worden herhaald zodat alle rijen zijn verplaatst naar de eerste rij. Als de laatste evenwichtsvergelijking dan gelijk wordt gesteld, kan de wachtrij van de eerste rij uit het systeem worden gehaald. Waardoor een willekeurige situatie kan worden uitgedrukt m.b.v. de normalisatieconstante  $\pi(0, \dots, 0)$ .

$$\begin{aligned}\pi(n_1, \dots, n_J) &= \pi(n_1 + \dots + n_J, \dots, 0) \cdot K'(F, G) \cdot \mu_1^{n_1 + \dots + n_J} \frac{1}{\mu_2^{n_2}} \dots \frac{1}{\mu_J^{n_J}}, \\ &= \pi(n_1 + \dots + n_J - 1, \dots, 0) \cdot K''(F, G) \cdot \frac{\lambda}{\mu_1} \cdot \mu_1^{n_1 + \dots + n_J} \frac{1}{\mu_2^{n_2}} \dots \frac{1}{\mu_J^{n_J}}, \\ &= \pi(0, \dots, 0) \cdot K'''(F, G) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1 + \dots + n_J} \cdot \mu_1^{n_1 + \dots + n_J} \frac{1}{\mu_2^{n_2}} \dots \frac{1}{\mu_J^{n_J}}, \\ &= \pi(0, \dots, 0) \cdot K'''(F, G) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu_1}\right)^{n_1} \dots \left(\frac{\lambda}{\mu_J}\right)^{n_J}.\end{aligned}\quad (5.3.23)$$

Met  $K'$ ,  $K''$ , en  $K'''$  als:

$$K'(F, G) = \frac{F(f_1(n_1 + 1))}{G(f_2(n_2 + \dots + n_J))} \dots \frac{F(f_{J-2}(n_{J-2} + 1))}{G(f_{J-1}(n_{J-1} + n_J))} \cdot \frac{F(f_{J-1}(n_{J-1}))}{G(f_J(n_J))}\quad (5.3.24)$$

$$K''(F, G) = \frac{1}{f_1(n_1 + \dots + n_J)} \cdot K'(F, G),\quad (5.3.25)$$

$$K'''(F, G) = \frac{1}{H(f_1(n_1 + \dots + n_J))} \cdot K'(F, G).\quad (5.3.26)$$

Met  $H$  op de volgende manier:

$$H(f_1(n_1 + \dots + n_J)) = \begin{cases} (n_1 + \dots + n_J)! & \text{als } 0 \leq (n_1 + \dots + n_J) \leq s_1, \\ s_1^{(n_1 + \dots + n_J) - s_1} \cdot s_1! & \text{als } (n_1 + \dots + n_J) \geq s_1. \end{cases}\quad (5.3.27)$$

Er rest alleen nog de  $F, G$  en  $H$  uit te werken voordat er een algemene oplossing gegeven kan worden.



Zoals te zien is in (5.3.24) is  $K'''(F, G)$  een lange rationale functie bestaande uit  $F, G$  en  $H$ , van  $G(f_J(n_J))$  kan worden gelezen als:

$$G(f_J(n_J)) = \begin{cases} n_J! & \text{als } 0 \leq n_J \leq s_i, \\ s_J^{s_J - n_J} \cdot s_i! & \text{als } n_J \geq s_i. \end{cases} \quad (5.3.28)$$

Daarmee is die precies gelijk aan  $m(n_J)$  zoals gedefinieerd in (5.3.13). Vervolgens wordt de functie  $\frac{F(f_i(n_i))}{G(f_i(n_i))}$  uitgewerkt (Met F en G zoals (5.3.18) en (5.3.19)), waar vooral op de voorwaardes moet worden gelet.

$$\begin{aligned} \frac{F(f_i(n_i))}{G(f_i(n_i))} &= \begin{cases} \frac{(n_i + \dots + n_J)!}{n_i!} \frac{1}{(n_i + \dots + n_J)!} & \text{als } 0 \leq (n_i + \dots + n_J) \leq s_i, \\ s_i^{(n_i + \dots + n_J) - s_i} \cdot \frac{s_i!}{n_i!} \frac{1}{s_i^{(n_i + \dots + n_J) - s_i} \cdot s_i!} & \text{als } n_i \leq s_i \leq (n_i + \dots + n_J), \\ \frac{s_i^{(n_i + \dots + n_J)}}{s_i^{(n_i + \dots + n_J) - s_i} \cdot s_i!} & \text{als } n_i \geq s_i, \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{1}{n_i!} & \text{als } 0 \leq (n_i + \dots + n_J) \leq s_i, \\ \frac{1}{n_i!} & \text{als } n_i \leq s_i \leq (n_i + \dots + n_J), \\ \frac{1}{s_i^{(n_i - s_i) \cdot s_i!}} & \text{als } n_i \geq s_i. \end{cases} \end{aligned} \quad (5.3.29)$$

Met  $i = \{2, 3, \dots, J - 1\}$ .

Nu is er te zien dat de voorwaarde met  $(n_i + \dots + n_J)$  geen beperkende factor meer is (alle termen waar deze bepalend is zijn gelijk). Hieruit volgt dat het volgende geldt voor  $i = \{2, 3, \dots, J - 1\}$ :

$$\frac{F(f_i(n_i))}{G(f_i(n_i))} = \frac{1}{m(n_i)}. \quad (5.3.30)$$

Dit laat alleen de term  $\frac{F(f_1(n_1))}{H(f_1(n_1 + \dots + n_J))}$  over.

$$\begin{aligned} \frac{F(f_1(n_1))}{H(f_1(n_1 + \dots + n_J))} &= \begin{cases} \frac{(n_1 + \dots + n_J)!}{n_1!} \frac{1}{(n_1 + \dots + n_J)!} & \text{als } 0 \leq (n_1 + \dots + n_J) \leq s_1, \\ s_1^{(n_1 + \dots + n_J) - s_1} \cdot \frac{s_1!}{n_1!} \frac{1}{s_1^{(n_1 + \dots + n_J) - s_1} \cdot s_1!} & \text{als } n_1 \leq s_1 \leq (n_1 + \dots + n_J), \\ \frac{s_1^{(n_1 + \dots + n_J)}}{s_1^{(n_1 + \dots + n_J) - s_1} \cdot s_1!} & \text{als } n_1 \geq s_1, \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{1}{n_1!} & \text{als } 0 \leq (n_1 + \dots + n_J) \leq s_1, \\ \frac{1}{n_1!} & \text{als } n_1 \leq s_1 \leq (n_1 + \dots + n_J), \\ \frac{1}{s_1^{n_1 - s_1} \cdot s_1!} & \text{als } n_1 \geq s_1. \end{cases} \end{aligned} \quad (5.3.31)$$

Nu dit is opgemerkt kunnen alle termen van  $K'''(F, G)$  gelezen worden als:

$$K'''(F, G) = \prod_{i=1}^J \frac{1}{m(n_i)}. \quad (5.3.32)$$

Met

$$m(n_i) = \begin{cases} n_i! & \text{als } 0 \leq n_i \leq s_i, \\ s_i^{s_i - n_i} \cdot s_i! & \text{als } n_i \geq s_i. \end{cases}$$

Dit betekent dat een willekeurige situatie geschreven kan worden op de volgende manier.

$$\pi(n_1, n_2, \dots, n_J) = \pi(0, \dots, 0) \cdot \prod_{j=1}^J \left( \frac{\lambda}{\mu_j} \right)^{n_j} \frac{1}{m(n_j)}. \quad (5.3.33)$$

Deze uitdrukking voldoet aan alle evenwichtsvergelijkingen, waarmee er bewezen is dat een willekeurige situatie met (5.3.33) kan worden beschreven.

Tot slot moet er bewezen worden dat  $\pi(0, \dots, 0)$  ook gefactoriseerd kan worden per wachtrijproces. Gegeven dat alle kansen bij elkaar gelijk aan één moeten zijn, kan de nulsituatie worden geschreven als:

$$\begin{aligned} \pi(0, \dots, 0) &= \frac{1}{\sum_{n_1=0}^{\infty} \dots \sum_{n_J=0}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{\mu_1} \right)^{n_1} \frac{1}{m(n_1)} \dots \left( \frac{\lambda}{\mu_J} \right)^{n_J} \frac{1}{m(n_J)}}, \\ &= \frac{1}{\sum_{n_1=0}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{\mu_1} \right)^{n_1} \frac{1}{m(n_1)} \dots \sum_{n_J=0}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{\mu_J} \right)^{n_J} \frac{1}{m(n_J)}}, \\ &= \left[ \sum_{n_1=0}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{\mu_1} \right)^{n_1} \frac{1}{m(n_1)} \right] \dots \left[ \sum_{n_J=0}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{\mu_J} \right)^{n_J} \frac{1}{m(n_J)} \right]. \end{aligned} \quad (5.3.34)$$

Hiermee is bewezen dat een willekeurige situatie op de volgende manier kan worden geschreven:

$$\pi(n_1, n_2, \dots, n_J) = \prod_{j=1}^J \frac{\rho^{n_j}}{m(n_j)} \pi_j(0). \quad (5.3.35)$$

En daarmee ook dat alle processen onderling onafhankelijk zijn in een serieel netwerk van M/M/s processen.

### 5.3.3 Formules voor de verwachte wachttijden van een M/M/s proces

Gezien er bewezen is dat in een serieel netwerk, met M/M/s processen, de processen onderling onafhankelijk zijn, is het belangrijk om de wachttijden van een M/M/s proces te kunnen berekenen. In deze paragraaf worden de formules hiervoor afgeleid, eerst voor een M/M/1 proces en vervolgens voor een M/M/s proces.

**5.3.3.1 M/M/1 proces** De kans dat er een rij van  $n$  personen bij een M/M/1 proces staat wordt gegeven met de volgende vergelijking:

$$\pi(n) = (1 - \rho) \cdot \rho^n. \quad (5.3.36)$$

Waar  $\rho$  de bezettingsgraad  $\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)$  is van het M/M/1 proces. Om de verwachte wachttijd uit te rekenen is de verwachte rijlengte nodig:

$$E[L] = \sum_{n=0}^{\infty} (1 - \rho) \cdot \rho^n \cdot n = \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (5.3.37)$$

Dit laatste volgt uit het feit dat een meetkundige reeks convergeert als  $|\rho| < 1$ .

Tot slot kan met de formule van Little de verwachte wachttijd berekend worden:

$$E[W] = \frac{E[L]}{\lambda}. \quad (5.3.38)$$

**5.3.3.2 M/M/s proces** Zoals eerder bewezen is de kans op een bepaalde situatie in een serieel netwerk van M/M/s processen gegeven met de volgende formule:

$$\pi(n_1, n_2, \dots, n_J) = \prod_{j=1}^J \frac{\rho_j^{n_j}}{m(n_j)} \pi_j(0). \quad (5.3.39)$$

Met

$$m(n_j) = \begin{cases} n_j! & \text{als } 0 \leq n_j \leq s_j, \\ s_j^{n_j - s_j} \cdot s_j! & \text{als } n_j \geq s_j, \end{cases} \quad (5.3.40)$$

$$\pi_j(0) = \left( \sum_{n_j=0}^{s_j-1} \frac{\rho_j^{n_j}}{n_j!} + \frac{\rho_j^{s_j}}{s_j!} \frac{s_j}{s_j - \rho_j} \right)^{-1}. \quad (5.3.41)$$

Hieruit volgt dat de kans op een rij van  $n_j$  lang bij proces  $j$  wordt gegeven door de volgende formule:

$$\pi(n_j) = \begin{cases} \frac{\rho_j^{n_j}}{n_j!} \cdot \pi_j(0) & \text{als } 0 \leq n_j \leq s_j, \\ \frac{\rho_j^{n_j}}{s_j^{n_j - s_j} \cdot s_j!} \cdot \pi_j(0) & \text{als } n_j \geq s_j. \end{cases} \quad (5.3.42)$$

Uit de bovenstaande formule kan de formule voor de verwachte rijlengte worden afgeleid en vervolgens ook de formule voor de verwachte wachttijd:

$$\begin{aligned} E[L_j] &= \sum_{n_j=s_j}^{\infty} \frac{\rho_j^{n_j}}{s_j^{n_j - s_j} \cdot s_j!} \cdot \pi_j(0) \cdot (n_j - s_j), \\ &= \frac{s_j \cdot \rho_j^{s_j+1}}{s!(\rho_j - s_j)^2} \cdot \pi_j(0), \end{aligned} \quad (5.3.43)$$

$$E[W_j] = \frac{E[L_j]}{\lambda_j}. \quad (5.3.44)$$

#### 5.3.4 Formules voor de benadering van de wachttijd van een M/G/s proces

In 5.3.3 is de formule voor een M/M/s proces afgeleid, maar zoals eerder is gezegd, zijn de systemen niet M/M/s. Daarom wordt in deze paragraaf besproken hoe de wachttijden van een M/G/s proces kunnen worden benaderd. Het is goed om te weten dat een M/G/s proces geen analytische oplossing heeft, deze zal altijd benaderd moeten worden. Er zijn verschillende manieren om dit proces te benaderen, één van deze manieren zijn hieronder beschreven. Het grootste probleem bij het M/G/s proces is dat niets bekend is over het gedrag van de de bedieningstijden, daarom wordt in [4] de volgende variabele geïntroduceerd:

$$c_B^2 = \frac{SD^2[B]}{(E[B])^2}. \quad (5.3.45)$$

Hier is  $SD^2[B]$  de variantie van de bedieningstijd en  $E[B]$  de verwachte bedieningstijd. Dit levert ook meteen de eerste benadering op voor  $E[W_{M/G/s}]$ :

$$E[W_{M/G/s}] = \frac{1 + c_B^2}{2} \cdot E[W_{M/M/s}]. \quad (5.3.46)$$

Een simpele controle voor deze benadering is door de  $c_B^2$  van een exponentieel verdeelde bedieningstijd in te vullen:

$$\begin{aligned} E[exp] &= \frac{1}{\mu}, \\ SD^2[exp] &= \frac{1}{\mu^2}, \\ c_B^2(exp) &= \frac{\frac{1}{\mu^2}}{(\frac{1}{\mu})^2} = 1, \\ E[W_{M/G/s}] &= \frac{1+1}{2} \cdot E[W_{M/M/s}] = E[W_{M/M/s}]. \end{aligned} \quad (5.3.47)$$

## 5.4 Rekenmodel

In deze paragraaf zijn de modellen beschreven die gebruikt worden om de wachttijden te berekenen. Deze zijn opgedeeld in het Erlang-model, het M/G/s-model en de Queueing Network Analyzer (QNA). De QNA, [7], is een toepassing waarmee een netwerk van willekeurige wachtrijen (G/G/s) doorgerekend kan worden, hiervan is bewezen dat de benadering tot op enkele procenten dicht bij de werkelijkheid komt.

### 5.4.1 Wachttijden per proces berekenen

Zoals in 5.3 is laten zien, is de verwachte wachttijd van een donor gelijk is aan de wachttijd die de donor oploopt bij de onafhankelijke processen die hij/zij doorloopt. Dit vertaalt zich in de onderstaande formules.

$$E[W_p] = E[W_1] + E[W_3] + E[W_4], \quad (5.4.1)$$

$$E[W_{vb}] = E[W_1] + E[W_3] + E[W_5], \quad (5.4.2)$$

$$E[W] = E[W_1] + E[W_3] + E[W_{4,5}]. \quad (5.4.3)$$

Er wordt hier onderscheid gemaakt in modelberekeningen  $E[W_p]$  en  $E[W_{vb}]$ , waar het afnameproces wordt gemodelleerd met bedden als servers, waardoor er verschillende wachttijden komen voor plasmadonoren en volbloeddonoren en  $E[W]$  waar het afnameproces wordt gemodelleerd met medewerkers als servers.

### 5.4.2 De Queueing Network Analyzer

De QNA [7] is een algemene benaderingsmethode voor netwerken van G/G/s wachtrijen. Dit is in eerste instantie net een ander model dan wat er eerder gebruikt is in dit verslag (M/G/s model), maar door ervan uit te gaan dat de verhouding tussen de standaardafwijking en het verwachte aankomstinterval gelijk is aan één, wordt een G/G/s model een M/G/s model (een dergelijke redenering is te vinden in 5.3.4). De QNA zal niet alleen als M/G/s model worden

gebruikt in het model, deze zal ook worden gebruikt om de variantie in de aankomstintensiteit te veranderen (aangezien plasmadonoren op afspraak komen en daarmee een lage variabiliteit in de aankomsten hebben). Om meer inzicht te krijgen in het QNA model is in 5.4.2.1 het standaard algoritme gegeven.

**5.4.2.1 QNA Algoritme** Dit is het algoritme zoals weergegeven in [9].

**Stap 1**

Bereken de gecombineerde aankomstintensiteiten bij wachtrij  $j$ ,  $\lambda_j$ :

$$\lambda_j = \gamma_j + \sum_{i=1}^J \lambda_i r_{ij}, \quad (5.4.4)$$

Hier is  $\gamma_j$  de aankomstintensiteit van buiten het systeem bij wachtrij  $j$  en  $r_{ij}$  is de kans dat een klant van wachtrij  $i$  naar wachtrij  $j$  gaat.

**Stap 2**

Bereken de bezettingsgraad op een server bij wachtrij  $j$ ,  $\phi_j$ :

$$\phi_j = \frac{\lambda_j \cdot E[S_j]}{s_j}, \quad (5.4.5)$$

Hier is  $S_j$  de bedieningstijd van een server bij wachtrij  $j$  en  $s_j$  het aantal servers bij wachtrij  $j$ .

**Stap 3**

Bereken de stroom van wachtrij  $i$  naar wachtrij  $j$ ,  $\lambda_{ij}$ :

$$\lambda_{ij} = \lambda_i r_{ij}, \quad (5.4.6)$$

en de fractie van aankomsten bij wachtrij  $j$  die komen van wachtrij  $i$ ,  $q_{ij}$ :

$$q_{0j} = \frac{\gamma_j}{\lambda_j}, \quad q_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_j}. \quad (5.4.7)$$

Hier is  $q_{0j}$  de fractie van externe aankomsten bij wachtrij  $j$ .

**Stap 4**

Bereken de squared coefficient variable (*scv*) voor het aankomstproces bij wachtrij  $j$ ,  $c_{A,j}^2$ :

$$c_{A,j}^2 = a_j + \sum_{i=1}^J c_{A,i}^2 b_{ij}, \quad \text{met} \quad (5.4.8)$$

$$a_j = 1 + w_j \left[ (q_{0j} c_{0j}^2 - 1) + \sum_{i=1}^J q_{ij} ((1 - r_{ij}) + r_{ij} \phi_i^2 x_i) \right], \quad (5.4.9)$$

Hier is  $c_{0j}^2$  de *scv* van het externe aankomsten proces bij wachtrij  $j$ , en

$$x_i = 1 + \frac{1}{\sqrt{m_i}}(\max(c_{S,i}^2, \frac{1}{5}) - 1), \quad (5.4.10)$$

Waar  $c_{S,i}^2$  de *scv* is van het service proces bij wachtrij  $i$ . De resterende variabelen zijn gegeven door:

$$b_{ij} = w_j \cdot q_{ij} \cdot r_{ij}(1 - \phi_i^2), \quad (5.4.11)$$

$$w_j = [(1 + 4(1 - \phi_j)^2(\eta_j - 1))]^{-1}, \quad (5.4.12)$$

$$\eta_j = \left[ \sum_{i=0}^J q_{ij}^2 \right]^{-1}. \quad (5.4.13)$$

**Stap 5** Tot slot is de verwachte wachttijd bij wachtrij  $j$ ,  $E[W_j]$ , gegeven door:

$$E[W_j] = \frac{(c_{A,j}^2 + c_{S,j}^2)}{2} E[W_{M/M/s}]. \quad (5.4.14)$$

## 6 Validatie model

In dit hoofdstuk worden de aannames en modellen gevalideerd.

### 6.1 Model vergelijken met de QNA

Het M/G/s model zoals gegeven in 5.4.1 zal worden vergeleken met de QNA. Het QNA algoritme kan de wachttijden van een netwerk met M/G/s modellen goed benaderen. Als de uitkomsten van het model overeen komen met de uitkomsten van de QNA kan er aangenomen worden dat het model goed werkt. Er moet gekeken worden naar twee situaties. De situatie waarbij er twee medewerkers bij de keuring aanwezig zijn en de situatie met drie medewerkers bij de keuring.

Eerst zal er gekeken worden naar de situatie met twee medewerkers bij de keuring en dus twee open keuringskamers. De QNA geeft in tabel 6.1 de wachttijden bij de situatie met twee open keuringskamers.

Model	Wachttijd balie (min:sec)	Wachttijd keuring (min:sec)	Wachttijd afname plasma (min:sec)	Wachttijd afname volbloed (min:sec)
QNA	0:04	3:42	0:12	0:07
M/G/s model	0:04	3:42	0:12	0:09

Tabel 6.1: Vergelijken met twee keuringskamers

Uit de tabellen hierboven is te zien dat de wachttijden uit de QNA en het model redelijk overeen komen. Alleen bij de afname is er een minimaal verschil, deze werkt door op de totale wachttijd. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat het model een goed representatie is van de QNA. Er moet echter ook nog naar de situatie met drie medewerkers worden gekeken.

In tabel 6.2 staan de wachttijden van de QNA bij de verschillende processen, dit met drie open keuringskamers en dus drie medewerkers bij de keuring.

Model	Wachttijd balie (min:sec)	Wachttijd keuring (min:sec)	Wachttijd afname plasma (min:sec)	Wachttijd afname volbloed (min:sec)
QNA	0:04	0:29	0:13	0:07
M/G/s model	0:04	0:29	0:12	0:09

Tabel 6.2: Vergelijken met drie keuringskamers

Ook hier liggen de wachttijden dicht bij elkaar. Het enige verschil zit hier in de wachttijden bij de afname. Dit verschil werkt ook hier door naar de totale wachttijd.

In beide situaties zijn de verschillen tussen het model en de QNA minimaal. Hierdoor is nu gebleken dat er een model is, met uitkomsten ongeveer gelijk aan de uitkomsten bij de QNA. Vanaf nu zal er gerekend worden met het model, tenzij het anders is aangegeven.

## 6.2 Model vergelijken met de werkelijkheid

Er zal ook nog moeten worden gekeken of het model een goede representatie is van de werkelijkheid. Van de werkelijkheid zijn weinig gegevens bekend. Wel zijn er algemene gegevens bekend over de wachttijden bij de verschillende processen. De verhouding tussen deze wachttijden kunnen vergeleken worden met de wachttijden van het model. Het knelpunt zit in de werkelijkheid bij de keuring. De wachttijd voor de keuring is een factor twee tot drie groter dan de wachttijden voor de overige processen. Hierbij is niet vermeld of er gewerkt wordt met twee of drie medewerkers bij de keuring. Ook bij het model is deze verhouding aanwezig. De wachttijd voor de keuring is hier vele malen groter dan de wachttijd voor de overige processen. Hierbij hangt de hoeveelheid werknemers bij de keuring wel van de grootte af. Bij drie keuringsmedewerkers is de wachttijd bij de keuringskamers een factor drie groter dan de wachttijden voor de afnames. Bij twee keuringsmedewerkers is deze wachttijd wel 20 maal groter. Hierbij is niet gekeken naar het verschil in wachttijden tussen de keuring en de balie, voor de wachttijden bij de balie is in het model een kleinere waarde aangenomen dan is gegeven in de rapporten van Sanquin. Ook bij het model zit het knelpunt bij de keuring. De wachttijden in het model zullen zich verder op dezelfde manier gedragen als in de werkelijkheid. Hieruit wordt geconcludeerd dat het model een goede representatie is van de werkelijkheid.

## 6.3 Afname proces

Zoals besproken in paragraaf 5.2 zijn er meerdere manieren om het afname proces te modeleren, in deze paragraaf wordt er besproken welke het meest realistisch is.

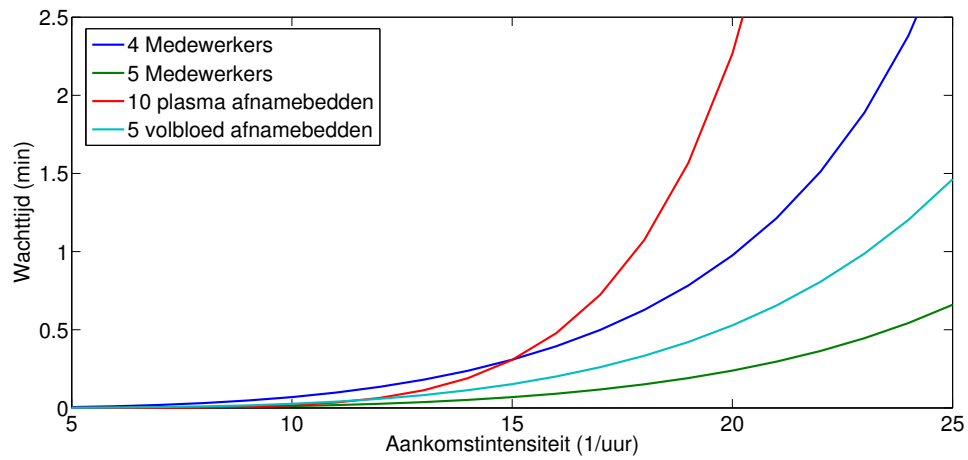
### 6.3.1 Vergelijking

Tijdens de metingen bij Sanquin Zwolle zijn er bijna geen wachttijden geweest voor de afname, maar als een donor heeft gewacht (enkele minuten), was dit niet omdat alle bedden vol waren. Dit betekent dat de medewerkers deze donor niet kunnen vastkoppelen. Om te kijken of de medewerkers een grotere beperkende factor zijn bij de afname dan de bedden zijn de bedieningstijden bepaald en vervolgens zijn voor beide situaties de wachttijden uitgezet tegen de aankomstintensiteiten (figuur 6.1).

Parameter	Waarde	(eenheid)	Parameter	Waarde	(eenheid)
$\lambda_{4,5}$	0.22	$\text{min}^{-1}$	$E[\frac{1}{\mu_{4,5}}]$	8,22	min
$\lambda_4$	0.11	$\text{min}^{-1}$	$E[\frac{1}{\mu_4}]$	47,07	min
$\lambda_5$	0.12	$\text{min}^{-1}$	$E[\frac{1}{\mu_5}]$	16,41	min
$s_{4,5}$	{4,5}	-	$SD[\frac{1}{\mu_{4,5}}]$	1,41	min
$s_4$	10	-	$SD[\frac{1}{\mu_4}]$	8,31	min
$s_5$	5	-	$SD[\frac{1}{\mu_5}]$	5,5	min

Tabel 6.3: Gebruikte parameters





Figuur 6.1: Verwachte wachttijd uitgezet tegen aankomstintensiteiten

In figuur 6.1 is goed te zien dat er niet veel verschil is in de wachttijden, de wachttijd bij de plasmabedden gaat wel het snelst omhoog, maar gezien deze weinig variantie heeft in de aankomstintensiteit (plasmadonoren komen op afspraak) is dit resultaat niet heel representatief.

### 6.3.2 Conclusie

Er is geen uitsluitsel te geven over welke situatie het meest beperkend is en daarmee ook welke situatie het beste te gebruiken is voor het model.

## 7 Analyse van mogelijke verbeteringen

Vanuit Sanquin is de vraag geweest of het voor de lengte van de wachttijden uitmaakt of de bloedmetingen eerder in het proces worden uitgevoerd. Er zijn verschillende mogelijkheden om deze metingen te verplaatsen. Deze mogelijkheden worden in 7.2 en 7.3 beschreven. Naast deze scenario's om de wachttijden te verkorten, wordt er vanaf 7.4 ook gekeken naar andere scenario's. Zo zal het splitsen van de groepen donoren, het verkorten van de openingstijden en het afspraken plannen op rustige momenten worden geanalyseerd. Maar eerst wordt uitgelegd wat bedoeld wordt met 'huidige situatie'.

### 7.1 Huidige situatie

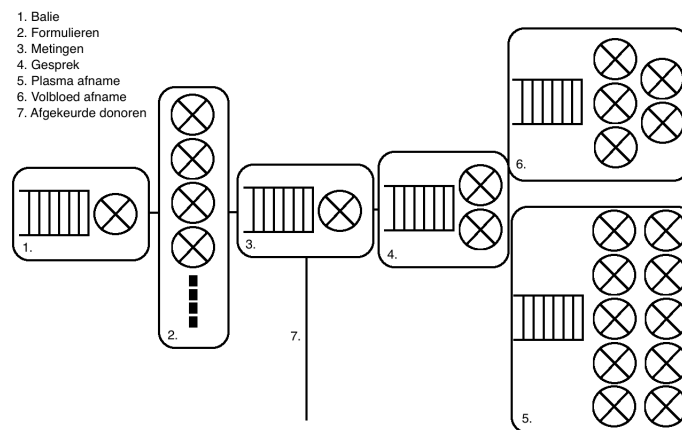
De huidige situatie kan op twee manieren worden bekeken. De eerste is dat er twee medewerkers met de keuring bezig zijn. De tweede is dat er drie medewerkers met de keuring bezig zijn. Er is een verschil gemaakt tussen deze situaties, dit om te illustreren dat de huidige situatie een hele goede situatie is als er drie medewerkers bij de keuring zijn (gezien dit nog niet voldoende gebeurt, zoals geconcludeerd in paragraaf 4.5) en om te laten zien dat er nog veel te verbeteren is ten opzichte van de situatie als er maar twee medewerkers met de keuring bezig zijn.

Gezien paragraaf 6.3 geen uitsluitsel heeft gegeven over welke manier van modelleren het beste is, zal voor de rest van het verslag met beide manieren rekening worden gehouden.

### 7.2 Metingen voordat het gesprek begint

#### 7.2.1 Scenario beschrijving

Wat er feitelijk gebeurt in deze situatie is dat er een medewerker in de wachtkamer de metingen gaat doen. Dit levert een extra proces op in het systeem, zie figuur 7.1.



Figuur 7.1: Situatie bij meting voor het gesprek

## 7.2.2 Analyse scenario

Wat er in dit scenario gebeurt is dat het keuringsproces wordt opgebroken in twee verschillende processen, het meting-proces en het gesprek-proces. Beide processen worden nog steeds gezien als een M/G/s proces, uit de formule van het rekenmodel volgen dan de volgende formules voor de wachttijden voor het scenario:

$$\begin{aligned}E[W'_p] &= E[W'_1] + E[W'_{3,1}] + E[W'_{3,2}] + E[W'_4], \\E[W'_{vb}] &= E[W'_1] + E[W'_{3,1}] + E[W'_{3,2}] + E[W'_5].\end{aligned}$$

In het scenario gedragen de balie- en de afnameprocessen zich precies hetzelfde als in de originele situatie. Het verschil hangt alleen af van de wachttijden van het keuringsproces (proces drie) van het scenario en het keuringsproces van de originele situatie en het maakt niet uit of de donor een plasma- of volbloeddonatie doet. Dit vereenvoudigt het vergelijken tot alleen het keuringsproces. Het verschil in de wachttijden tussen de originele situatie en het scenario wordt dan als volgt:

$$\begin{aligned}E[W_p] - E[W'_p] &= E[W_1] + E[W_3] + E[W_4] - (E[W'_1] + E[W'_{3,1}] + E[W'_{3,2}] + E[W'_4]), \\&= E[W_1] + E[W_3] + E[W_4] - (E[W_1] + E[W'_{3,1}] + E[W'_{3,2}] + E[W_4]), \\&= E[W_3] - E[W'_{3,1}] - E[W'_{3,2}].\end{aligned}\tag{7.2.1}$$

Op dezelfde manier:

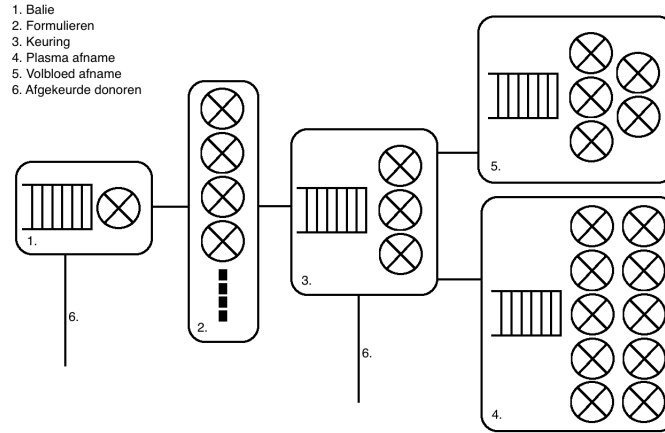
$$E[W_{vb}] - E[W'_{vb}] = E[W_3] - E[W'_{3,1}] - E[W'_{3,2}].\tag{7.2.2}$$

Het keuringsproces bestaat in het scenario uit een M/G/1 proces met een bedieningstijd van beide metingen bij elkaar opgeteld en een M/G/2 of M/G/1 proces die als bedieningstijd de gesprekstijd heeft.

## 7.3 Meting bij/voor de balie

### 7.3.1 Scenario beschrijving

Bij deze situatie wordt er vanuit gegaan dat het mogelijk is om de HB-meting bij de balie te doen. Dit betekent dat donoren die niet in aanmerking komen om die dag te doneren minder lang hoeven te blijven.



Figuur 7.2: Situatie bij meting bij de balie

Gezien er hier veranderingen plaatsvinden aan de aankomsten van de donoren, zal voor deze situatie het gehele proces doorgerekend moeten worden.

### 7.3.2 Analyse scenario

In dit scenario wordt de HB-meting naar de balie gehaald, dit betekent dat de bedieningstijd bij de balie omhoog gaat en er bij de balie donoren worden afgekeurd. Dit levert de volgende formule op voor de wachttijd in het scenario:

$$E[W'_p] = E[W'_1] + E[W'_3] + E[W'_4], \quad (7.3.1)$$

$$E[W'_{vb}] = E[W'_1] + E[W'_3] + E[W'_5]. \quad (7.3.2)$$

Er blijven, vergeleken met de originele situatie, evenveel mensen bij de afname processen van plasma en volbloed aankomen, daaruit volgt:

$$E[W'_4] = E[W_4], \quad (7.3.3)$$

$$E[W'_5] = E[W_5]. \quad (7.3.4)$$

$$(7.3.5)$$

Op dezelfde manier als gedaan in 7.2.2 volgt uit de bovenstaande gelijkheden:

$$E[W_p] - E[W'_p] = E[W_{vb}] - E[W'_{vb}] = E[W_1] + E[W_3] - (E[W'_1] + E[W'_3]). \quad (7.3.6)$$

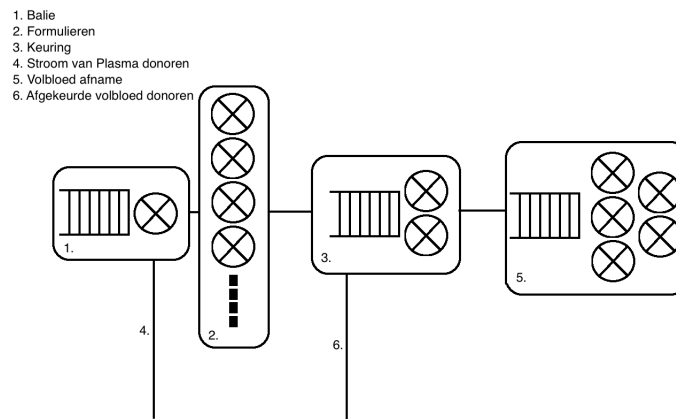
In dit scenario zal alleen gekeken worden naar proces één en proces drie (balie & keuring).

Proces één in het scenario is nu een M/G/1 proces met als enige verschil een hogere bedieningstijd, proces drie is in het scenario een M/G/2 of M/G/3 proces met een lagere bedieningstijd en een lagere aankomstintensiteit.

## 7.4 Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop

### 7.4.1 Scenario beschrijving

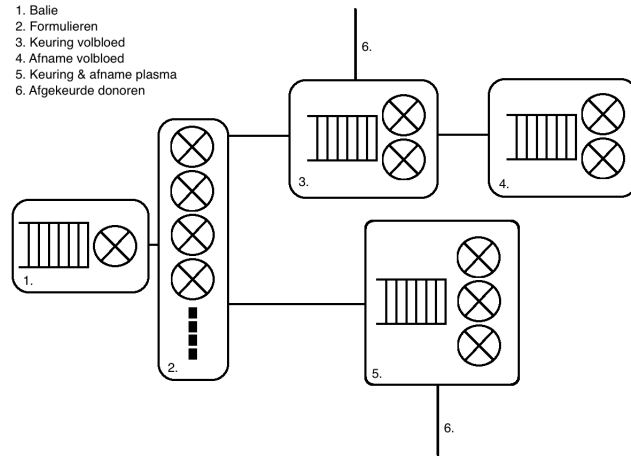
In dit scenario worden er voor de plasmadonoren, de donoren die op afspraak komen, speciaal medewerkers toegewezen. Deze medewerkers zullen niet meer bij het volbloedproces helpen, maar zullen zich alleen richten op het plasmaproces. Er zijn meerdere manieren om dit te bekijken, de eerste manier is geïllustreerd in figuur 7.3, hier worden alleen bij de keuring de medewerkers verdeeld over het plasma systeem en het volbloed systeem.



Figuur 7.3: Situatie één bij splitsing donoren

Een andere mogelijkheid is om te gaan schuiven met de medewerkers, hiervoor is een ander model nodig dan bij de andere scenario's is gebruikt, dit model wordt later besproken. Er zijn meerdere manieren om de medewerkers te verdelen, de verdeling die te zien is in figuur 7.4, is als volgt:

- één medewerker bij de balie
- drie medewerkers helpen met het keuren en de afname van de plasmadonoren
- twee medewerkers keuren de volbloeddonoren
- twee medewerkers helpen met de afname van de volbloeddonoren



Figuur 7.4: Situatie twee bij splitsing donoren

De medewerkers die plasmadonoren helpen, begeleiden één donor door het gehele proces. Er zijn nog meer verdelingen te verzinnen, dit zal in hoofdstuk 8.4 besproken worden.

### 7.4.2 Analyse scenario

In dit scenario verandert de structuur van het gehele proces, dit betekent dat het gehele proces opnieuw bekeken moet worden. In eerste instantie wordt de situatie vergeleken waar er alleen wordt geschoven met de keuringsmedewerkers, vervolgens worden er enkele verdelingen getest waar de medewerkers zijn ingedeeld als of plasmamedewerker of volbloedmedewerker. Bij dit scenario veranderen de aankomstintensiteiten:

$$\lambda_p = d \cdot \lambda_1, \quad (7.4.1)$$

$$\lambda_{vb} = (1 - d) \cdot \lambda_1. \quad (7.4.2)$$

Waar  $\lambda_p$  de aankomstintensiteit van de plasmadonoren en  $\lambda_{vb}$  de aankomstintensiteit van de volbloeddonoren is. Van alle donoren is  $d$  het gedeelte plasmadonoren.

In de eerste situatie verandert de hoeveelheid medewerkers (servers) bij de keuring van het volbloed systeem (1 of 2) en van het plasma systeem (1).

Bij de tweede situatie verandert het volgende:

- Een medewerker blijft een donor helpen door het gehele proces of alleen bij de keuring/afname (één groot proces of twee losse processen).<sup>1</sup>
- De hoeveel medewerkers bij elk proces.
- De berekening van de wachttijd:

$$E[W'_{p,totaal}] = E[W_1] + E[W'_p], \quad (7.4.3)$$

$$E[W'_{vb,totaal}] = E[W_1] + E[W'_{vb}]. \quad (7.4.4)$$

Gezien er bij de balie geen verandering is, zal de wachttijd bij de balie niet mee worden genomen in de vergelijking.

Tot slot zal bij het systeem voor de plasmadonoren rekening gehouden worden met het feit dat de plasmadonoren op afspraak komen en daarom een relatief constant aankomstpatroon per uur hebben met weinig variantie. Daarom zal voor dit systeem de QNA gebruikt worden, gezien bij de QNA met de variantie van de aankomsten kan worden gevarieerd. Deze kan bij de QNA daardoor ook heel klein genomen worden.

## 7.5 Openingstijden verminderen

### 7.5.1 Scenario beschrijving

Er zijn dagen dat er heel weinig donoren langskomen, maar omdat het mogelijk is dat er veel donoren aankomen, kunnen er niet minder medewerkers aanwezig zijn. Wanneer Sanquin op de dag die over het algemeen het rustigst is niet meer open gaat, dan moeten de mensen die op deze dag langs zouden komen op een andere dag langskomen. Ook betekent dit dat er acht medewerkers een dag extra vrij zijn. Deze medewerkers kunnen echter op een andere dag ingezet worden. Hierdoor zullen, door één dag in de week dicht te gaan, extra medewerkers beschikbaar zijn voor de overige dagen. Er zullen ook meer donoren langskomen op de andere dagen, maar misschien weegt dat niet op tegen de extra werkkracht die erbij is gekomen. Voor dit scenario is het handig om alle processen te modelleren met medewerkers als servers.

### 7.5.2 Analyse scenario

Gezien de aankomstintensiteit verandert, verandert het gehele systeem voor dit scenario, ook zijn er meer servers (medewerkers) beschikbaar. Deze veranderingen leveren de volgende formule op voor de wachttijden:

$$E[W'] = E[W'_1] + E[W'_3] + E[W'_{4,5}]. \quad (7.5.1)$$

Er is maar één formule voor de wachttijd, gezien het afnameproces nu gemodelleerd wordt met medewerkers als server. Verder verandert het aantal medewerkers en de hoeveelheid arriverende donoren op een dag. Gezien er per dag acht medewerkers acht uur lang worden ingezet, kunnen er per dag twee extra medewerkers worden ingezet (totaal 16 uur per dag). De hoeveelheid arriverende donoren wordt gegeven met de volgende vergelijkingen:

$$\begin{aligned} TD_n &= TD + \frac{TD}{4}, \\ \lambda_1 &= \frac{TD}{8 \cdot 60}, \\ \lambda'_1 &= \frac{5}{4} \cdot \lambda_1. \end{aligned} \quad (7.5.2)$$

Hier is  $TD$  het aantal arriverende donoren op een dag in de huidige situatie,  $TD_n$  het aantal arriverende donoren per dag in het scenario en  $\lambda'_1$  de aankomstintensiteit in het scenario.

---

<sup>1</sup>Het combineren van het keuringsproces en het afnameproces bij volbloeddonoren zal waarschijnlijk niet mogelijk zijn in de werkelijkheid, de redelijkheid van de scenario's wordt later in hoofdstuk 9.4 besproken.

## **7.6 Speciaal bed voor de flauwvallers**

### **7.6.1 Scenario beschrijving**

In het originele model is het mogelijk dat er een server 'kapot gaat', ofwel dat er iemand flauwvalt en voor een bepaalde tijd een bed bezet houdt. Als er voor de flauwvallers een speciaal bed zou zijn, dan blijft de hoeveelheid servers in het proces altijd gelijk, wat mogelijk leidt tot een wachttijdverkorting. Hiervoor zal het gehele proces geanalyseerd worden.

### **7.6.2 Analyse scenario**

Voor dit scenario is het niet goed mogelijk om te laten zien dat dit in het algemeen kortere wachttijden oplevert, gezien de kans op een flauwvaller niet zo groot is. Daarom wordt er in dit scenario vanuit gegaan dat er iemand is flauwgevallen en dat deze een bed bezet houdt. Dit wordt vergeleken met de situatie waarbij de flauwvaller geen bed bezet houdt.

Om het verschil te laten zien tussen deze situaties worden proces vier en proces vijf gemodelleerd als twee M/G/s-modellen met respectievelijk negen, tien en vier, vijf servers, waar de bedieningstijden niet gecorrigeerd hoeven te worden met een flauwval factor. De aankomstintensiteiten zijn hetzelfde als in de originele situatie.

## **7.7 Afspraken plannen op rustige momenten**

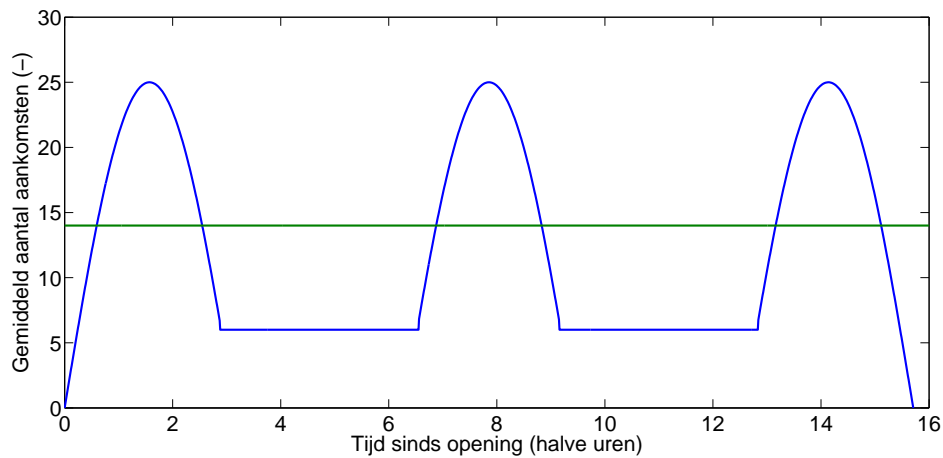
### **7.7.1 Scenario beschrijving**

In de huidige situatie worden er al afspraken gemaakt met plasmadonoren. Wanneer deze afspraken worden afgestemd op de piekmomenten van de volbloeddonoren, zal er minder variantie zijn in de aankomsten. Minder variantie betekent minder hoge pieken en daarmee minder momenten waar er in één keer veel donoren binnen komen lopen.

### **7.7.2 Analyse scenario**

In dit scenario verandert alleen de variantie van het aankomst-proces. Dat wil zeggen dat tijdens de pieken van de volbloeddonoren geen plasmadonoren worden ingepland, zie figuur 7.5.





Figuur 7.5: Aankomsten op een dag

Deze verandering kan niet goed worden weergegeven in een M/G/s-model gezien in dat model het aankomstproces Poisson wordt genomen. De verandering zal daarom met de QNA worden weergegeven. In de QNA kan de variantie van het aankomstproces naar beneden gehaald worden. Dit is goed te zien in de laatste formule van het QNA algoritme (5.4.14):

$$E[W_j] = \frac{(c_{A,j}^2 + c_{S,j}^2)}{2} E[W_{M/M/s}].$$

Deze formule laat het effect van dit scenario goed zien, gezien  $c_{A,j}^2$  in de huidige situatie gelijk is aan één en in dit scenario zal die kleiner zijn dan één. Gezien de aankomstintensiteit verandert voor het gehele proces, zal bij dit scenario het gehele proces worden geanalyseerd.

## 8 Resultaten

In dit hoofdstuk gebruiken we het M/G/s rekenmodel tenzij anders is vermeld.

### 8.1 Huidige situatie

Hier wordt er gekeken naar de huidige situatie. Met de waarden zoals deze in werkelijkheid zijn, zal hier de wacht- en doorlooptijden van de werkelijkheid uit moeten komen. Er wordt gekeken naar het gehele proces.

Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$k$	92,9	%	$SD[\frac{1}{\mu_1}]$	0,5	min
$k_p$	96,0	%	$SD[\frac{1}{\mu_2}]$	0	min
$k_{vb}$	90	%	$SD[\frac{1}{\mu_3}]$	3,1	min
$d$	$\frac{24}{50}$	-	$SD[\frac{1}{\mu_4}]$	8,31	min
$s_1$	1	-	$SD[\frac{1}{\mu_5}]$	5,50	min
$s_3$	{2, 3}	-	$SD[\frac{1}{\mu_{4,5}}]$	1,41	min
$s_4$	10	-	$\lambda_1$	0,24	min <sup>-1</sup>
$s_5$	5	-	$\lambda_2$	0,24	min <sup>-1</sup>
$s_{4,5}$	{4, 5}	-	$\lambda_3$	0,24	min <sup>-1</sup>
$\mu_1$	2	min <sup>-1</sup>	$\lambda_4$	0,11	min <sup>-1</sup>
$\mu_2$	$\frac{1}{5}$	min <sup>-1</sup>	$\lambda_5$	0,12	min <sup>-1</sup>
$\mu_3$	$\frac{1}{5,87}$	min <sup>-1</sup>	$\lambda_{4,5}$	0,22	min <sup>-1</sup>
$\mu_4$	$\frac{1}{47,07}$	min <sup>-1</sup>			
$\mu_5$	$\frac{1}{16,41}$	min <sup>-1</sup>			
$\mu_{4,5}$	$\frac{1}{8,22}$	min <sup>-1</sup>			

Tabel 8.1: Gebruikte parameters

Waarbij  $k$  het percentage donoren is dat daadwerkelijk bloed afgeeft en  $d$  de kans dat een donor een plasmadonor is. Verder is  $s_i$  het aantal servers bij station  $i$ ,  $\mu_i$  het aantal bediende donoren per minuut bij station  $i$ ,  $Var[\frac{1}{\mu_i}]$  de variantie van de bedieningstijd bij proces  $i$  en  $\lambda_i$  het aantal aankomsten bij station  $i$  per minuut. Met proces (4, 5) wordt het afnameproces bedoeld, gemodelleerd met medewerkers als server.

## Resultaten

# Servers bij keuring	Wachttijd balie (min:sec)	Wachttijd keuring (min:sec)	Wachttijd afname (min:sec)	Bezettingsgraden $b, k, a (a')$ (%)	Wachttijd totaal (min:sec)
Plasma					
$s_3=2$	0:04	3:47	0:12 (0:03)	12, 70, 52 (36)	4:03 (4:06)
$s_3=3$		0:29	0:12 (0:15)	12, 47, 52 (45)	0:46 (0:49)
Volbloed					
$s_3=2$	0:04	3:47	0:08 (0:03)	12, 70, 39 (36)	3:59 (4:02)
$s_3=3$		0:29	0:08 (0:15)	12, 47, 39 (45)	0:41 (0:48)

Tabel 8.2: Wachttijden huidige situatie

Wat op het eerste gezicht logisch lijkt volgt ook uit de waarden in tabel 8.2. De wachttijden voor de beide donoren gaan flink naar beneden als er een extra keuringskamer open gaat. In de scenario's hieronder, zullen de nieuwe waarden vergeleken worden met de waarden die hierboven staan gegeven.

### 8.2 Metingen voordat het gesprek begint

In dit scenario moet er gebruik gemaakt worden van de data die zijn verkregen vanuit de donorformulieren (door de arts ingevuld <sup>2</sup>). De originele situatie zal daardoor ook iets anders zijn dan gegeven. Verder wordt hier alleen naar het keuringsproces bekeken, gezien dit proces het enige is dat veranderd.

Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$\lambda$	0,24	$\text{min}^{-1}$	$s_3$	=	{2,3}
$E[S_3]$	7,03	min	$s'_{3,1}$	=	1
$E[S'_{3,1}]$	2,64	min	$s'_{3,2}$	=	{1,2}
$E[S'_{3,2}]$	4,39	min	$k$	=	92,9 %
$SD[S_3]$	2,8	min			
$SD[S'_{3,1}]$	1,06	min			
$SD[S'_{3,2}]$	2,59	min			

Tabel 8.3: Gebruikte parameters

Met  $s'_{3,i}$  wordt het aantal servers bij het  $i^e$  proces bedoeld in het nieuwe scenario.

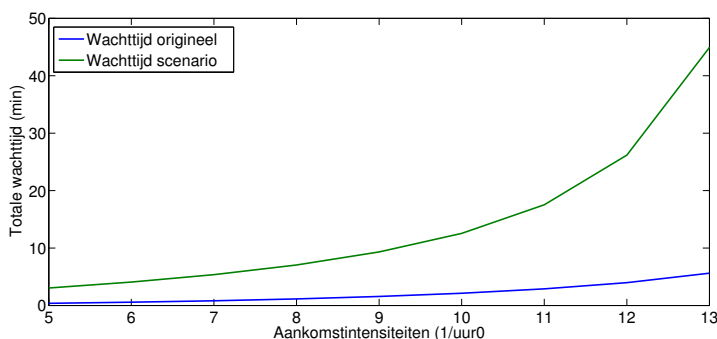
<sup>2</sup>Er is eerder geconcludeerd dat de data van de dokter preciezer is.

## Resultaten

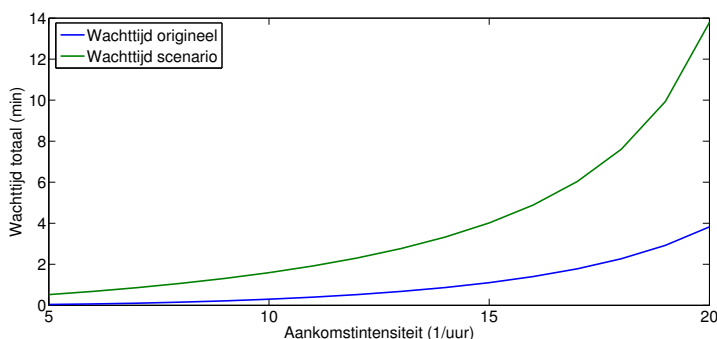
# Servers bij keuring	Wachttijd proces 3 <sub>1</sub> (min:sec)	Wachttijd proces 3 <sub>2</sub> (min:sec)	Totale wachttijd scenario (min:sec)	Wachttijd huidige situatie (min:sec)	Bezettingsgraad 3 <sub>1</sub> , 3 <sub>2</sub> , 3 (%)
2	2:39	136:30	13:09	10:03	63, 75, 84
3	2:39	0:56	3:35	0:58	63, 37, 56

Tabel 8.4: Wachttijden metingen voordat het gesprek begint

Zoals te zien is in tabel 8.4 heeft dit scenario geen kortere wachttijd. Om te kijken of dit een algemeen resultaat is, zijn in figuren 8.1 en 8.2 de wachttijden uitgezet tegen de aankomstintensiteit, in het geval met twee en drie servers beschikbaar.



Figuur 8.1: 2 servers



Figuur 8.2: 3 servers

Zoals goed te zien is in figuren 8.1 en 8.2 levert dit scenario een verhoging in wachttijden op.

### 8.3 Meting bij/voor de balie

In dit scenario wordt de HB-meting naar de balie gehaald, dit levert dus extra servicetijd op bij de balie. Er wordt gewerkt onder de aanname dat het grootste deel van de afkeuringen komt door een afwijkende HB-waarde. Verder zal alleen het proces bij de balie en het keuringsproces bekeken worden, aangezien alleen hier veranderingen plaatsvinden. Zoals in paragraaf 8.2 is

gedaan zal ook hier gebruik gemaakt moeten worden van de metingen.

Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$\lambda$	0,24	$\text{min}^{-1}$	$s_1$	1	-
$E[S_1]$	0,5	min	$s_3$	{2, 3}	-
$E[S_3]$	7,03	min	$s'_1$	1	-
$E[S'_1]$	1,86	min	$s'_3$	{2, 3}	-
$E[S'_3]$	5,75	min	$k_{HB}$	94	%
$SD[S_1]$	0,5	min			
$SD[S_3]$	2,8	min			
$SD[S'_1]$	0,87	min			
$SD[S'_3]$	2,66	min			

Tabel 8.5: Gebruikte parameters

Hier is  $k_{HB}$  het percentage wat door de HB-meting komt.

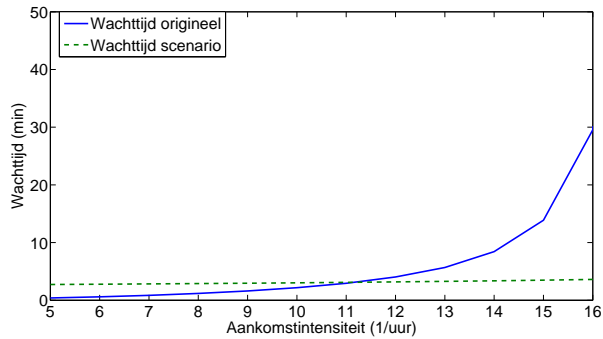
## Resultaten

	Wachttijd huidige situatie (min:sec)	Wachttijd scenario (min:sec)	Bezettingsgraad (%)
Balie	0:04	0:53	12, 45
Keuring (3 servers)	0:58	0:21	56, 46
Totaal	1:02	1:14	
Balie	0:04	0:53	12, 45
Keuring (2 servers)	10:03	2:32	84, 69
Totaal	10:07	3:25	

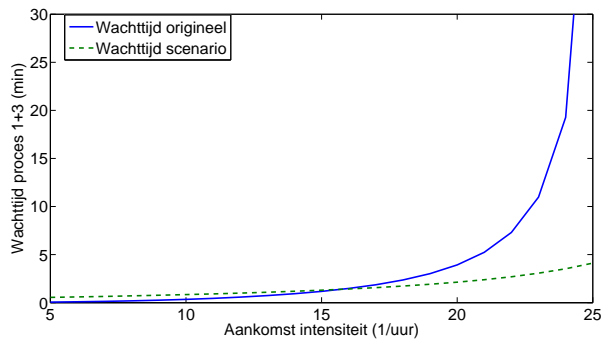
Tabel 8.6: Wachttijden, meting bij/voor de balie

Dit scenario levert, zoals in tabel 8.6 is te zien, een beetje tijd in als er met drie servers wordt gewerkt bij de keuring, maar als er met twee servers wordt gewerkt levert het een duidelijke verbetering op.

In figuren 8.3 en 8.4 zijn de wachttijden uitgezet tegen verschillende aankomstintensiteiten om te bekijken of het eerder genoemde resultaat ook geldt voor rustige en drukke momenten.



Figuur 8.3: 2 servers



Figuur 8.4: 3 servers

Uit de grafieken is te zien dat dit scenario minder wachttijd oplevert bij hoge aankomstintensiteiten en dat er weinig verschil is bij lage intensiteiten.

## 8.4 Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop

In dit scenario wordt er vooral gekeken naar het effect van de splitsing op de wachttijden van de volbloeddonoren. De plasmadonoren komen op afspraak achter elkaar aan. Dit moet geen/weinig wachttijden opleveren. Omdat in dit scenario het gehele proces verandert, zal er naar het gehele proces gekeken worden.

Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$\lambda'_{p,K}$	0,11	$\text{min}^{-1}$	$\mu'_{vb,A}$	$\frac{1}{7,07}$	$\text{min}^{-1}$
$\lambda'_{vb,K}$	0,13	$\text{min}^{-1}$	$\mu'_{p,K+A}$	$\frac{1}{14,95}$	$\text{min}^{-1}$
$\lambda'_{p,A}$	0,1	$\text{min}^{-1}$	$\mu'_{vb,K+A}$	$\frac{1}{14,38}$	$\text{min}^{-1}$
$\lambda'_{vb,A}$	0,12	$\text{min}^{-1}$	$SD[\frac{1}{\mu'_{p,K}}]$	3,1	min
$s'_{p,K}$	{1, 2}	-	$SD[\frac{1}{\mu'_{vb,K}}]$	3,1	min
$s'_{vb,K}$	{1, 2}	-	$SD[\frac{1}{\mu'_{p,A}}]$	2,3	min
$s'_{p,A}$	{1, 2}	-	$SD[\frac{1}{\mu'_{vb,A}}]$	1,69	min
$s'_{vb,A}$	{1, 2, 3}	-	$SD[\frac{1}{\mu'_{p,K+A}}]$	3,8	min
$s'_{p,K+A}$	{3, 4}	-	$SD[\frac{1}{\mu'_{vb,K+A}}]$	3,45	min
$s'_{vb,K+A}$	{3, 4}	-	$c'_{0,1}$	0,25	-
$\mu'_{p,K}$	$\frac{1}{5,87}$	$\text{min}^{-1}$			
$\mu'_{vb,K}$	$\frac{1}{5,87}$	$\text{min}^{-1}$			
$\mu'_{p,A}$	$\frac{1}{9,46}$	$\text{min}^{-1}$			

Tabel 8.7: Gebruikte parameters

Bij de bovenstaande parameters wordt een andere manier van specificeren gebruikt. Hier wordt met de indices  $p, K$  bedoeld: bij het plasma systeem, het keuringsproces. Met  $vb, K+A$  wordt bedoeld: bij het volbloed systeem, het gecombineerd keurings- en volbloedproces.

## Resultaten

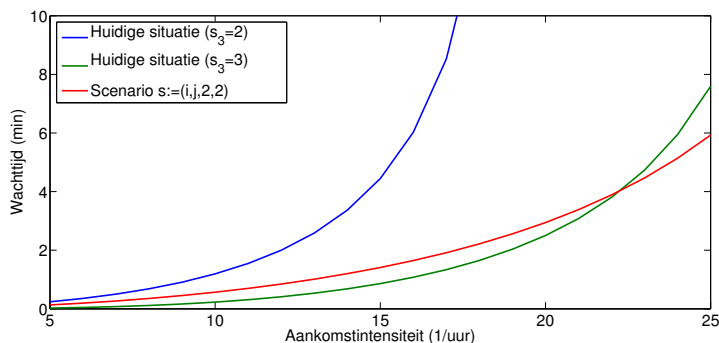
Situatie	Wachttijd Plasma (min:sec)	Bezettingsgraad per proces (%)	Wachttijd Volbloed (min:sec)	Bezettingsgraad per proces (%)
Huidige situatie				
$s_3=2, s_{4,5}=5$	3:50	71, 37	3:50	71, 37
$s_3=3, s_{4,5}=4$	0:43	47, 46	0:43	47, 46
Scenario's				
$s := \{1, 2, 1, 3\}$	2:35	59, 47	10:50	73, 26
$s := \{2, 2, 1, 2\}$	0:32	30, 47	11:28	73, 40
$s := \{1, 2, 2, 2\}$	2:35	59, 47	1:19	37, 40
$s := \{0, 3, 2, 2\}$	0:22	50	1:19	37, 40
$s := \{0, 3, 0, 4\}$	0:22	50	0:13	45
$s := \{0, 4, 0, 3\}$	0:04	38	1:09	60

Tabel 8.8: Wachttijden, splitsing donoren

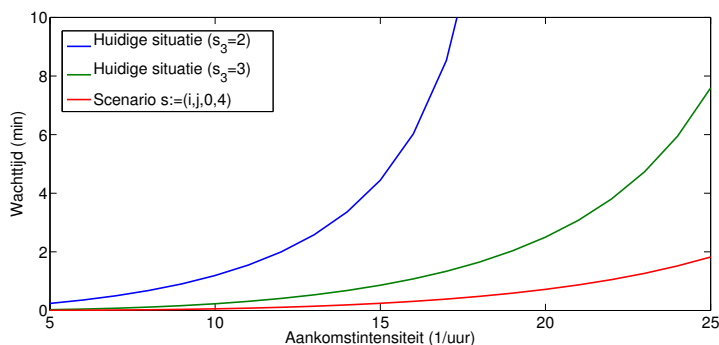
Met  $s := \{i, j, k, l\}$  wordt bedoeld dat het scenario  $i$  servers bij de keuring van plasmadonoren heeft,  $j$  servers bij de afname van plasmadonoren,  $k$  servers bij de keuring van volbloeddonoren en  $l$  servers bij de afname van de volbloeddonoren. Als er een nul staat bij de keuring, dan wordt er bedoeld dat hier de keuring en afname als één proces worden gezien.

Zoals te zien in tabel 8.8 leveren de scenario's,  $s := \{1, 2, 2, 2\}$ ,  $s := \{0, 3, 2, 2\}$ ,  $s := \{0, 3, 0, 4\}$ , winst op, daarom zijn de wachttijden van deze scenario's in figuren 8.5 en 8.6 uitgezet tegen

de aankomstintensiteiten. Gezien de aankomsten van de plasmadonoren niet hoger of lager worden, wordt in de figuren alleen naar de wachttijd van de volbloeddonoren gekeken.



Figuur 8.5: Scenario's:  $s := \{1, 2, 2, 2\}$ ,  $s := \{0, 3, 2, 2\}$



Figuur 8.6: Scenario:  $s := \{0, 3, 0, 4\}$

De meeste scenario's liggen ver onder de huidige situatie met twee keuringsservers. Zoals te zien in figuur 8.6 is de wachttijd bij het scenario altijd lager dan de wachttijd bij de huidige situatie met drie keuringsservers. In figuur 8.5 is te zien dat de wachttijden bij de scenario's minder snel oplopen dan bij de huidige situatie met drie keuringsservers. Hierdoor lijken deze drie situaties voor een verbetering te zorgen. In tabel 8.8 is echter te zien dat scenario  $s := \{1, 2, 2, 2\}$  een grote wachttijd heeft voor plasmadonoren. Hierdoor zal dit scenario niet gebruikt worden. De overige twee scenario's leiden beide wel tot een verbetering.

### 8.5 Openingstijden verminderen

Voor dit scenario worden er andere aankomstintensiteiten en hoeveelheden servers gebruikt, dit resulteert in een gehele verandering van het systeem. Daarom zullen de totale wachttijden met elkaar vergeleken worden.



Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$\lambda'_1$	0,3	$\text{min}^{-1}$	$s'_1$	1	-
$\lambda'_3$	0,3	$\text{min}^{-1}$	$s'_3$	{3, 4}	-
$\lambda'_{4,5}$	0,28	$\text{min}^{-1}$	$s'_{4,5}$	{5, 6}	-

Tabel 8.9: Gebruikte parameters

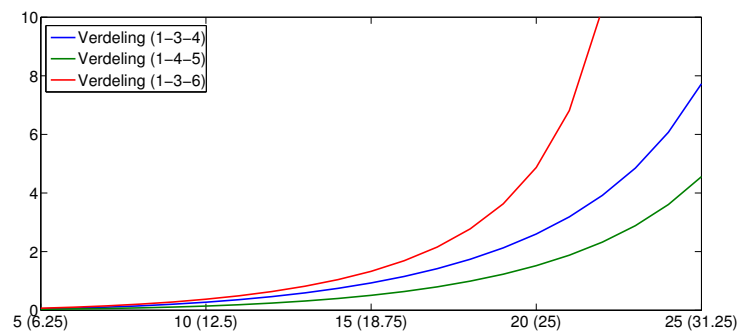
## Resultaten

In tabel 8.10 staan de resultaten van enkele medewerker verdelingen:

Situatie	Totale wachttijd (min:sec)	Bezettingsgraad per proces (%)
Huidige situatie		
$s_1=1, s_3=2, s_{4,5}=5$	3:54	12, 71, 37
$s_1=1, s_3=3, s_{4,5}=4$	0:47	12, 47, 46
Scenario's		
$s'_1=1, s'_3=3, s'_{4,5}=6$	1:12	15, 59, 38
$s'_1=1, s'_3=4, s'_{4,5}=5$	0:28	15, 44, 46

Tabel 8.10: Wachttijden, verminderen van de openingstijden

Beide scenario's zitten in de buurt van de huidige situatie met drie keuringsservers, daarom zijn in figuur 8.7 de wachttijden van beide scenario's uitgezet tegen de aankomstintensiteiten, hier zijn de aankomstintensiteiten tussen haakjes de aangepaste intensiteiten als er een dag dicht is.



Figuur 8.7: Vergelijking wachttijden

Deze resultaten zien er veelbelovend uit, de haalbaarheid van dit scenario wordt in hoofdstuk 9 besproken.

## 8.6 Speciaal bed voor de flauwvallers

Gezien er niet vaak mensen flauwvallen, zal de wachttijd niet veel beïnvloed worden door de extra wachttijd uit het model te halen. Er kan wel goed geïllustreerd worden hoe het uitvallen van een server van invloed is op de capaciteit van het proces. Gezien dit alleen effect heeft op de wachttijden bij het afname proces, zal er alleen naar deze processen gekeken worden.

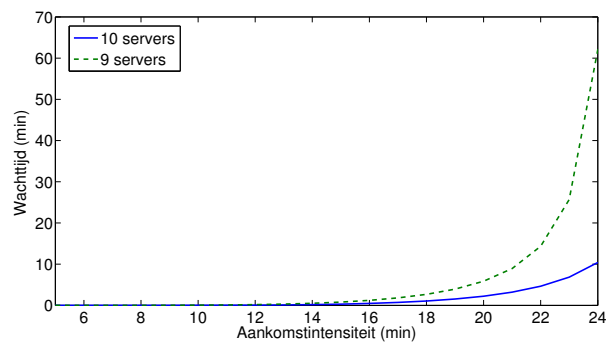
Parameters	Waarde	(eenheid)	Parameters	Waarde	(eenheid)
$s'_4$	4	$\text{min}^{-1}$	$k_{vb}$	90	%
$s'_5$	9	$\text{min}^{-1}$	$d$	$\frac{24}{50}$	-
$k_p$	96,0	%			

Tabel 8.11: Gebruikte parameters

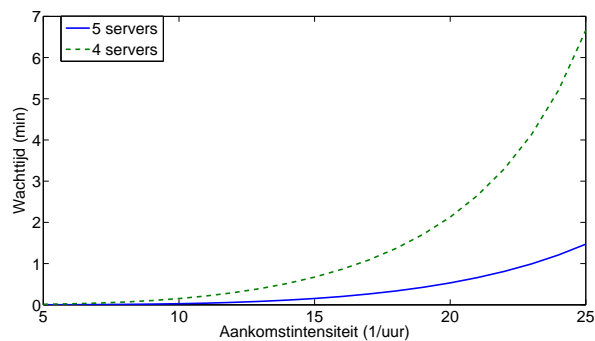
Hier zijn  $s'_4$  en  $s'_5$  het aantal servers als er respectievelijk een plasmadonor en een volbloeddonor flauw is gevallen.

## Resultaten

In grafieken 8.8 en 8.9 zijn de wachttijden tegen de aankomstintensiteiten uitgezet.



Figuur 8.8: Plasma afname wachttijden



Figuur 8.9: Volbloed afname wachttijden

Wat de grafieken goed laten zien is dat de wachttijden veel hoger kunnen worden als er

een server minder is. Bij lage intensiteiten maakt het niet zoveel uit, maar bij de hogere intensiteiten wordt de wachttijd exponentieel groter.

Als er echter gekeken wordt naar deze oplossing met medewerkers als server voor het afnameproces, zal er geen verschil zijn in de wachttijden, gezien de bedden hier geen beperkende factor zijn.

## 8.7 Afspraken plannen op rustige momenten

Bij dit scenario wordt de variantie van de aankomstintensiteiten verlaagd, omdat er nu geen plasmadonoren meer komen op drukke momenten. Daarom is voor dit scenario alleen de QNA gebruikt, gezien de QNA het enige model is waar de variantie van de aankomsten een invloed op is.

Met  $c_{0,1}'^2$  de gekwadrateerde verhouding tussen de standaardafwijking en de verwachtings-

Parameters	Waarde	(eenheid)
$c_{0,1}^2$	1	-
$c_{0,1}'^2$	0,5	-

Tabel 8.12: Gebruikte parameters

waarde van de de aankomsten bij proces één in het scenario. De rest van de parameters zijn hetzelfde als in de originele situatie.

## Resultaten

	Wachttijd Plasma (min:sec)	Wachttijd Volbloed (min:sec)		Wachttijd Plasma (min:sec)	Wachttijd Volbloed (min:sec)
huidige situatie ( $s_3 = 2$ )	3:59 (3:58)	3:53 (3:58)	huidige situatie ( $s_3 = 3$ )	0:46 (0:48)	0:40 (0:48)
scenario ( $s_3' = 2$ )	2:25 (2:26)	2:20 (2:26)	scenario ( $s_3' = 3$ )	0:29 (0:28)	0:25 (0:28)

Tabel 8.13: Wachttijden, afspraken plannen op rustige momenten

In tabel 8.13 zijn de wachttijden tussen haakjes de tijden waar het afnameproces is gemodelleerd met de medewerkers als server. Dit scenario levert in beide situaties een verbetering op. Gezien de  $c_{0,1}^2$  het enige is dat veranderd, is deze wachttijdverkorting een algemeen resultaat.

## 9 Conclusie en discussie

In dit hoofdstuk worden de conclusies besproken en wordt er gediscussieerd over hoe bruikbaar de resultaten en daarmee de conclusies zijn. Het hoofdstuk is opgedeeld in meerdere paragrafen. Ten eerste een paragraaf waarin het model van de huidige situatie wordt besproken, vooral met betrekking tot hoe reëel de waarden zijn. Vervolgens zal per paragraaf een scenario worden toegelicht. Er wordt dan gekeken of dit scenario een wachttijdverkortening oplevert en of deze direct toepasbaar is.

### 9.1 Huidige situatie

Bij de keuring is gekeken naar de invloed van het aantal keuringsmedewerkers op de wachttijden van de donoren. Met de gegevens van de metingen bij Sanquin Zwolle zijn, door middel van een model, de wachttijden bij de verschillende processen berekend. Uit deze waarden is naar voren gekomen dat het knelpunt bij de keuring zit. De wachttijden bij de keuring zijn groter dan de overige wachttijden.

Er valt nog wel een onderscheid te maken tussen het aantal beschikbare keuringsmedewerkers. Bij twee keuringsmedewerkers is de wachttijd bijna vier minuten, terwijl bij drie medewerkers de donoren een halve minuut hoeven te wachten. Het toevoegen van een extra keuringsmedewerker op het moment dat een wachtrij ontstaat, levert veel tijds winst op. Sanquin zegt dit al te doen, hoewel tijdens de middag van de metingen echter wat anders is gebleken. Er werd op deze middag inderdaad een derde keuringsmedewerker ingezet, maar vaak wanneer de wachttijden al waren opgelopen. De derde medewerker zou eerder ingezet moeten worden. Er is hierboven aangenomen dat er per sessie van vier uur 51 donoren binnen komen lopen. Dit aantal volgde ook uit de metingen. In de gesprekken is door medewerkers van Sanquin aangegeven dat er bij een gemiddelde sessie ook 50 donoren langs komen. Er vallen hierbij nog wel wat vraagtekens te plaatsen. Op de dag van de metingen, waar 51 donoren in vier uur binnen zijn komen lopen, bleek het overdreven rustig. Volgens de medewerkers van Sanquin Zwolle en ook de donoren, kwam het niet vaak voor dat het zo rustig was. De mogelijkheid bestaat dus dat er per sessie gemiddeld meer donoren langskomen. Om hier wat over te zeggen zal er echter eerst onderzoek naar gedaan moeten worden.

Ook zijn de wachttijden uit het model lager dan die van de metingen bij Sanquin. Het kan zijn dat de medewerkers naast het behandelen van de donoren extra werk doen. Hierbij kan gedacht worden aan papierwerk, het bijhouden van bestanden of het voorbereidings- en opruimwerk van de keuring.

### 9.2 Metingen voordat het gesprek begint

Dit scenario is vooral interessant, omdat de donoren nu tijdens het wachten op een gesprek al gemeten kunnen worden. De bedoeling hiermee is, dat de originele wachtrij opgedeeld wordt in twee kleinere wachtrijen. De donor zal twee keer een kleine tijd wachten in plaats van één keer een grote, wat dus leidt tot een verlaging in wachttijdperceptie.

Zoals te zien is in de resultaten, is het probleem bij dit scenario dat het opbreken van de

wachtrijen resulteert in twee wachtrijen, die in sommige gevallen beide meer wachttijd opleveren dan de originele wachttijd. Dit resultaat is goed te verklaren. Bij de huidige situatie ontstaat een wachtrij bij de keuring als er twee á drie medewerkers bezig zijn met het keuren van donoren. Als nu één medewerker het bloed gaat meten van diezelfde hoeveelheid donoren, dan zal deze medewerker hard moeten doorwerken om geen wachtrij te laten ontstaan. Tot slot kan er geconcludeerd worden dat dit scenario, gezien het maximaal aantal beschikbare medewerkers voor de keuring, geen concrete oplossing kan bieden voor het wachtrijprobleem.

### 9.3 Meting bij/voor de balie

In eerste instantie was het idee om beide metingen te verplaatsen, maar gezien de handelingen die gedaan moeten worden bij de metingen is het alleen realistisch de HB-meting te verplaatsen naar de balie. De HB-meting kan gedaan worden door een prik in de vinger, dit is makkelijker bij de balie uit te voeren dan de bloeddrukmeting, waarbij een bloeddrukmeter om de arm geplaatst moet worden. Het verplaatsen van de HB-meting zorgt ervoor dat de donoren minder lang bij Sanquin verblijven als ze worden afgekeurd op HB-waarden, ook levert dit op dat de donoren minder lang bezig zijn bij de keuring (alleen gesprek en bloeddrukmeting). Hierdoor zullen er waarschijnlijk mindere wachtrijen ontstaan bij de keuring.

De resultaten uit paragraaf 8.3 laten zien dat dit scenario alleen winst oplevert met de wachttijd als de aankomstintensiteiten hoog zijn, oftewel als het druk is. Dit resultaat is niet erg raar, want met het verplaatsen van de HB-meting naar de balie is de tijd dat iemand bij de balie staat vier keer zo groot geworden, wat weer zorgt voor een grotere wachttijd. Deze wachttijd bij de balie weegt in de drukke gevallen niet op tegen de wachttijd bij de keuring, maar bij de rustige momenten wel. Waardoor op de rustige momenten dit scenario leidt tot een kleine verhoging in wachttijd.

Uiteindelijk leiden de resultaten tot twee vragen:

- Is het vaak voldoende druk dat dit scenario consequent winst oplevert?
- Hoe haalbaar is het om de HB-meting bij de balie uit te voeren?

Dit zal uitgezocht moeten worden voordat dit scenario daadwerkelijk toegepast kan worden.

### 9.4 Splitsing tussen donoren op afspraak en vrije inloop

De splitsing tussen de twee groepen donoren zou voor een verbetering kunnen zorgen. Eerst moet nog geanalyseerd worden of dit werkelijk het geval is. Naast de splitsing worden er speciaal medewerkers aan de plasmadonoren toegewezen. Deze zorgen ervoor dat de afspraken bijna altijd volgens schema lopen. De overige medewerkers zorgen dan voor de keuring en de afname van de volbloeddonoren. Deze splitsing van medewerkers kan op verschillende manieren. Bij de eerste manier worden de medewerkers alleen bij de keuring verdeeld over het plasma systeem en het volbloed systeem. Bij de tweede manier wordt er geschoven met het totaal aantal medewerkers. Medewerkers kunnen op deze manier één donor door het gehele proces begeleiden. Bij deze opzet verandert de structuur vanaf de keuring, wat betekent dat het keuring- en afnameproces geanalyseerd gaat worden.

Bij de eerste manier is er bij de splitsing vooral gekeken naar de wachttijden van de volbloeddonoren. De plasmadonoren komen op afspraak achter elkaar aan. Dit zal geen tot weinig wachttijden opleveren. Bij zowel één als twee keuringsmedewerkers worden de wachttijden van de volbloeddonor groter. Dit geldt voor de wachttijd bij de keuring en de totale wachttijd. Dit zorgt daardoor niet voor een verbetering en er zal niet meer naar deze situatie gekeken worden.

Bij de tweede manier zijn verschillende verdelingen van medewerkers geanalyseerd, dit is in 8.4 te zien. Uit de verschillende verdelingen zijn drie winstgevende situatie's gevonden.

- één keuringsmedewerker en twee afnamemedewerkers voor plasmadonoren en twee keuringsmedewerkers en twee afnamemedewerkers voor de volbloeddonoren.
- drie medewerkers die het volledige proces van plasmadonoren doorlopen en twee keuringsmedewerkers en twee afnamemedewerkers voor de volbloeddonoren.
- drie medewerkers die het volledige proces van plasmadonoren doorlopen en vier medewerkers die het volledige proces van volbloeddonoren doorlopen.

De wachttijden bij deze situatie's liggen onder de wachttijden van de huidige situatie met twee keuringsservers. De twee laatste situaties zijn ook beter dan de huidige situatie met drie keuringsservers. Deze leiden daardoor beide tot een vermindering van de wachttijden. De eerste situatie heeft bij drie keuringsmedewerkers echter een grote wachttijd voor plasmadonoren. Hierdoor zal dit scenario niet gebruikt worden.

## 9.5 Openingstijden verminderen

Er zijn dagen waarop het aantal aankomsten van donoren zeer laag is. Geanalyseerd is het effect van de sluiting van het donatiecentrum op zo'n rustige dag. Op de overige dagen zal de aankomstintensiteit hoger worden, maar ook het aantal beschikbare medewerkers zal omhoog gaan. De vraag is of de extra medewerkers opwegen tegen de verhoging van de aankomstintensiteit.

Bij de resultaten uit 8.5 is te zien dat de wachttijden in de nieuwe situatie korter zijn dan in de originele situatie. Zodra er één extra medewerker bij de keuring en één extra medewerker bij de afname wordt ingezet, zal de totale wachttijd ongeveer halveren. Er is hierbij vanuit gegaan dat er per dag twee extra medewerkers aanwezig zijn. De uren dat de medewerkers op de inmiddels gesloten dag werkten, zijn verdeeld over de overige dagen. Dit komt neer op twee extra medewerkers per dag. De kortere wachttijden zouden moeten betekenen dat het verstandig is om het donatiecentrum op een rustige dag standaard te sluiten. Er moet echter nog wel gekeken worden naar de haalbaarheid van dit scenario.

Het moet wel duidelijk zijn op welke dag in de week het rustig is. Als dit elke week op een andere dag is, zal dit scenario niet gaan werken. Is deze dag daarentegen hetzelfde, dan kan dit scenario ingevoerd worden. Ook zal er gekeken moeten worden naar de indeling van het centrum. Met verhoogde aankomstintensiteiten en meerdere medewerkers moet er wel genoeg ruimte zijn om alle processen uit te kunnen voeren. Zo zal er soms een vierde keuringskamer geopend moeten worden. Hier moet wel een ruimte beschikbaar voor zijn.

## 9.6 Speciaal bed voor de flauwvallers

Hier is gekeken naar het effect van een speciaal flauwvallersbed. Het is moeilijk om te laten zien dat dit tot kortere wachttijden leidt, omdat de kans op een flauwvaller niet heel groot is. Wel kan er gekeken worden naar de invloed van het uitvallen van een server op de capaciteit van het proces.

Bij de resultaten uit 8.6 zijn de grafieken te zien waarbij de wachttijden met 9 en 10 servers bij verschillende aankomstintensiteiten te zien zijn. Dit is gedaan voor de plasma- en de volbloeddonoren. Uit deze grafieken is af te lezen dat de wachttijden, met een server minder, veel hoger worden. Bij lage aankomstintensiteiten is dit verschil niet groot, maar bij een grotere aankomstintensiteit wordt het nut van een apart flauwvallersbed steeds groter. Het advies zou zijn om gebruik te maken van een apart flauwvallersbed op de momenten dat alle servers bezet zijn en er mensen op een server aan het wachten zijn. Alleen dan levert deze maatregel een kleinere wachttijd op voor donoren. Op de andere momenten zal de wachttijd gelijk blijven, dit komt doordat de bedden op deze momenten niet volledig bezet zijn. Het bezet houden van één extra bed zorgt dan niet voor langere wachttijden aangezien er nog andere lege bedden zijn. Dit is echter alleen het geval met bedden als server in het afnameproces.

De conclusie verandert als de medewerkers als server worden genomen bij het afnameproces. In dit geval zal er geen verschil zijn in de wachttijden. De bedden zullen hier geen beperkende factor zijn. Voor het aantal beschikbare medewerkers bij de afname maakt het niet uit op welk bed de flauwgevallen donor ligt. Met de medewerkers als servers zal het aparte flauwvalbed daarom niks veranderen aan de wachttijden en daarom zal dit scenario in deze situatie niet worden gebruikt.

## 9.7 Afspraken plannen op rustige momenten

Tot slot is gekeken naar het effect van het plannen van de plasmadonoren op alleen de rustige momenten. Op deze manier zullen de aankomsten gelijkmatiger verdeeld worden. De pieken in de aankomstintensiteiten zullen namelijk weggehaald worden.

Voor plasmadonoren levert deze manier van plannen een grote wachttijdvermindering op. De afspraken worden minder opgehouden door de keuringen van de volbloeddonoren en de afspraken zullen minder uitlopen. Voor volbloeddonoren blijkt dit scenario ook een verbetering te zijn. De wachttijd voor donoren ontstaat vooral op de drukke momenten en deze drukke momenten komen nu minder voor. Geheel onverwachts is dit resultaat niet. De donoren halen in het geval van twee en drie keuringsmedewerkers ongeveer een derde van de wachttijd af.

In theorie lijkt dit scenario een goede manier te zijn om de wachttijden bij de keuring te verkorten. In de praktijk is dit nog de vraag. Om dit scenario in de praktijk te laten slagen, moet er duidelijk aangegeven kunnen worden op welke momenten in de week de aankomstintensiteiten hoog zijn. Voordat dit scenario in de praktijk toegepast kan worden zal er dus eerst gekeken moeten worden of er een patroon te vinden is in de aankomstintensiteiten. Als er elke dag en/of week een patroon te vinden is, kunnen de plasmadonoren op de rustige momenten gepland worden. Als er echter geen patroon te vinden is, zal dit scenario niet werken. Het is dan onduidelijk op welke momenten de plasmadonoren gepland moeten worden.

## 10 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt besproken waar een vervolgstudie op dit onderwerp zich verder op kan richten. Dit zijn vooral de modellen en processen die nog niet voldoende onderzocht zijn in dit verslag.

Per onderwerp zal worden toegelicht waarom het belangrijk is verder naar deze onderwerpen te kijken.

### 10.1 Afnameproces modelleren

Zoals te lezen in 6.3 is er nog geen conclusie te trekken, gebaseerd op het huidige model, over hoe de servers in het afnameproces moeten worden gemodelleerd. Gezien de metingen bij Sanquin Zwolle lijkt het erop dat de medewerkers meer een beperking zijn dan de bedden. Dit zal waarschijnlijk ook een algemenere manier zijn om de Sanquin vestigingen te modelleren. Echter blijkt er uit de resultaten van het model dat er weinig verschil is in wachttijden. Dit kan betekenen dat de huidige manier van modelleren een te simpele manier is van modelleren. Verder onderzoek is daarom nodig naar mogelijkheden om het afnameproces te modelleren. Hier wordt vooral bedoeld op het correct modelleren van het vast- en loskoppelen van de donoren.

### 10.2 Aankomstproces

Vanuit Sanquin zijn er meerdere geluiden over hoe de aankomsten van de (volbloed)donoren zich gedragen. Als hier meer inzicht in is, kunnen er betere maatoplossingen worden gemaakt. Verder is het handig om te onderzoeken hoe het gedrag van de donoren (qua aankomsten) verandert als het donorcentrum een dag minder open is en hoe de plasmadonoren zo optimaal mogelijk ingepland kunnen worden.

### 10.3 Werkwijze medewerkers

In het model dat gebruikt wordt in dit verslag, worden de medewerkers gezien als servers en wordt er vanuit gegaan dat deze medewerkers alleen bezig zijn met het helpen van de donoren. Echter moeten zij ook het bloed opbergen en andere dergelijke activiteiten. Als er meer inzicht is in de taken van de medewerkers dan kan daar rekening mee worden gehouden, zodat het model realistischere resultaten geeft. Verder is het interessant om te weten hoe een medewerker reageert op een wachtrij en op een flauwvaller.



## 11 Referenties

- [1] De Kort W, Janssen M, Kortbeek N , Jansen N, van der Wal J, van Dijk NM (2011). *inventory management: theory meets practice*. Transfusion 51(11): 2295-2303.
- [2] Blake JT, Lipton C, Sangster S. *An OR Based Tool to Optimize-Donor Flow in Blood Clinic*.
- [3] Hoekstra W (2010). *Wacht- en doorlooptijden Noordoost*
- [4] Tijms HC (2002). *Operationele Analyse, een inleiding in modellen en methoden*. Epsilon Uitgaven, Utrecht.
- [5] Tijms HC (1986). *Stochastic Modelling and Analysis: A Computational Approach*. John Wiley & Sons, Chichester % New York.
- [6] Jackson JR (1957). *Networks of waiting lines*. Operations Research 5(4): 518-521.
- [7] Whitt WL (1983). *The queueing network analyzer*. The Bell System Technical Journal 62(9): 2779-2815
- [8] QtsPlus Software, available at [ftp://ftp.wiley.com/public/sci\\_tech\\_med/queueing\\_theory/](ftp://ftp.wiley.com/public/sci_tech_med/queueing_theory/)
- [9] Zonderland ME, Boucherie RJ. *Handbook of Healthcare System Scheduling*. Springer US.
- [10] van Dijk NM (1993). *Queueing Networks and Product Forms, A systems approach*. John Wiley & Sons.

## 12 Appendix

### Meetresultaten

Tabel 12.1: Metingen wachttijd en tijdsduur keuring.  
In de 1e kolom zijn de donoren genummerd o.b.v. volgorde van binnenkomst in de wachtkamer voor de keuring.

Nr. donor	Aankomst tijdstip	Aanvangstijdstip keuring	Type kamer	Tijdstip einde keuring	Wachttijd keuring (minuten)	Tijdsduur keuring (minuten)
1	12:30	12:37	2	12:49	7	12
2	12:31	12:40	1	12:44	9	4
3	12:32	12:35	1	12:40	3	5
4	12:33	12:50	2	12:55	17	5
5	12:39	12:55	1	13:05	16	10
6	12:39	12:44	1	12:51	5	7
7	12:40	12:51	1	12:55	11	4
8	12:42	12:55	2	13:00	13	5
9	12:45	13:02	2	13:05	17	3
10	12:54	13:02	3	13:07	8	5
11	12:58	13:05	1	13:10	7	5
12	13:00	13:06	2	13:11	6	5
13	13:04	13:08	3	13:14	4	6
14	13:20	13:25	2	13:28	5	3
15	13:23	13:28	1	13:33	5	5
16	13:24	13:28	2	13:31	4	3
17	13:25	13:32	2	13:35	7	3
18	13:26	13:33	3	13:39	7	6
19	13:30	13:34	1	13:45	4	11
20	13:33	13:39	2	13:45	6	6
21	13:37	13:39	3	13:45	2	6
22	13:39	13:48	2	13:58	9	10
23	13:40	13:46	3	13:55	6	9
24	13:48	13:56	1	14:03	8	7
25	13:55	13:57	3	14:02	2	5
26	13:56	14:01	2	14:05	5	4
27	13:58	14:03	1	14:10	5	7
28	13:59	14:05	2	14:10	6	5
29	14:12	14:16	2	14:24	4	8
30	14:15	14:19	1	14:28	4	9
31	14:16	14:26	3	14:33	10	7
32	14:17	14:24	2	14:28	7	4
33	14:20	14:28	1	14:32	8	4
34	14:22	14:33	3	14:37	11	4
35	14:25	14:37	3	14:39	12	2

*Vervolg op volgende bladzijde*

Tabel 12.1 – *Vervolg van vorige bladzijde*

Nr. donor	Aankomst tijdstip	Aanvangstijdstip keuring	Type kamer	Tijdstip einde keuring	Wachttijd keuring (minuten)	Tijdsduur keuring (minuten)
36	14:36	14:39	3	14:45	3	6
37	14:37	14:45	3	14:52	8	7
38	14:42	14:46	2	14:53	4	7
39	14:56	14:58	2	15:02	2	4
40	14:58	15:04	2	15:10	6	6
41	15:02	15:10	2	15:15	8	5
42	15:12	15:15	2	15:18	3	3
43	15:22	15:28	1	15:32	6	4
44	15:29	15:36	1	15:40	7	4
45	15:30	15:38	2	15:42	8	4
46	15:38	15:40	1	15:45	2	5
47	15:48	15:50	1	16:07	2	17
48	15:58	16:05	2		7	
49	16:01	16:07	1		6	
50	16:06					
51	16:09					

Tabel 12.2: Aantal ingezette keuringskamers.

In de 2e, 3e en 4e kolom staat een 0 voor een ongebruikte keuringskamer en een 1 voor een ingezette keuringskamer.

Tijd	Kamer 1	Kamer 2	Kamer 3	Aantal ingezette kamers
12:30	0	0	0	0
12:35	1	0	0	1
12:37	1	1	0	2
13:00	1	0	0	1
13:02	1	1	1	3
13:10	0	1	1	2
13:11	0	0	1	1
13:14	0	0	0	0
13:25	0	1	0	1
13:28	1	1	0	2
13:33	1	1	1	3
13:35	1	0	1	2
13:39	1	1	1	3
13:45	0	0	1	1
13:48	0	1	1	2
13:55	0	1	0	1
13:56	1	1	0	2
13:57	1	1	1	3
13:58	1	0	1	2

*Vervolg op volgende bladzijde*

Tabel 12.2 – *Vervolg van vorige bladzijde*

Tijd	Kamer 1	Kamer 2	Kamer 3	Aantal ingezette kamers
14:01	1	1	1	3
14:02	1	1	0	2
14:10	0	0	0	0
14:16	0	1	0	1
14:19	1	1	0	2
14:26	1	1	1	3
14:28	1	0	1	2
14:32	0	0	1	1
14:46	0	1	1	2
14:52	0	1	0	1
14:53	0	0	0	0
14:58	0	1	0	1
15:02	0	0	0	0
15:04	0	1	0	1
15:18	0	0	0	0
15:28	1	0	0	1
15:32	0	0	0	0
15:36	1	0	0	1
15:38	1	1	0	2
15:42	1	0	0	1
15:45	0	0	0	0
15:50	1	0	0	1
16:05	1	1	0	2

Tabel 12.3: Metingen uitgevoerd door de arts.

In de 1e kolom zijn de keuringen door de arts willekeurig genummerd. De vragen 6, 7 en 8 zijn door de donoren ingevuld, zie tabel 12.4 op bladzijde 69. N.B. betekent, dat de vraag niet beantwoord is door de donor. De vragen 4 tot en met 8 zijn als volgt:

Vraag 4: Ging het gesprek door tijdens het meten?

Vraag 5: Zou het gesprek sneller gaan als de metingen niet op dat moment gedaan zijn?

Vraag 6: Was dit de eerste keer dat u bloed ging doneren?

Vraag 7: Hoeveel mensen zijn er gekeurd vanaf het moment dat u begon met wachten tot het moment dat u werd gekeurd?

Vraag 8: Vindt u dat u lang heeft moeten wachten?

Nr. keuring	Tijdsduur HB (minuten)	Tijdsduur bloeddruk (minuten)	Gespreksduur (minuten)	Vraag 4	Vraag 5
1	2	2	10	half	N.B.
2	3	2	5	nee	nee
3	1	1	7	nee	nee
4	1,5	3	4	ja	nee
5	1,5	1	5	nee	nee
6	1	1	3	nee	nee
7	1	1	3	nee	nee
8	1	1	2,5	nee	nee
9	1	1	2	nee	nee
10	1	1	2	nee	nee
11	1	1	9	nee	nee
12	1	1	2	nee	nee
13	1	1	3	nee	nee
14	2	1	4	nee	nee

Tabel 12.4: Vragenformulier ingevuld door donoren.

In de 1e kolom zijn de formulieren willekeurig genummerd. N.B. betekent, dat de vraag niet beantwoord is door de donor. Vraag 4 tot met 8: zie toelichting tabel 12.3 op bladzijde 68.

Nr. formulier	Tijdsduur HB (minuten)	Tijdsduur bloeddruk (minuten)	Gespreksduur (minuten)	Vraag 4	Vraag 5	Vraag 6	Vraag 7	Vraag 8
1	3	1	4	nee	nee	nee	0	nee
2	5	2	3	nee	nee	10de	2	nee
3	2	0	0	ja	N.B.	nee	2	nee
4	1/30	1/4	1	ja	nee	nee	1	nee
5	1	1	2	nee	N.B.	nee	0	5 min
6	2	3	5	nee	nee	nee	0	nee
7	2	1	5	ja	nee	nee	0	nee
8	1/2	1/2	2	ja	nee	nee	0	nee
9	1/6	1/6	5	ja	nee	nee	3	nee
10	1	2	5	nee	nee	nee	3	nee
11	0	1	4	nee	N.B.	102de	3	N.B.
12	4	1 1/2	5	ja	nee	ja	2	0
13	1	2	2	nee	nee	nee	1	nee
14	1 1/2	1	3	ja	N.B.	66de	3 1/2	nee
15	2	3	7	nee	nee	nee	1	nee
16	1	2	4	nee	nee	nee	1	nee
17	1/12	1	3	nee	nee	nee	0	nee
18	1/2	1/2	1 1/2	nee	nee	ja	2	nee
19	1	2	15	nee	N.B.	ja	N.B.	nee
20	1/2	1/2	2	nee	nee	nee	1	nee
21	1/6	1	5	ja	nee	nee	1	nee
22	2	5	5	ja	nee	nee	2	nee
23	1	2	4	ja	N.B.	nee	N.B.	nee
24	1	1/2	3	ja	nee	nee	4	N.B.
25	1/3	1/3	5	nee	nee	nee	2	nee
26	5	5	12 1/2	ja	nee	152	1	nee
27	2	1/2	5	nee	nee	nee	1	nee
28	2 1/2	2 1/2	7 1/2	ja	N.B.	nee	3	nee
29	1 1/2	1 1/2	4	ja	nee	nee	3	nee
30	1	1	5	nee	nee	nee	1	nee
31	1	1	1	nee	ja	nee	3	N.B.
32	1	2	6	N.B.	N.B.	nee	1	N.B.
33	1	2	7	nee	N.B.	nee	1	nee
34	2	1	2	N.B.	N.B.	nee	3	nee

Tabel 12.5: Meting afnameproces.

In de 1e kolom zijn de donoren genummerd o.b.v. volgorde van binnenkomst in de afnameruimte. De typen gebeurtenissen staan in de 2e, 4e en 6e kolom. Deze zijn resp. begintijd afname volbloed, begintijd afname plasma en eindtijd afname. In de 3e, 5e en 7e kolom zijn de gebeurtenissen genummerd op tijdsvolgorde.

Nr. Donor	Begintijd afname volbloed	Nr. gebeurtenis	Begintijd afname plasma	Nr. gebeurtenis	Eindtijd afname	Nr. gebeurtenis
1			12:40	1	13:22	19
2	12:44	2			13:09	9
3	12:50	3			13:00	6
4	12:53	4			13:09	10
5	12:56	5			13:14	15
6	13:01	7			13:17	18
7	13:09	11			13:24	20
8			13:06	8	13:53	31
9	13:09	12			13:26	21
10			13:11	13	13:52	30
11			13:11	14	14:08	37
12			13:15	16	14:13	41
13			13:16	17	14:07	36
14			13:31	22	14:09	38
15			13:33	23	14:14	42
16			13:34	24	14:20	48
17			13:39	25	14:16	45
18	13:41	26			13:51	28
19	13:47	27			13:51	29
20			13:53	32	14:38	54
21			13:54	33	14:41	56
22	13:57	34			14:14	43
23			14:09	39	15:09	70
24	14:04	35			14:19	47
25			14:10	40	14:57	65
26			14:16	46	15:03	66
27			14:15	44	15:09	71
28	14:25	49			14:46	59
29	14:30	50			14:42	57
30	14:31	51			15:03	67
31	14:33	52			14:50	61
32			14:35	53	15:29	77
33	14:38	55			14:54	62
34	14:46	60			15:06	69

*Vervolg op volgende bladzijde*

Tabel 12.5 – *Vervolg van vorige bladzijde*

Nr. Donor	Begintijd afname volbloed	Nr. gebeurtenis	Begintijd afname plasma	Nr. gebeurtenis	Eindtijd afname	Nr. gebeurtenis
35			14:45	58	15:29	78
36			14:54	63	15:45	82
37	14:55	64			15:12	72
38			15:04	68	15:53	87
39	15:12	73			15:26	76
40			15:16	74	16:04	90
41			15:20	75	16:07	91
42			15:31	79		
43	15:33	80			15:52	86
44	15:35	81			15:47	84
45	15:49	85			16:03	89
46			15:46	83		
47	15:55	88			16:07	92
48			16:09	93		

Tabel 12.6: Wachtijden afname.

De nummers van de 1e kolom komen overeen met de nummers van de 1e kolom van tabel 12.5.

Nr. Donor	Wachtijd volbloed (minuten)	Wachtijd plasma (minuten)
7	6	
20		6
21		4
23		5
26		4
27		3



Tabel 12.7: Bedbezetting afname.

In deze tabel zijn de gebeurtenissen gerangschikt op tijds-  
volgorde. De typen gebeurtenissen in de 3e kolom zijn:

0: opening donatiecentrum om 12:30 uur

1: begin afname plasma

2: einde afname plasma

3: begin afname volbloed

4: einde afname volbloed

In de 4e kolom geeft VB het aantal bezette volbloedbedden  
weer op het betreffende tijdstip.

In de 5e kolom geeft PB het aantal bezette plasmabedden  
weer op het betreffende tijdstip.

Nr. gebeurtenis	Tijd	Type gebeurtenis	VB	PB
0	12:30	0	0	0
1	12:40	1	0	1
2	12:44	3	1	1
3	12:50	3	2	1
4	12:53	3	3	1
5	12:56	3	4	1
6	13:00	4	3	1
7	13:01	3	4	1
8	13:06	1	4	2
9	13:09	4	3	2
10	13:09	4	2	2
11	13:09	3	3	2
12	13:09	3	4	2
13	13:11	1	4	3
14	13:11	1	4	4
15	13:14	4	3	4
16	13:15	1	3	5
17	13:16	1	3	6
18	13:17	4	2	6
19	13:22	2	2	5
20	13:24	4	1	5
21	13:26	4	0	5
22	13:31	1	0	6
23	13:33	1	0	7
24	13:34	1	0	8
25	13:39	1	0	9
26	13:41	3	1	9
27	13:47	3	2	9
28	13:51	4	1	9
29	13:51	4	0	9
30	13:52	2	0	8
31	13:53	2	0	7

*Vervolg op volgende bladzijde*

Tabel 12.7 – *Vervolg van vorige bladzijde*

Nr. gebeurtenis	Tijd	Type gebeurtenis	VB	PB
32	13:53	1	0	8
33	13:54	1	0	9
34	13:57	3	1	9
35	14:04	3	2	9
36	14:07	2	2	8
37	14:08	2	2	7
38	14:09	2	2	6
39	14:09	1	2	7
40	14:10	1	2	8
41	14:13	2	2	7
42	14:14	2	2	6
43	14:14	4	1	6
44	14:15	1	1	7
45	14:16	2	1	6
46	14:16	1	1	7
47	14:19	4	0	7
48	14:20	2	0	6
49	14:25	3	1	6
50	14:30	3	2	6
51	14:31	3	3	6
52	14:33	3	4	6
53	14:35	1	4	7
54	14:38	2	4	6
55	14:38	3	5	6
56	14:41	2	5	5
57	14:42	4	4	5
58	14:45	1	4	6
59	14:46	4	3	6
60	14:46	3	4	6
61	14:50	4	3	6
62	14:54	4	2	6
63	14:54	1	2	7
64	14:55	3	3	7
65	14:57	2	3	6
66	15:03	2	3	5
67	15:03	4	2	5
68	15:04	1	2	6
69	15:06	4	1	6
70	15:09	2	1	5
71	15:09	2	1	4
72	15:12	4	0	4
73	15:12	3	1	4
74	15:16	1	1	5
75	15:20	1	1	6

*Vervolg op volgende bladzijde*

Tabel 12.7 – *Vervolg van vorige bladzijde*

Nr. gebeurtenis	Tijd	Type gebeurtenis	VB	PB
76	15:26	4	0	6
77	15:29	2	0	5
78	15:29	2	0	4
79	15:31	1	0	5
80	15:33	3	1	5
81	15:35	3	2	5
82	15:45	2	2	4
83	15:46	1	2	5
84	15:47	4	1	5
85	15:49	3	2	5
86	15:52	4	1	5
87	15:53	2	1	4
88	15:55	3	2	4
89	16:03	4	1	4
90	16:04	2	1	3
91	16:07	2	1	2
92	16:07	4	0	2
93	16:09	1	0	3