

BSc Verslag Toegepaste Wiskunde

# Effecten van de capaciteit en patiëntenbalans op de verlosafdeling

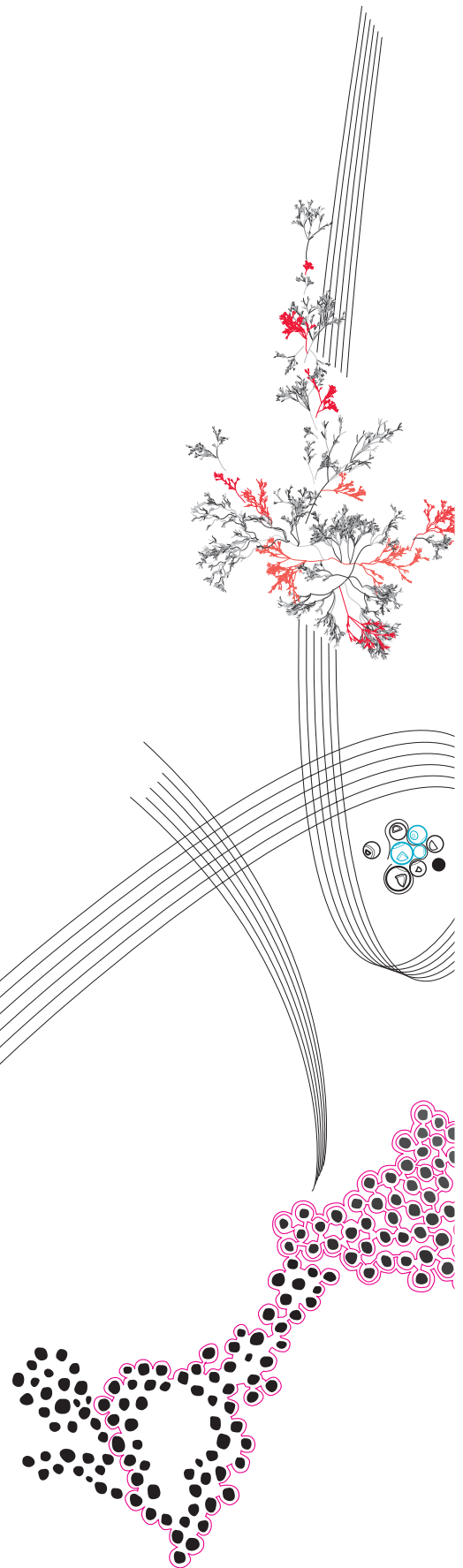
Een onderzoek naar de effecten van veranderingen in de capaciteit en de balans van patiëntenstromen op de verlosafdeling van het St. Antoniusziekenhuis in Utrecht

E.L. Hilberink

Begeleiders: Prof. dr. R. J. Boucherie, dr. J.H. Becker, dr. J.W.M. Weggelaar-Jansen

30 januari 2019

Afdeling Toegepaste Wiskunde  
Faculteit Elektrotechniek,  
Wiskunde en Informatica



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Model</b>	<b>2</b>
2.1	Beschrijving situatie verlosafdeling . . . . .	2
2.2	Basismodel . . . . .	3
2.2.1	Loss Network . . . . .	3
2.2.2	Markovproces . . . . .	4
2.2.3	Blokkeringskans . . . . .	4
2.2.4	Acceptatieregels . . . . .	5
2.3	Model met typewijzigingen . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Analyse</b>	<b>7</b>
3.1	Betrouwbaarheidsinterval . . . . .	7
3.2	Opwarmperiode . . . . .	7
3.3	Statistische tellers . . . . .	8
3.4	Replication/deletion methode . . . . .	8
3.5	Simulatie basismodel . . . . .	8
3.5.1	Variabelen . . . . .	8
3.5.2	Gebeurtenissen . . . . .	9
3.6	Simulatie uitgebreid model . . . . .	9
3.6.1	Variabelen . . . . .	10
3.6.2	Gebeurtenissen . . . . .	12
3.6.3	Functies . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Casusstudie</b>	<b>13</b>
4.1	Input . . . . .	13
4.1.1	Uitgebreid model . . . . .	13
4.1.2	Basismodel . . . . .	15
4.1.3	Scenario's . . . . .	15
4.2	Theoretische validatie . . . . .	16
4.2.1	Implementatie Monte-Carlosommatie . . . . .	16
4.2.2	Implementatie discrete event simulation . . . . .	16
4.3	Scenarioanalyse . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>17</b>
5.1	Algemeen . . . . .	17
5.2	Scenario's . . . . .	18
5.3	Verschuiven balans naar meer eerstelijns zorg . . . . .	19
5.4	Verhogen personele capaciteit . . . . .	22
5.5	Verlagen personele capaciteit . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>23</b>
<b>A</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>25</b>

<b>B Resultaten scenarioanalyse</b>	<b>25</b>
B.1 Huidige situatie . . . . .	25
B.2 Verschuiven balans naar meer eerstelijns zorg . . . . .	26
B.3 Verhogen personele capaciteit . . . . .	27
B.4 Verlagen personele capaciteit . . . . .	28
<b>C Logboek verkrijgen data</b>	<b>29</b>
<b>D Bijgevoegde bestanden</b>	<b>30</b>

# Effecten van de capaciteit en patiëntenbalans op de verlosafdeling

Een onderzoek naar de effecten van veranderingen in de capaciteit en de balans van patiëntenstromen op de verlosafdeling van het St. Antoniusziekenhuis in Utrecht

E.L. Hilberink\*

30 januari 2019

## Samenvatting

In het moeder-kindcentrum van het St. Antoniusziekenhuis in Utrecht worden verschillende typen patiënten behandeld, waarvoor verschillende typen personeel en suites worden gebruikt. Om beter te presteren op het gebied van weigeringskansen, werkdruk en productie zijn meerdere aanpassingen mogelijk in de structuur op de verlosafdeling. Hieronder vallen het verschuiven van de balans tussen eerste- en tweedelijns zorg, het verhogen van de personele capaciteit en het fuseren van kamertypes. Om de effecten van deze veranderingen te bekijken, is een Loss Network gedefiniëerd en een discrete event simulation gemaakt in Python. In de bekeken configuratie van het systeem gaat de jaarproductie niet omhoog bij het verschuiven van de balans naar meer eerstelijns zorg en is de personele capaciteit de beperkende factor.

*Trefwoorden:* verloskunde, capaciteit, patiëntenstroom, discrete event simulation, loss networks, markovproces, blokkeringskans, drempelstrategie.

## 1 Inleiding

Op de verlos-/neonatologieafdeling van het St. Antoniusziekenhuis in Utrecht komen en gaan dagelijks allerlei patiënten. Zij verschillen in type, er zijn namelijk zowel eerste- als tweedelijns bevallingen, oftewel partussen. Daarnaast worden er baby's opgenomen, consul-ten gedaan, keizersnedes, oftewel sectio's uitgevoerd, et cetera. Hiervoor zijn verschillende typen personeel van belang. De types die in dit onderzoek worden bekeken zijn: obstetrie verpleegkundigen (o.v.), neonatologie verpleegkundigen (n.v.) en klinisch verloskundigen (k.v.).

De verschillende typen patiënten hebben verschillende zorg nodig tijdens de drie fasen van een bevalling: ante-, durante- en postpartum (resp. voor, tijdens en na de bevalling). Eerstelijns bevallingen hebben bijvoorbeeld helemaal geen zorg nodig (alleen een kamer), terwijl patiënten na een sectio meer zorg nodig hebben dan na een natuurlijke bevalling met pijnverlichting. Tijdens het verblijf op de afdeling kan een patiënt van type veranderen, omdat ze bijvoorbeeld toch pijnstilling of een keizersnede nodig heeft of omdat het kindje niet gezond blijkt te zijn.

Op de afdeling zijn er vier soorten kamers: verlossuites, kraamsuites, neonatologiesuites en triagekamers. In alle suites kunnen moeder en kind bij elkaar liggen. In een verlossuite

---

\*Email: e.l.hilberink@student.utwente.nl

kan een patiënte bevallen, na de bevalling kan de patiënte eventueel worden verhuisd naar een kraamsuite. Mocht de baby niet gezond of prematuur zijn, dan kan het verplaatst worden naar een neonatologiesuite, samen met de moeder. Ook opgenomen baby's worden hier geplaatst. In de triagekamers worden consulten gedaan.

Er zijn meerdere mogelijke veranderingen in de bovengenoemde structuur van de afdeling, die elk een ander effect zullen hebben op de prestaties van de afdeling. Deze wordt gemeten met de volgende prestatie-indicatoren:

- de blokkeringskans per type patiënt
- de utilisatie per type kamer
- de mate waarin de totale zorgzwaarte te hoog is per type personeel: opgedeeld in het percentage van de werktijd waarin de werkdruk te hoog is en de gemiddelde hoogte van de te hoge werkdruk
- de totale productie (het aantal partussen)

De veranderingen worden onderzocht aan de hand van verschillende scenario's, die elk worden bekeken in een simulatie gemaakt in Python.

De onderzoeksvraag, inclusief deelvragen, luidt als volgt:

Wat zijn de effecten van aanpassingen in de capaciteit en de patiëntenbalans van de verlosafdeling?

1. Wat is het effect van het verschuiven van de balans tussen eerste- en tweedelijns zorg naar meer eerste lijn?
2. Wat is het effect van het veranderen van de personele capaciteit?
3. Wat is het effect van het fuseren van kamertypes?
4. Zijn er voor een jaarproductie van 5600 partussen meer suites nodig?

De opbouw van dit verslag is als volgt: in hoofdstuk 2 wordt een wiskundige analyse uitgevoerd van het systeem, wat resulteert in een basismodel in 2.2 en een uitgebreid model in 2.3. In hoofdstuk 3 worden de gebruikte methodes uitgelegd voor het basismodel (3.5) en het uitgebreide model (3.6). Dan volgt in hoofdstuk 4 een uiteenzetting van de input in 4.1, een theoretische validatie in 4.2 en de scenarioanalyses in 4.3. Vervolgens staat de discussie in hoofdstuk 5 en tot slot worden de conclusies getrokken in hoofdstuk 6.

## 2 Model

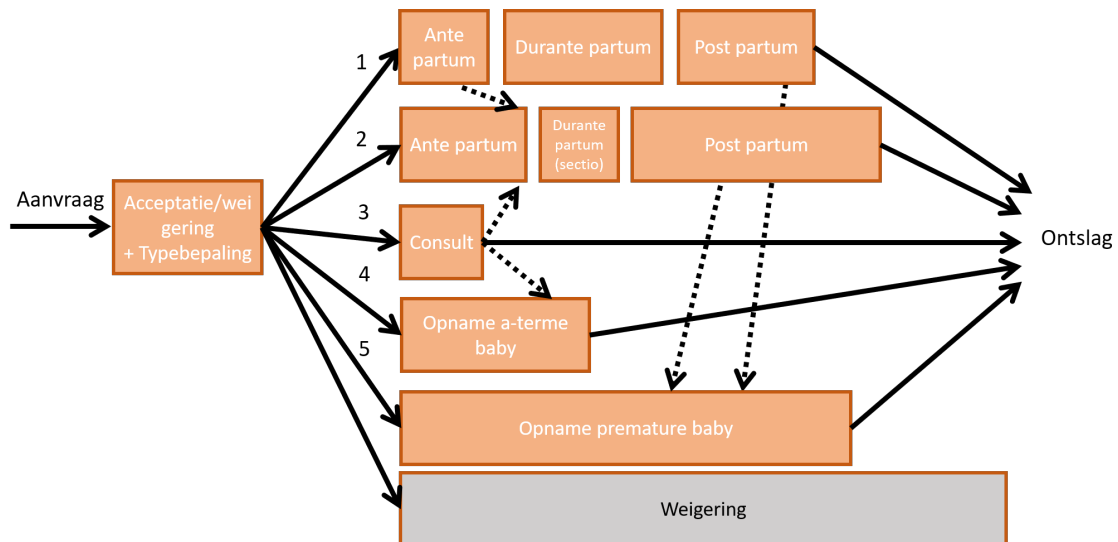
### 2.1 Beschrijving situatie verlosafdeling

Op de verlosafdeling van het St. Antoniusziekenhuis in Utrecht komen steeds aanvragen binnen van patiënten. Zodra een aanvraag door of voor een patiënt wordt gedaan, wordt gekeken welk type de patiënt is, of er genoeg personeel beschikbaar is en of er een kamer van het gewenste soort vrij is. Is er geen kamer vrij, dan wordt er gekeken of een of meerdere patiënten op de afdeling verhuisd kunnen worden, zodat alsnog de gewenste kamer vrijkomt. Lukt ook dat niet, dan wordt de patiënt geweigerd. Is er personeel voldoende en een kamer

vrij, dan wordt de patiënt geaccepteerd. Een illustratie van de beschreven situatie wordt weergegeven in figuur 1.

Na aankomst van de patiënt op de afdeling gaat de ante-partumfase in, gevolgd door de durante- en post-partumfase, die respectievelijk ingaan bij de start en het einde van de bevalling. Tijdens de verschillende fases kan een patiënt van type veranderen, doordat zij bijvoorbeeld toch pijnverlichting wil, er toch een sectio/tangverlossing nodig is vanwege complicaties, etc. Een voorbeeld van een dergelijke typeverandering wordt in figuur 1 aangegeven met een stippellijn. Als bij een fase- of typeverandering blijkt dat de benodigde kamer niet vrij is en ook niet vrij kan worden gemaakt, wordt de patiënt overgeplaatst naar een ander ziekenhuis. Om dit te voorkomen, worden er kamers vrijgehouden. Aan het einde van de ligduur wordt de patiënt ontslagen.

Er wordt constant door de zorgcoördinator bijgehouden hoe hoog de zorgzwaarte is voor de personeelsleden. Het kan gebeuren dat die te hoog is, als er bijvoorbeeld patiënten zijn die complicaties krijgen en daardoor van type veranderen, waardoor hun zorgvraag hoger wordt. De zorgzwaarte voor het personeel is van invloed op het accepteren en weigeren van nieuwe patiënten.



FIGUUR 1: Schematische weergave van het proces dat een patiënt doorloopt op de verlosafdeling. Hierbij wordt uitgegaan van 5 types, ter illustratie.

## 2.2 Basismodel

### 2.2.1 Loss Network

De verlosafdeling van het ziekenhuis kan gemodelleerd worden als een loss netwerk, waarbij objecten (met elk een gewicht en een waarde) in het systeem mogen worden geplaatst zolang het totale gewicht het maximumgewicht niet overschrijdt, terwijl de totale waarde gemaximaliseerd wordt. De capaciteit van de afdeling is  $C := (a, b, c, d)$ , waarbij  $a$  het aantal neonatologie verpleegkundigen is,  $b$  het aantal obstetrie verpleegkundigen,  $c$  het aantal klinisch verloskundigen en  $d$  het aantal suites.

Er zijn in totaal  $K$  verschillende types patiënten. Patiënten van type  $k$  hebben een gewicht  $b_k \in M^{4 \times 1}$ , een aankomst dat een Poissonproces volgt met intensiteit  $\lambda_k$  en een exponentieel verdeelde ligduur met gemiddelde  $\mu_k^{-1}$ . Laat  $n_k$  het aantal patiënten van

type  $k$  op de afdeling zijn,  $b := (b_1, \dots, b_K)^T$  en  $n := (n_1, \dots, n_K)$ . Dan is het aantal verbruikte resources gelijk aan  $n \cdot b : \sum_{k=1}^K n_k b_k \in M^{5 \times 1}$ . Een patiënt wordt toegelaten als er voldoende resources beschikbaar zijn, dus als  $b_k \leq C - (n \cdot b)^T$ . Anders wordt deze geweigerd. De verlosafdeling van het ziekenhuis is daarom een 'blocked customers cleared' (BCC) systeem, d.w.z. dat patiënten die aankomen terwijl de afdeling vol is, geweigerd worden en daarmee het systeem verlaten; er is geen wachtrij. [2]

### 2.2.2 Markovproces

Om de verlosafdeling te analyseren als een Markovproces, definiëren we de toestandruimte  $S := n \in \mathbb{N}^K : (n \cdot b)^T \leq C$  en de stochastische variabele  $n_k(t)$ , die het aantal patiënten van type  $k$  binnen de afdeling weergeeft op tijdstip  $t$ . De toestand op tijdstip  $t$  wordt gegeven door  $n(t) := (n_1(t), \dots, n_K(t))$ . Dit Markovproces is aperiodiek en niet-reduceerbaar met een eindige toestandruimte.

Er zijn verschillende toestandsovergangen mogelijk. Een patiënt van type  $k$  wordt toegelaten bij aankomst als  $n + e_k \in S$ . De toestandswijziging is dan als in formule 1. Wordt een patiënt ontslagen, dan is de wijziging als gegeven in 2.

$$n \rightarrow n + e_k \quad (1)$$

$$n \rightarrow n - e_k \quad (2)$$

De kans dat het proces in het equilibrium in toestand  $n$  zit, oftewel de fractie van de tijd op de lange termijn dat het systeem zich in toestand  $n$  bevindt, wordt gegeven door

$$\pi(n) = \frac{1}{G} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}, n \in S \quad (3)$$

waarbij  $\rho_k := \lambda_k / \mu_k$ . De kans dat een patiënt bij aankomst geweigerd wordt is nu

$$B_k = 1 - \frac{\sum_{n \in S_k} \prod_{j=1}^K \rho_j^{n_j} / n_j!}{\sum_{n \in S} \prod_{j=1}^K \rho_j^{n_j} / n_j!} \quad (4)$$

waarbij  $S_k := n \in S : (n \cdot b)^T \leq C - b_k$ . Omdat  $S$  en  $S_k$  erg groot zijn, zelfs voor kleine waarden van  $C$  en  $K$ , is het 'brute force' uitrekenen doorgaans lastig. Hiervoor zijn verschillende algoritmes ontwikkeld. [2] Één daarvan is het gebruik van een Monte-Carlosommatie, zie sectie 2.2.3.

### 2.2.3 Blokkeringskans

Om de teller en de noemer van  $B_k$  te schatten, kan gebruik worden gemaakt van een Monte-Carlosommatie. De blokkeringskans wordt gegeven door

$$B_k = \frac{\sum_{n \in T_k} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_j^{n_j}}{n_j!} e^{-\rho_k}}{\sum_{n \in S} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_j^{n_j}}{n_j!} e^{-\rho_k}}, \quad (5)$$

waarbij  $T_k$  de ruimte is van alle toestanden waarin een patiënt van type  $k$  geweigerd zal worden. Nu kan de Harvey-Hillsmethode worden toegepast om de blokkeringskans  $B_k$  te

schatten. Omdat de kans dat een patiënt van type  $k$  geblokkeerd wordt gelijk is aan de kans dat deze patiënt er niet meer bij past (vanwege de poissonverdeelde aankomsten), geldt dat

$$B_k = \frac{P(V(\rho) \in T_k)}{P(V(\rho) \in S)} = P(V(\rho) \in T_k | V(\rho) \in S), \quad (6)$$

wanneer alle  $X_i$ 's onderling onafhankelijk zijn. Het algoritme van de Harvey-Hillsmethode ziet er als volgt uit:

trek  $V_i$  uit Poisson( $\rho$ ),  $i = 1, \dots, N$ ,  $V_i$  o.o.

if  $V_i \notin S$ :

    negeren

else:

    tellen

    if  $V_i \in T_k$ :

$X_i = 1$

    else:

$X_i = 0$

Hierbij is  $\rho$  een vector met  $K$  verschillende waarden, en  $V_i$  dus ook. Nu is  $\frac{\sum_{i=1}^K X_i}{K}$  een zuivere schatter van de blokkeringskans  $B_k$ . [1]

#### 2.2.4 Acceptatieregels

Om de samenstelling van de patiënten op de verlosafdeling te sturen, kunnen verschillende toelatingsregels worden gebruikt, bijvoorbeeld het reserveren van bepaalde capaciteit voor eventuele spoedgevallen of het instellen van een drempelwaarde voor een bepaald type patiënt, d.w.z. dat er nooit meer van dat type aanwezig mogen zijn dan die drempel. Het bepalen van een dergelijke drempel wordt uiteengezet in 2.2.4.

#### Drempelstrategie

Een strategie van de verlosafdeling zou kunnen zijn om een drempelwaarde in te stellen voor ieder type patiënt. Er zijn dan getallen  $C_1, \dots, C_K$  gedefinieerd zodat een patiënt van type  $k$  wordt geaccepteerd in toestand  $n$  dan en slechts dan als  $b_k(n_k + 1) \leq C_k$  en  $b_k \leq C - b \cdot n$ . De toestandsruimte is dan gelijk aan

$$\Omega = \{n = (n_1, \dots, n_k) : b \cdot n \leq C, k = 1, \dots, K\} \quad (7)$$

Definieer een beloning  $r_i$  voor een patiënt van type  $i$ . Gegeven  $\pi(n)$ , de fractie van de tijd dat het systeem zich in toestand  $n$  bevindt, is de totale beloning als volgt:

$$\sum_i \sum_n r_i n_i \pi(n). \quad (8)$$

Om nu een optimale drempelstrategie te bepalen, worden  $C_1, \dots, C_K$  variabel gelaten en wordt de totale beloning gemaximaliseerd.

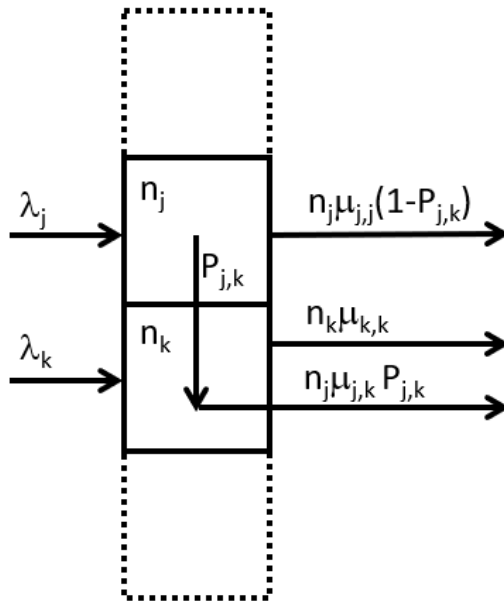
Met de bepaalde strategie kunnen onder meer de blokkeringskans en de verdeling van de bedden worden bepaald. [2]



### 2.3 Model met typewijzigingen

Tijdens de verblijftijd in het ziekenhuis kan een patiënt veranderen van type. Het aantal patiënten op de afdeling van type  $k$  dat binnen is gekomen als type  $k$ , wordt aangeduid met  $n_{k,k}$ . Verandert een patiënt van type  $k$  naar type  $j$ , dan is het aantal van deze patiënten gelijk aan  $n_{j,k}$  (het nieuwe type wordt ook wel aangeduid als  $j,k$ ). Het totale aantal patiënten van type  $k$  op de afdeling is dus gelijk aan  $n_k := \sum_{j \in U} n_{j,k}$ , waarbij  $U := \{j \in \{1, \dots, K\} : p_{j,k} \neq 0\}$ .

De toestand  $n$  is nu gelijk aan  $n := (n_{1,1}, n_{1,2}, \dots, n_{2,2}, n_{2,3}, \dots, n_{3,3}, \dots)$ . De gemiddelde ligduur voor patiënten die veranderd zijn van type  $j$  naar type  $k$  is  $\mu_{j,k}^{-1}$ . Het totaal aantal patiënten dat de afdeling per tijdseenheid verlaat nadat ze veranderd zijn van type  $j$  naar  $k$  is dan  $n_j \mu_{j,k} P_{j,k}$ . Zie figuur 2 voor een schematische weergave van de situatie.



FIGUUR 2: Schematische weergave van de situatie waarin een typewijziging plaatsvindt.

Een typewijziging is een vorm van een toestandsovergang. Daarom heeft het model met typeveranderingen, naast de overgangen in formule 9 en 10, ook de toestandsovergangen in formule 11. Het aantal patiënten dat per tijdseenheid verandert van type  $j$  naar  $k$  is  $\nu_{j,k}$ . Daarnaast is formule 12 van toepassing bij een overplaatsing. De ligtijd van de patiënt is dan nog niet verstreken, maar de behandeling kan niet langer worden voortgezet op de verlosafdeling van het St. Antoniusziekenhuis, en wordt daarom overgeplaatst. Het aantal patiënten van type  $j,k$  dat wordt overgeplaatst per tijdseenheid is  $\sigma_{j,k}$ . Bij een overplaatsing kan het voorkomen dat het ziekenhuis van bestemming geen plaats meer heeft, waarbij men kan kiezen voor een ruil. In dat geval komt er een willekeurige andere patiënt met type  $l,m$  voor de huidige patiënt in de plaats. Deze 'ruil' wordt weergegeven in formule 13. Het aantal patiënten van type  $j,k$  dat per tijdseenheid wordt overgeplaatst, waarvoor een patiënt van type  $l,m$  in de plaats komt, is  $\tau_{j,k,l,m}$ .

$$n \rightarrow n + e_{k,k} \quad (9)$$

$$n \rightarrow n - e_{j,k} \quad (10)$$

$$n \rightarrow n - e_{k,k} + e_{j,k} \quad \forall \quad j \neq k \quad (11)$$

$$n \rightarrow n - e_{j,k} \quad (12)$$

$$n \rightarrow n - e_{j,k} + e_{l,m} \quad (13)$$

Voor alle bovenstaande formules geldt de voorwaarde  $\forall j, k \in \{1, \dots, 8\}, \quad p_{j,k} \neq 0$ .

De toestandsovergangen in formule 11, 12 en 13 zijn altijd toegestaan, omdat de patiënt zich al op de afdeling bevindt. Het is dus mogelijk dat het systeem zich in een toestand bevindt die geen onderdeel is van de toestandruimte  $S$ . Daarom wordt een nieuwe toestandruimte  $S_1$  gedefinieerd:  $S_1 := S \cup B$ , waarbij  $B$  de set is met alle toestanden die het gevolg zijn van een typeverandering of overplaatsing c.q. ruil. De overgangsintensiteiten  $q(n, n')$  van toestand  $n$  naar  $n'$  van de Markovketen zijn als volgt:

$$q(n, n') = \begin{cases} \lambda_k & \text{als } n' = n + e_{k,k} \\ \mu_{j,k} + \sigma_{j,k} & \text{als } n' = n - e_{j,k} \\ \nu_{j,k} & \text{als } n' = n - e_{k,k} + e_{j,k} \\ \tau_{j,k,l,m} & \text{als } n' = n - e_{j,k} + e_{l,m} \\ 0 & \text{anders.} \end{cases} \quad (14)$$

### 3 Analyse

Om de verschillende modellen, het basismodel en het uitgebreide model, te simuleren, wordt gebruik gemaakt van discrete event simulation in Python. Hierbij wordt in alle gevallen de basis van de code gelegd door *animate.py*. In 3.5 wordt de simulatie van het basismodel beschreven en in 3.6 staat de beschrijving van de gebruikte methode voor het uitgebreide model.

#### 3.1 Betrouwbaarheidsinterval

Bij  $n$  observaties  $x_i$  van de stochastische variabele  $X_i, i = 1, \dots, n$  wordt een betrouwbaarheidsinterval voor de verwachtingswaarde  $E[X]$  van  $X$  gegeven door:

$$100 \cdot \% - BI(E[X]) = \bar{x} \pm t_{n-1}^{-1} \left( \frac{1 + \alpha}{2} \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

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

#### 3.2 Opwarmperiode

Aangenomen wordt dat het systeem stabiel blijft, zodra het opgewarmd is. Dit houdt het volgende in. Er worden  $N_w$  runs gedaan van ieder de lengte  $K_w$ . De statistische teller  $D_{n,k}$  (die in 3.3 verder wordt gespecificeerd voor het model voor de verlosafdeling)

geeft de  $k^e$  observatie weer voor de  $n^e$  run.  $\overline{D}_{.k}$  wordt gedefinieerd als  $\frac{1}{N_w} \sum_{n=1}^{N_w} D_{n,k}$ . De opwarmperiode is geëindigd bij  $d$  als

$$\left| \frac{\frac{1}{2d} \sum_{k=1}^{2d} \overline{D}_{.k}}{\frac{1}{d} \sum_{k=1}^d \overline{D}_{.k}} - 1 \right| \leq 0.05$$

### 3.3 Statistische tellers

De statistische teller  $D_{n,k}$  kan verschillende prestatieindicatoren representeren. In het geval van de prestatie-indicator *blokkeringskans voor patiënt van type i* is  $D_{n,k}$  een boolean die de waarde 1 heeft als een patiënt van type i wordt geweigerd en 0 als deze wordt geaccepteerd.

Voor de prestatie-indicator *productie* is  $D_{n,k}$  gelijk aan het aantal behandelde patiënten in run  $n$ .

Voor *utilisatie van kamertype j* representeert  $D_{n,k}$  de fractie van de tijd dat kamertype j gemiddeld bezet is geweest.

Tot slot is  $D_{n,k}$  voor *percentage van werktijd waarin werkdruk te hoog is en gemiddelde hoogte te hoge werkdruk* gelijk aan een lijst met als eerste onderdeel de hoogte van de werkdruk (het percentage benodigd personeel gedeeld door de totale capaciteit), en als laatste onderdeel de tijd dat dit te hoge percentage van toepassing is geweest.

### 3.4 Replication/deletion methode

De simulatie in python maakt gebruik van de replication/deletion methode'. Dat wil zeggen dat er  $N_w$  lange runs worden gedaan van elk lengte  $d + K$ , waarbij  $\overline{D}_n$  wordt gegeven door  $\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K D_{n,d+k}$ . Het betrouwbaarheidsinterval voor een prestatie-indicator wordt nu gegeven door  $95\% - BI(\overline{D}_n), n = 1, \dots, N_w$ .

### 3.5 Simulatie basismodel

De simulatie van het basismodel maakt gebruik van een aantal gebeurtenissen en in- en outputvariabelen. Deze worden hieronder beschreven.

#### 3.5.1 Variabelen

##### Startwaarden

- $n$ : rijvector met  $K$  nullen
- *geaccepteerd*: 0
- *geweigerd*: 0

##### Inputvariabelen

- *num\_runs*: aantal keer dat het model uitgevoerd wordt.
- *num\_days\_programmed*: aantal dagen dat het model wordt gedraaid per run.
- *arrival\_rate*: vector met de aankomstintensiteiten per type.
- *service\_rate*: vector met de service-intensiteiten per type.

- *service\_rate\_variance*: vector met de standaarddeviaties van de service- intensiteiten per type.
- *capacity\_overdag*: capaciteit van de verlosafdeling overdag, beginnend met het aantal obstetrie verpleegkundigen, dan het aantal neonatologie verpleegkundigen en het aantal klinisch verloskundigen en tot slot het aantal suites.
- *capacity\_avond*: capaciteit van de afdeling 's avonds.
- *capacity\_nacht*: capaciteit van de afdeling 's nachts.
- *b*: matrix met de gewichten (benodigde capaciteit) per patiënttype.

### Outputvariabelen

- *geaccepteerd*: houdt het aantal geaccepteerde patiënten bij.
- *geweigerd*: houdt het aantal geweigerde patiënten bij.

### 3.5.2 Gebeurtenissen

Naast de standaard gebeurtenissen *EndOfTime* en *EndOfSimulationRun*, die beide het einde van de simulatie markeren door respectievelijk een lege *EventList* en het doorlopen van de opgegeven tijd, maakt de simulatie ook gebruik van de volgende gebeurtenissen.

- *Request*: Een patiënt doet een aanvraag bij de verlosafdeling. Afhankelijk van de capaciteit op dat moment en de gebruikte toelatingsregel, wordt deze wel of niet toegelaten. Wordt de patiënt geaccepteerd, dan wordt de aankomst op de afdeling gepland. Aan het begin van de simulatie wordt voor ieder type patiënt de eerste aanvraag gepland, en bij iedere aanvraag wordt de volgende ingeroosterd in de *EventList*. Het totale aantal geaccepteerde en geweigerde patiënten wordt bijgehouden, om achteraf de fractie geblokkeerde patiënten te kunnen berekenen.
- *Arrival*: Bij aankomst wordt de behandeling direct gestart en wordt de toestand geüpdatet.
- *StartService*: Zodra de behandeling is gestart, wordt het einde hiervan ingepland. Dit wordt gedaan op basis van een normale verdeling voor de ligduur.
- *EndService*: Aan het einde van de ligduur van een patiënt wordt de toestand weer aangepast.

### 3.6 Simulatie uitgebreid model

Net als de simulatie van het basismodel, maakt de simulatie van het uitgebreide model gebruik van een aantal gebeurtenissen en in- en outputvariabelen. Ook zijn er enkele functies die meerdere malen worden aangeroepen. Deze gebeurtenissen, variabelen en functies worden hieronder beschreven.

### 3.6.1 Variabelen

**Startwaarden eerste run** De volgende variabelen worden elk alleen aan het begin van de eerste run geïnitieerd.

- *booleans\_geweigerd\_per\_type\_per\_run*: lege lijst om per type patiënt per run bij te houden of patiënten wel of niet geweigerd worden. Deze lijst wordt eenmalig als een lege lijst geïnitieerd en wordt aan het eind van iedere run aangevuld met *geweigerd\_booleans\_per\_type*.
- *occupations\_times\_per\_roomtype\_per\_run*: lege lijst waarin per run voor ieder kamertype wordt bijgehouden wat het bezettingspercentage was gedurende een bijbehorende tijdsperiode. Wordt na iedere run gevuld met de inhoud van *occupations\_times\_per\_roomtype* en leeg geïnitieerd.
- *list\_overworkload\_per\_type\_per\_run*: lege lijst om per type personeel per run bij te houden hoeveel tijd dit personeel gewerkt heeft onder een te hoge werkdruk; te veel patiënten per verpleeg-/verloskundige. Deze wordt na iedere run geüpdatet met de inhoud van *list\_overworkload\_per\_type*. Ook deze lijst wordt leeg geïnitieerd.
- *patient\_number\_count*: wordt aan het begin van de eerste run op 1000000000 gezet en wordt gebruikt om alle patiënten in alle runs een uniek patiëntnummer te geven.
- *total\_patients\_arrived\_per\_run*: houdt over alle runs bij hoe veel patiënten er tot nu toe zijn gearriveerd en wordt gezet op 0. Na iedere run wordt *number\_of\_arrived\_patients\_this\_run* erbij opgeteld.
- *total\_patients\_transferred\_per\_run*: houdt bij hoe veel patiënten er in alle runs overgeplaatst zijn naar een ander ziekenhuis omdat er geen kamer meer voor hen was; wordt gestart als 0 en na iedere run wordt *number\_of\_transferred\_patients\_this\_run* eraan toegevoegd.
- *yearproduction\_per\_run*: hierin wordt per run bijgehouden wat de jaarproductie is, steeds aangevuld met *yearproduction*.

#### Startwaarden iedere run

De volgende variabelen worden, in tegenstelling tot de hierboven genoemde startwaarden, aan het begin van iedere nieuwe run geïnitieerd. De lijsten die hierboven zijn genoemd, worden niet nader toegelicht.

- *patients*: lege dictionary om alle geaccepteerde patiënten in bij te houden.
- *number\_of\_arrived\_patients\_this\_run*: 0
- *number\_of\_transferred\_patients\_this\_run*: 0
- *geweigerd\_booleans\_per\_type*: lege lijst
- *list\_overworkload\_per\_type*: lege lijst
- *occupations\_times\_per\_roomtype*: lege lijst
- *list\_not\_arrived\_yet*: lijst om bij te houden welke patiënten er wel geaccepteerd zijn, maar nog niet gearriveerd; wordt gestart als lege lijst.

- *currently\_at\_ward*: lijst waarin bij wordt gehouden welke patiënten zich momenteel op de afdeling bevinden; gestart als een lege lijst.
- *n*: rijvector van het aantal patiënten dat zich op de afdeling bevindt per type patiënt; geïnitieerd als een lege vector.

### Inputvariabelen

- *num\_runs*: aantal keer dat het model uitgevoerd wordt.
- *num\_days\_per\_run*: aantal dagen dat het model wordt gedraaid per run.
- *length\_run*: aantal uren dat het model wordt gedraaid per run.
- *arrival\_rate*: vector met de aankomstintensiteiten per type.
- *LOS\_ante*: vector met de gemiddelde ligduren voor de ante-partumperiode per type.
- *LOS\_ante\_variance*: vector met de standaarddeviaties per type, bijbehorend bij de ante-partum ligduren.
- *LOS\_durante*: vector met de gemiddelde ligduren voor de durante-partumperiode per type.
- *LOS\_durante\_variance*: vector met de standaarddeviaties per type, bijbehorend bij de durante-partum ligduren.
- *LOS\_post*: vector met de gemiddelde ligduren voor de post-partumperiode per type.
- *LOS\_post\_variance*: vector met de standaarddeviaties per type, bijbehorend bij de post-partum ligduren.
- *capacity\_overdag*: capaciteit van de verlosafdeling overdag, beginnend met het aantal obstetrie verpleegkundigen, dan het aantal neonatologie verpleegkundigen en tot slot het aantal klinisch verloskundigen.
- *capacity\_avond*: capaciteit van de afdeling 's avonds, in dezelfde volgorde als *capacity\_overdag*.
- *capacity\_nacht*: capaciteit van de afdeling 's nachts.
- *rooms*: capaciteit aan suites, in de volgende volgorde: aantal verloskamers, aantal kraamkamers, aantal neonatologiekamers, aantal triagekamers.
- *b*: matrix met de gewichten per patiënttype; benodigd aantal personeelsleden per patiënt van een bepaald type.
- *kamermogelijkheden*: lijst met de mogelijkheden qua type suite voor een patiënt van een bepaald type; geordend per type.
- *type\_changes*: lijst met overgangskansen van het ene naar het andere type, per type geordend.

### Outputvariabelen

- *booleans\_geweigerd\_per\_type\_per\_run*: wordt gebruikt om de weigerkans per type te bepalen.

- *time\_workload\_too\_high\_per\_type\_per\_run*: hiermee wordt de tijd per dag dat het personeel gewerkt heeft onder een te hoge werkdruk bepaald per type personeel.
- *total\_patients\_arrived*: wordt gebruikt om de productie te bepalen over bijvoorbeeld een jaar tijd.
- *total\_patients\_transferred*: wordt zo laag mogelijk gehouden d.m.v. het aanpassen van de toelatingsregel, aangezien het wegplaatsen van patiënten zo veel mogelijk moet worden voorkomen. Wordt tevens gebruikt om de productie te bepalen.

### 3.6.2 Gebeurtenissen

Naast de standaard gebeurtenissen *EndOfTime* en *EndOfSimulationRun*, die beide het einde van de simulatie markeren door respectievelijk een lege *EventList* en het doorlopen van de opgegeven tijd, maakt de simulatie ook gebruik van de volgende gebeurtenissen. Sommige onderdelen komen overeen met de beschrijving van de simulatie van het basismodel.

- *Request*: Een patiënt doet een aanvraag bij de verlosafdeling. Afhankelijk van de capaciteit op dat moment en de gebruikte toelatingsregel, wordt deze wel of niet toegelaten. Zo ja, dan wordt de acceptatie *Accept* op hetzelfde tijdstip gepland. *geweigerd\_booleans\_per\_type* wordt geüpdatet met een 1 (geaccepteerd) of een 0 (geweigerd). Aan het begin van de simulatie wordt voor ieder type patiënt de eerste aanvraag gepland, en bij iedere aanvraag wordt de volgende ingeroosterd in de *EventList*.
- *Accept*: Wordt een patiënt geaccepteerd, dan wordt de aankomst *Arrival* op de afdeling gepland en wordt de patiënt toegevoegd aan *list\_not\_arrived\_yet*. Afhankelijk van de overgangskansen naar andere types, wordt wel of geen typeverandering gepland na de aankomst. De patiënt wordt toegevoegd aan *patients*, met alle benodigde details.
- *Arrival*: Bij aankomst wordt de start van de ante-partumperiode *StartAntePartumPeriod* gepland op hetzelfde tijdstip en wordt de toestand *n* geüpdatet. *number\_of\_arrived\_patients\_this\_run* wordt met 1 verhoogd. De patiënt wordt uit *list\_not\_arrived\_yet* gehaald en toegevoegd aan *currently\_at\_ward*.
- *StartAntePartumPeriod*, *StartDurantePartumPeriod* en *StartPostPartumPeriod*: Zodra de ante-, durante- of post-partumperiode is gestart, wordt de volgende fasestart of het einde van de ligduur *EndLOS* ingepland. Echter, dit gebeurt alleen als er daardoor niet meer kamers nodig zijn dan er beschikbaar zijn. Anders wordt de patiënt overgeplaatst naar een ander ziekenhuis, wordt *EndLOS* op hetzelfde tijdstip gepland en wordt *number\_of\_transferred\_patients\_this\_run* met 1 verhoogd. De nieuwe werklust voor het personeel wordt gecheckt, als deze te hoog is, wordt dat geregistreerd in *time\_workload\_too\_high\_per\_type*. *n* wordt geüpdatet, behalve bij *StartAntePartumPeriod*, want dat is bij *Arrival* al gedaan.
- *EndLOS*: Aan het einde van de ligduur van een patiënt wordt de toestand *n* weer aangepast. Als de ligduur is beëindigd omdat de patiënt is overgeplaatst, staan er nog gebeurtenissen gepland, deze worden dan verwijderd. De patiënt wordt daarna verwijderd uit *currently\_at\_ward*.

- *ChangeType*: Bij een typeverandering wordt de toestand  $n$  aangepast en worden alle geplande gebeurtenissen voor deze patiënt verwijderd uit de *eventList*. Als er voldoende personeel en een kamer beschikbaar zijn, wordt de eerstvolgende fasestart of het einde van de ligduur ingepland. Is er geen kamer, dan wordt de patiënt overgeplaatst naar een ander ziekenhuis en wordt dit geregistreerd. Is er wel een kamer, maar onvoldoende personeel, dan wordt de duur van de te hoge werkdruk opgeslagen.

### 3.6.3 Functies

- *CheckPersonnelAvailable*: kijkt of er genoeg personeel beschikbaar is. Is er niet voldoende beschikbaar, dan geeft het terug hoeveel te hoog de werkdruk is.
- *CheckRoomAvailable*: kijkt of er een kamer beschikbaar is, en zo ja, welke kamer.
- *warmup\_period\_check*: checkt wanneer het systeem 'opgewarmd' is; vanaf wanneer de statistische variabelen kunnen worden gebruikt voor een betrouwbaarheidsinterval.
- *calculate\_confidence\_interval*: Berekent een 95%-betrouwbaarheidsinterval en de relatieve precisie daarvan.

## 4 Casusstudie

### 4.1 Input

De benodigde input voor het uitgebreide model van de verlosafdeling wordt beschreven in 4.1.1. De gebruikte input voor de scenarioanalyse in 4.3 wordt weergegeven in 4.1.2.

#### 4.1.1 Uitgebreed model

Er zijn verschillende types patiënten op de verlosafdeling, elk met hun eigen aantal benodigde personeelsleden.

1. eerstelijns/poliklinische partus, eerste bevalling: hebben geen zorg nodig, alleen een suite
2. eerstelijns partus, subsequeante bevalling: hebben geen zorg nodig, alleen een suite
3. a-terme (niet premature) tweedelijns/klinische partus: 0.33 obstetrieverpleegkundige tijdens ante- en post-partumperiode, 1 obstetrieverpleegkundige en 1 klinisch verloskundige tijdens durante-partumperiode.
4. a-terme tweedelijns partus met neonatologie kind: extra t.o.v. type 3: 0.4 neonatologie verpleegkundige tijdens post-partumperiode (relatief korte ligduur)
5. premature tweedelijns partus: zie type 4 (relatief lange ligduur)
6. sectio/tangverlossing: 0.33 obstetrieverpleegkundige tijdens ante- en post-partumperiode, 1 obstetrieverpleegkundige tijdens durante-partumperiode (=sectio).
7. premature sectio/tangverlossing: zie type 6 (relatief lange ligduur)
8. Consult (alleen 's avonds en 's nachts): 1 obstetrieverpleegkundige bij voorbereiding en 1 klinisch verloskundige bij consult zelf. Wordt geïnterpreteerd als 0.3 o. verpleegkundige en 0.7 k. verloskundige gedurende het hele consult.



9. a-terme baby (zonder opname moeder): 0.4 neonatologie verpleegkundige
10. premature baby (zonder opname moeder): 0.4 neonatologie verpleegkundige (relatief lange ligduur)
11. sectio/tangverlossing met neonatologie kind: zie type 6 (relatief korte ligduur)

De capaciteit aan personeel is overdag (4, 2, 3) en 's avonds en 's nachts (4, 2, 2). De suitecapaciteit is (13, 13, 6, 2) (verlos-, kraam-, neosuites en triagekamers). De aankomstintensiteiten per type zijn onbekend. De bepaling hiervan wordt nader toegelicht in [appendix]. De gemiddelde duur van de ante-, durante- en post-partumfasen en de standaarddeviaties daarbij zijn als volgt:

- *LOS\_ante*: onbekend
- *LOS\_ante\_variance*: onbekend
- *LOS\_durante*: nog onbekend
- *LOS\_durante\_variance*: onbekend
- *LOS\_post*: onbekend
- *LOS\_post\_variance*: onbekend

Er zijn 4 soorten kamers: verlossuites (1), kraamsuites (2), neosuites (3) en triagekamers (4). De kamermogelijkheden per type patiënt op volgorde van fase zijn als volgt:

1. (1,2,3,4), (1), (1,2)
2. (1,2,3,4), (1), (1,2)
3. (1,2,3,4), (1), (1,2)
4. (1,2,3,4), (1), (3)
5. (1,2,3,4), (1), (3)
6. (2,1,3,4), geen, (2,1,3)
7. (2,1,3,4), geen, (3,1)
8. (4), geen, geen
9. geen, geen, (3,1)
10. geen, geen, (3,1)
11. (2,1,3,4), geen, (3,1)

De waarden voor de overgangskansen  $p_{j,k}$  van de verschillende typen zijn onbekend.

### 4.1.2 Basismodel

Voor een analyse van het proces op de verlosafdeling die deels berust op gegevens uit de realiteit, worden de types onderscheiden uit de data en worden hierbij een aankomstintensiteit en een ligduur bepaald. Alle overige input komt voort uit aannames. Er worden hierbij 4 types patiënten onderscheiden. Elk van deze types heeft een bepaald aantal benodigde personeelsleden, waarvan wordt aangenomen dat deze gedurende de gehele ligduur hetzelfde is. Allen hebben een suite nodig. Er zijn 26 verlos-/kraamsuites en 6 neonatologie suites. De aantallen personeelsleden en de soort suite die benodigd zijn per type zijn als volgt:

1. opname gezonde zuigeling: 0.3 n.v., neosuite
2. klinische opname zuigeling: 0.5 n.v., neosuite
3. poliklinische bevalling: geen personeel, verlossuite
4. klinische bevalling: 0.33 o.v, verlossuite

Hierbij zijn er dus twee typen personeel, namelijk obstetrie en neonatologie verpleegkundigen. De capaciteit hiervan is zowel overdag als 's avonds en 's nachts gelijk aan (4,2).

De aankomstintensiteiten op volgorde van type zijn (0.007039174, 0.160452198, 0.013554698, 0.208427013). Deze waarden zijn gebaseerd op de opnametijdstippen van de patiënten en zijn dus eigenlijk gelijk aan  $\lambda_k \cdot (1 - B_k)$ . Omdat de blokkeringskans een outputvariabele is van het model, wordt aangenomen dat de werkelijke aankomstintensiteiten een factor 1.1 groter zijn: (0.007743091, 0.176497417, 0.014910168, 0.229269714).

De gemiddelde ligduren en standaarddeviaties zijn:

1. 52.51, 21.14856883
2. 66.02, 90.94892954
3. 58.37, 108.8384061
4. 57.64, 76.81830647

Deze waarden zijn gebaseerd op de opname- en ontslagtijdstippen van de patiënten. Hoewel een normale verdeling niet aannemelijk lijkt met bovenstaande waarden, wordt dit wel aangenomen.

### 4.1.3 Scenario's

Voor de huidige situatie, waarvan de analyse wordt beschreven in B.1, wordt de input gebruikt zoals die is beschreven in 4.1.2. Deze situatie wordt vervolgens vergeleken met twee scenario's. Ten eerste wordt gekeken naar het effect van het verschuiven van de balans tussen eerste- en tweedelijns zorg (B.2). Dit wordt gedaan door de toelatingsregel zo aan te passen dat er voor eerstelijns patiënten, oftewel poliklinische bevallingen capaciteit aan personeel en suites wordt gereserveerd. Daarnaast wordt gekeken naar het effect van het veranderen van de personele capaciteit. Dit wordt gedaan door de personele capaciteit zowel te verhogen (tweede scenario, (B.3)) als te verlagen (derde scenario, (B.4)).

## 4.2 Theoretische validatie

### 4.2.1 Implementatie Monte-Carlosommatie

In het geval van één type patiënt met een gewicht  $b_1 = 1$ , aankomstintensiteit  $\lambda = 4$  en ligduur van  $\mu^{-1} = 1/5$ , waarbij de capaciteit  $C$  van de verlosafdeling 4 is, wordt de blokkeringskans  $B_1$  gegeven door:

$$B_1 = 1 - \frac{\sum_{n \in S_1} \prod_{j=1}^K \rho_j^{n_j} / n_j!}{\sum_{n \in S} \prod_{j=1}^K \rho_j^{n_j} / n_j!} = 1 - \frac{\sum_{n=0}^3 \frac{4^n}{5} / n!}{\sum_{n=0}^4 \frac{4^n}{5} / n!} = 0.007679386$$

De Monte-Carlosommatie, geïmplementeerd in Matlab, geeft voor  $N = 100000$  het volgende 95%-betrouwbaarheidsinterval:

$$0.007590000000000 \pm 6.208136051210226 \cdot 10^{-4} = (0.006969186394879, 0.008210813605121)$$

Deze waarden komen genoeg overeen om de implementatie van de Monte-Carlosommatie als correct te beschouwen.

### 4.2.2 Implementatie discrete event simulation

De blokkeringskans wordt uitgerekend met behulp van de Monte-Carlosommatie, waarbij dit maal 9 verschillende types worden onderscheiden. Hierbij is  $N = 100000$  en is de input als volgt:

$$\begin{aligned} C &= [4, 2, 3, 32] \\ b_1 &= [0, 0, 0, 1] \\ b_2 &= [0, 1/3, 0, 1] \\ b_3 &= [0.4, 1/3, 0, 1] \\ b_4 &= [0, 1, 0, 1] \\ b_5 &= [0.4, 1, 0, 1] \\ b_6 &= [0, 0.5, 0.5, 1] \\ b_7 &= [0.4, 0, 0, 1] \\ b_8 &= [0.4, 0, 0, 1] \\ b_9 &= [0.4, 0, 0, 1] \\ arrival\_rates &= [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] \\ service\_rates &= [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] \end{aligned}$$

De Monte-Carlosommatie geeft het volgende 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de blokkeringskans  $B_2$ :

$$0.245300000000000 \pm 0.003077731441119 = (0.242222268558881, 0.248377731441119)$$

Volgens de discrete event simulation in Python wordt de fractie van geweigerde patiënten van type 2 gegeven door het 95%-betrouwbaarheidsinterval

(0.24358393398961536, 0.2562599249175114)

waarbij  $N_w = 100$  en  $K_w = 150$  dagen en de input hetzelfde als voorheen. Omdat deze betrouwbaarheidsintervallen overeenkomen, kan de implementatie van de discrete event simulation als juist worden beschouwd.

### 4.3 Scenarioanalyse

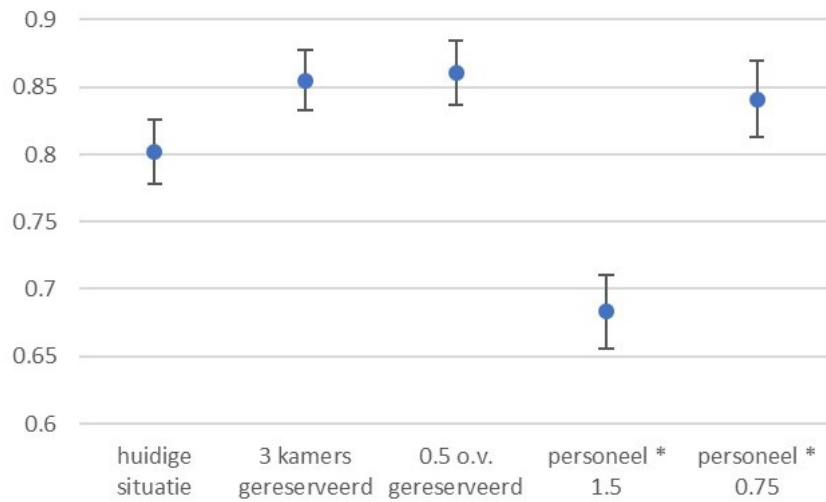
Elk van de scenario's genoemd in 4.1.3 wordt uitgevoerd met  $N_w = 50$  runs en  $K_w = 300$  dagen per run. De resultaten hiervan worden hieronder in grafieken weergegeven. De exacte grenzen voor alle betrouwbaarheidsintervallen worden gegeven in appendix B. De prestatie-indicatoren worden hierbij aangeduid met elk hun eigen symbool, volgens onderstaande opsomming.

- $X_1$ : = 95%-BI voor fractie geweigerde patiënten van type 1
- $X_2$ : = 95%-BI voor fractie geweigerde patiënten van type 2
- $X_3$ : = 95%-BI voor fractie geweigerde patiënten van type 3
- $X_4$ : = 95%-BI voor fractie geweigerde patiënten van type 4
- $X_5$ : = 95%-BI voor deel van de werktijd met te hoge werkdruk voor obstetrie verpleegkundigen
- $X_6$ : = 95%-BI voor de gemiddelde hoogte van de te hoge werkdruk voor obstetrie verpleegkundigen
- $X_7$ : = 95%-BI voor deel van de werktijd met te hoge werkdruk voor neonatologie verpleegkundigen
- $X_8$ : = 95%-BI voor de gemiddelde hoogte van de te hoge werkdruk voor neonatologie verpleegkundigen
- $X_9$ : = 95%-BI voor de gemiddelde jaarproductie
- $X_{10}$ : = 95%-BI voor de utilisatie van verlos-/kraamsuites
- $X_{11}$ : = 95%-BI voor de utilisatie van neonatologie suites

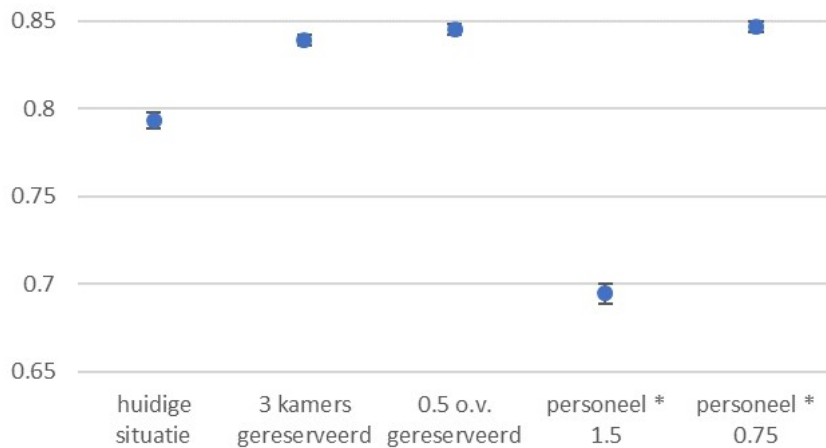
## 5 Discussie

### 5.1 Algemeen

De behandelde scenario's geven inzichten die deels antwoord kunnen geven op de deelvragen 1 en 2. Zij geven alleen een kwalitatief antwoord; voor een kwantitatief antwoord moeten meerdere versies van de scenario's worden bekeken en met elkaar worden vergeleken per prestatie-indicator. Echter, omdat de gebruikte simulatie de situatie op de verlosafdeling niet juist weergeeft, is een kwantitatieve analyse in dit geval niet zinvol. Voor het beantwoorden van deelvragen 3 en 4 is aanvullende informatie nodig, die niet (correct) uit de data van het ziekenhuis is te extraheren. Het gaat hierbij om de overgangskansen tussen



FIGUUR 3: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_1$  voor de verschillende scenario's.



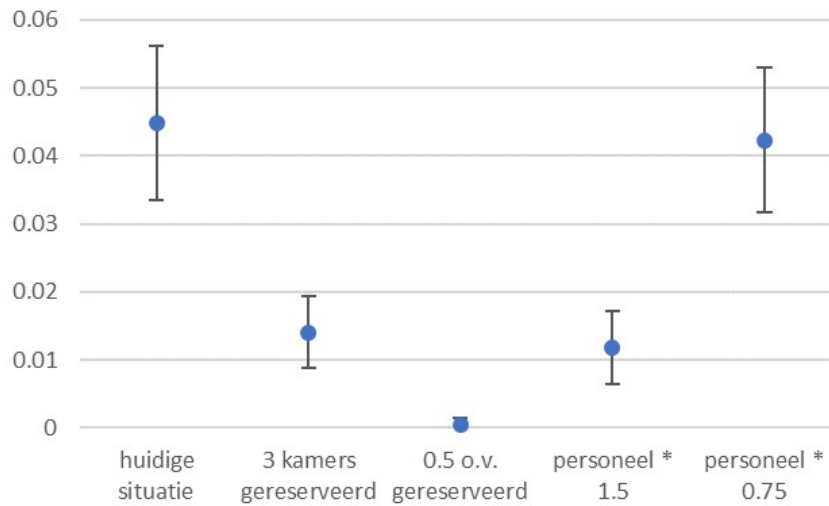
FIGUUR 4: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_2$  voor de verschillende scenario's.

verschillende types en de fase-duren. Er zouden eventueel wel meer types te onderscheiden zijn, dit kost vooral extra tijd. Maar dat zou de verlosafdeling nog niet nauwkeurig weerspiegelen.

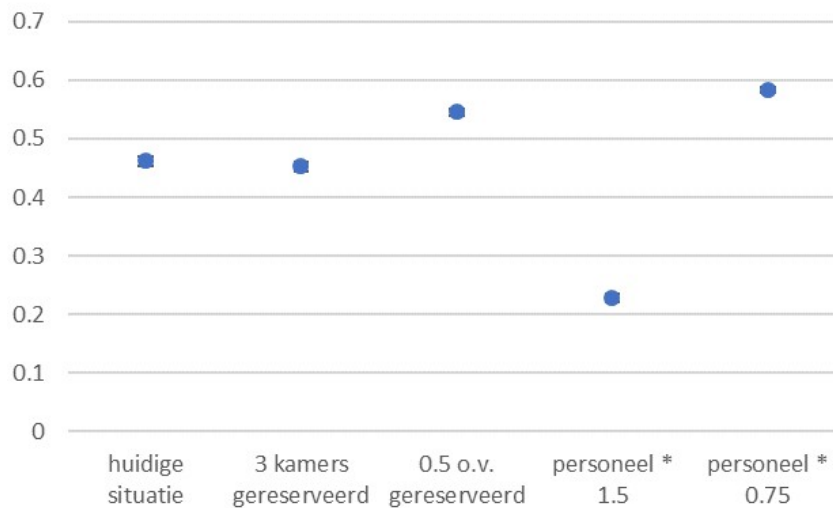
De betrouwbaarheidsintervallen hebben niet in alle gevallen een relatieve precisie van minder dan 10%, omdat daar erg veel runs voor nodig zouden zijn.

## 5.2 Scenario's

Bij het uitvoeren van de verschillende scenario's wordt het basismodel gebruikt, dat de werkelijkheid niet goed weergeeft. De reden hiervoor is dat uit de beschikbare data uit het ziekenhuis niet de typeovergangskansen en fase-duren correct te herleiden zijn, waardoor



FIGUUR 5: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_3$  voor de verschillende scenario's.

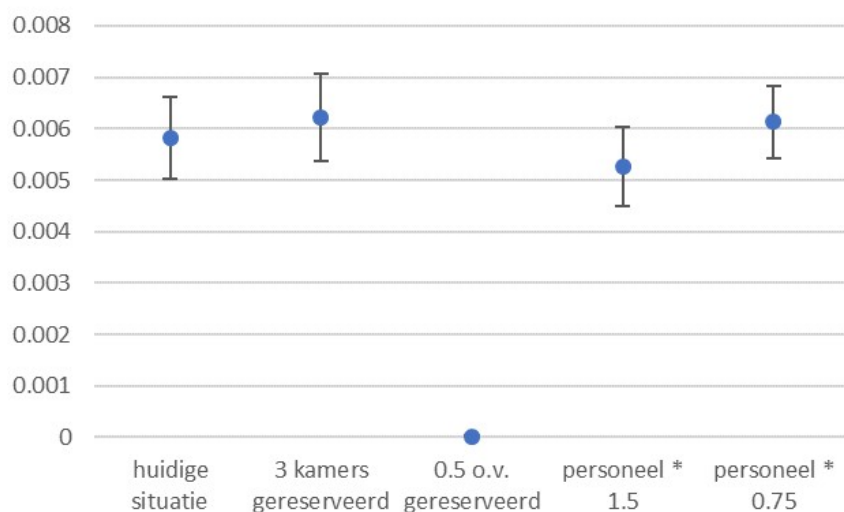


FIGUUR 6: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_4$  voor de verschillende scenario's.

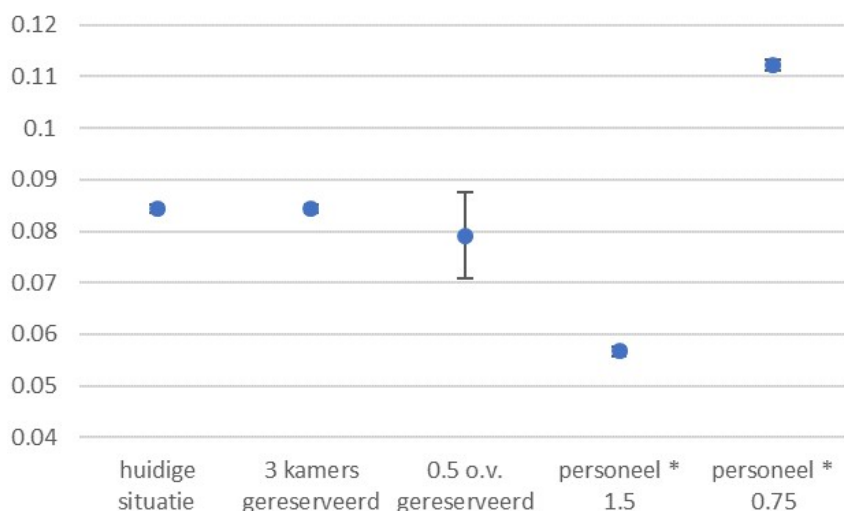
de input voor het uitgebreide model niet compleet is. Daarom is het basismodel dusdanig aangepast, dat het compatibel is met de gegevens die wel uit de data te verkrijgen zijn. Opvallend is dat de blokkeringskansen voor alle types aan de hoge kant zijn, wat te verklaren is door de waarden van de ligduren en aankomstintensiteiten; het systeem is meestal vol, waardoor patiënten regelmatig geweigerd worden.

### 5.3 Verschuiven balans naar meer eerstelijns zorg

Zowel het reserveren van kamers als het reserveren van obstetrie verpleegkundigen voor patiënten van type 3 (eerstelijns bevallingen) resulteert in een lagere weigeringskans voor deze patiënten, zoals verwacht (figuur 5). Bij het reserveren van 3 kamers gaan de blok-



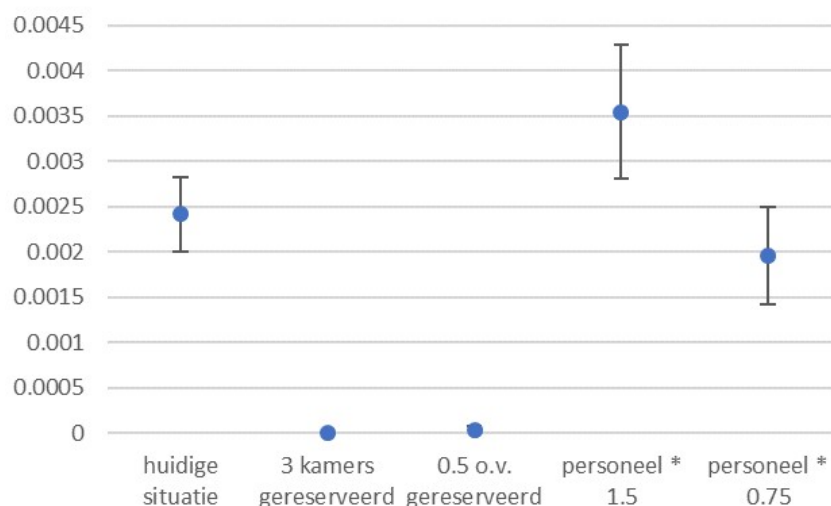
FIGUUR 7: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_5$  voor de verschillende scenario's.



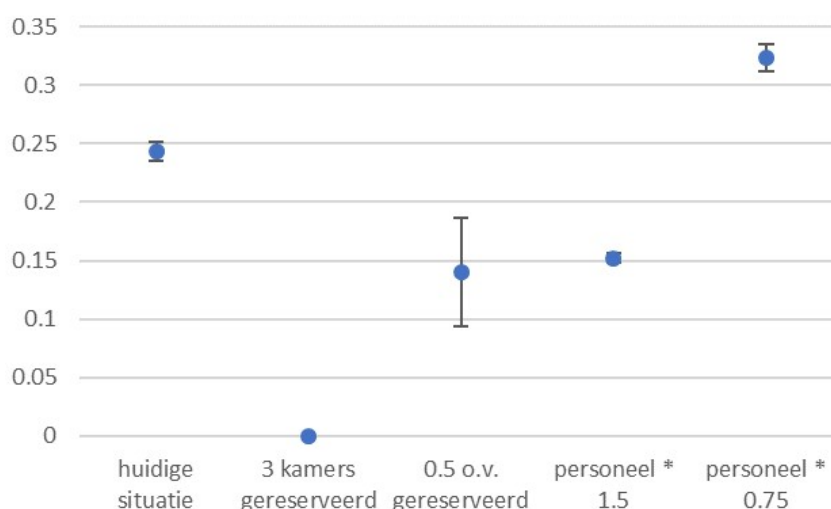
FIGUUR 8: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_6$  voor de verschillende scenario's.

keringskansen voor type 1 (figuur 3) en 2 (figuur 4) licht omhoog, voor type 4 (figuur 6) verandert het nauwelijks. Reserveren van personeel levert ook een iets hogere weigerkans voor type 4 op (figuur 6). Over het algemeen gaan de blokkeringskansen voor de andere types dus omhoog, zoals verwacht.

Bij het reserveren van personeel gaat de te hoge werkdruk voor de obstetrie verpleegkundigen omlaag (figuur 7), omdat bij aankomst van een patiënt die een o.v. nodig heeft er meestal nog personeel over is, omdat dat gereserveerd wordt. Ook de werkdruk voor neonatologie verpleegkundigen is minder, bij beide manieren van reserveren (figuur 9 en 10), waarschijnlijk doordat er meer patiënten in het systeem zijn die geen neonatologie verpleegkundige nodig hebben. Kamerreservering heeft geen noemenswaardig effect op de



FIGUUR 9: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_7$  voor de verschillende scenario's.



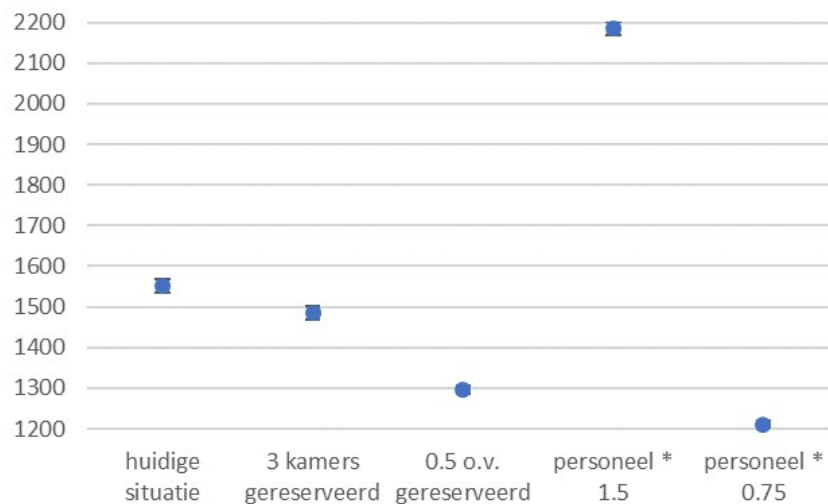
FIGUUR 10: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_8$  voor de verschillende scenario's.

werkdruk voor obstetrie verpleegkundigen. Een oorzaak kan zijn dat er in deze configuraties naar verhouding al vrij veel kamers zijn en dit personeel volop benut wordt.

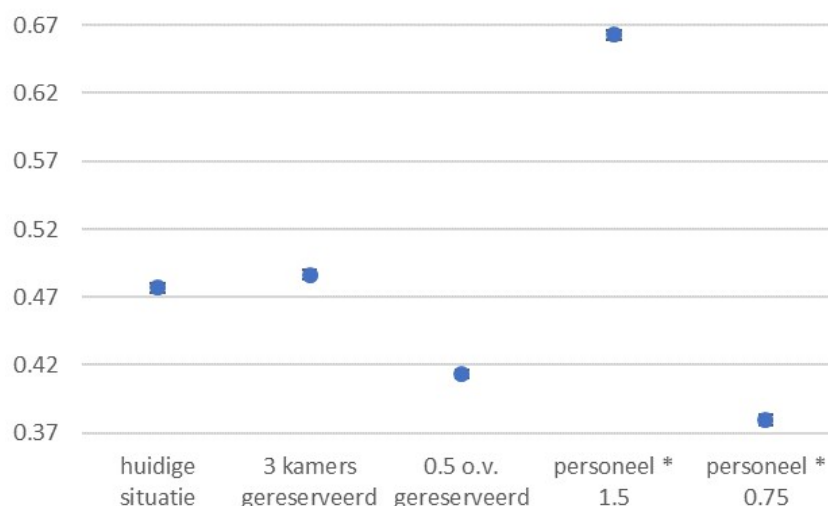
Een mogelijke reden om de patiëntenbalans te verschuiven, zou zijn om de jaarproductie omhoog te brengen. Echter, de ligduren van de poliklinische bevallingen in de data zijn niet lager dan die van klinische bevallingen, waardoor de jaarproductie niet hoger ligt (figuur 11). Anders zou een hogere jaarproductie te verwachten zijn. De jaarproductie ligt in beide gevallen zelfs lager, doordat de ligduren naar verhouding langer zijn; er zijn minder type 1 patiënten in het systeem (met de kortste ligduur).

De utilisatie van kamertype 1 blijft gelijk bij het reserveren van 3 kamers voor type 3 (figuur 12), maar gaat iets omlaag bij het reserveren van personeel. De verwachting zou zijn dat deze utilisatie juist omhoog gaat in beide gevallen. De utilisatie van kamertype





FIGUUR 11: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_9$  voor de verschillende scenario's.

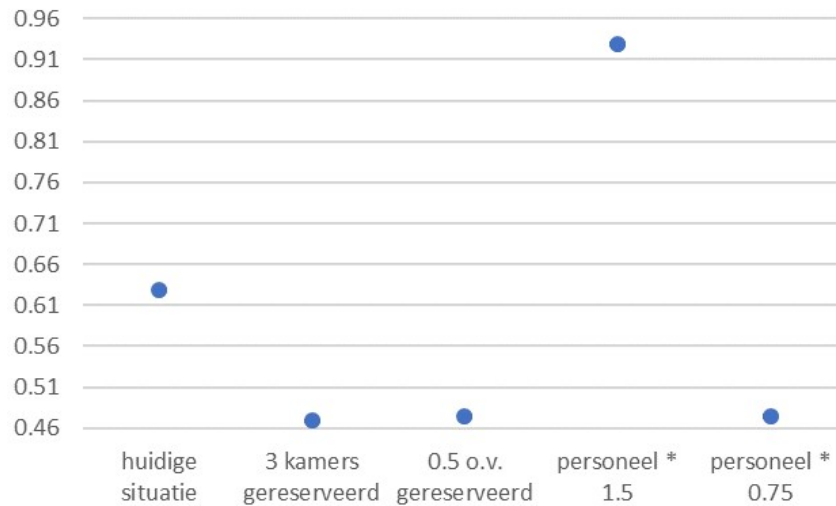


FIGUUR 12: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_{10}$  voor de verschillende scenario's.

2 gaat in beide gevallen omlaag (figuur 13): er zijn waarschijnlijk meer patiënten in het systeem die zo een kamer niet gebruiken.

#### 5.4 Verhogen personele capaciteit

Verhogen van de personele capaciteit levert, zoals verwacht, een lagere weigerkans op voor alle patiënten (figuur 3 t/m 6). Op de werkdruk heeft het niet of nauwelijks effect (figuur 7 t/m 10), wat suggereert dat de personele capaciteit in deze configuratie de beperkende factor is voor de volheid van het systeem. Dat blijkt inderdaad zo te zijn: zowel de jaarlijkse productie (figuur 11) als de utilisatie van beide kamertypes (figuur 12 en 13) gaat omhoog.



FIGUUR 13: De 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor  $X_{11}$  voor de verschillende scenario's.

### 5.5 Verlagen personele capaciteit

Als de personele capaciteit inderdaad de beperkende factor is, zou een verlaging hiervan alle prestatie-indicatoren ten negatieve moeten beïnvloeden. Dit blijkt voor de meeste indicatoren inderdaad het geval: de weigerkansen gaan omhoog (behalve van type 3, die blijft ongeveer gelijk) (figuur 3 t/m 6), de hoogte van de te zware werkdruk voor beide soorten verpleegkundigen gaat omhoog (het deel van de werktijd dat dit van toepassing is blijft ongeveer gelijk) (figuur 7 t/m 10), de jaarproductie gaat omlaag (figuur 11) en de kamerutilisatie gaat omlaag voor beide suitetypes (figuur 12 en 13).

## 6 Conclusies

Het verschuiven van de patiëntenbalans naar meer eerstelijns zorg resulteert erin dat er minder eerstelijns bevallingen worden geweigerd. Andere patiënten worden iets vaker geweigerd. Wordt dit gedaan door personeel te reserveren voor de poliklinische bevallingen, dan is de werkdruk voor obstetrie verpleegkundigen minder hoog en voor neonatologie verpleegkundigen minder vaak te hoog. Neosuites zijn naar verhouding minder vaak bezet bij deze verschoven balans. De jaarproductie gaat in deze situatie omlaag, doordat de poliklinische bevallingen een relatief lange ligduur hebben in de data.

De personele capaciteit is de beperkende factor in het bekeken systeem: bij verhoging van de capaciteit gaat de weigerkans in het algemeen omlaag, de productie gaat omhoog en de utilisatie van de kamers ook. Verlaging heeft het tegenovergestelde effect.

## Referenties

- [1] C. Harvey and C.R. Hills. Determining grades of service in a network. *British Post Office London*, 1979.
- [2] Keith W. Ross. *Multirate Loss Models for Broadband Telecommunications Networks*. 01 1995.

## A Begrippenlijst

Begrip/afkorting	Betekenis
ante partum	voorafgaand aan de bevalling
durante partum	tijdens de bevalling
k.v.	klinisch verloskundige
n.v.	neonatologie verpleegkundige
o.v.	obstetrie verpleegkundige
partus	bevalling
prematuur	vroeggeboren
post partum	na de bevalling
sectio	keizersnede

## B Resultaten scenarioanalyse

### B.1 Huidige situatie

De configuratie van de huidige situatie levert de volgende resultaten op.

- $X_1 = [0.7780128387550648, 0.8263562010028277]$   
relative precision = 3.013232058819714 %
- $X_2 = [0.7885247541540532, 0.7978183826345171]$   
relative precision = 0.5858523458725365 %
- $X_3 = [0.03345997241096997, 0.05620658824611326]$   
relative precision = 25.368003041997355 %
- $X_4 = [0.45421173609717397, 0.46990591788174113]$   
relative precision = 1.6982882771467196 %
- $X_5 = [0.005025176860755934, 0.00661247351179717]$   
relative precision = 13.6393223737397 %
- $X_6 = [0.08352877727205324, 0.08517900080485252]$   
relative precision = 0.9781549799363888 %
- $X_7 = [0.0020060531684973795, 0.002830201544192996]$   
relative precision = 17.041045698710693 %
- $X_8 = [0.2353350408353045, 0.25162649762623396]$   
relative precision = 3.3455325532277542 %
- $X_9 = [1535.414378591651, 1567.693954741682]$   
relative precision = 1.0402336200540143 %
- $X_{10} = [0.4734486306005155, 0.48014765235595375]$   
relative precision = 0.7025008250524076 %
- $X_{11} = [0.6265231686810772, 0.630432720928053]$   
relative precision = 0.3110333687359192 %

## B.2 Verschuiven balans naar meer eerstelijns zorg

Het reserveren van 3 kamers voor eerstelijns bevellingen levert het volgende op.

- $X_1 = [0.8326011910346185, 0.8778123077467936]$   
relative precision = 2.6432857753043937 %
- $X_2 = [0.8356362607238484, 0.8420607901857174]$   
relative precision = 0.38293739971623625 %
- $X_3 = [0.00876622410197652, 0.019336857939772176]$   
relative precision = 37.613788488011345 %
- $X_4 = [0.445232851070923, 0.4606142751870345]$   
relative precision = 1.6980154454595406 %
- $X_5 = [0.005367689750374937, 0.00707443783453273]$   
relative precision = 13.717493833032893 %
- $X_6 = [0.08350670796348345, 0.08513934103582635]$   
relative precision = 0.9680826097204208 %
- $X_7 = [0.0, 0.0]$   
relative precision = 0 %
- $X_8 = [0.0, 0.0]$   
relative precision = 0 %
- $X_9 = [1468.6091578987791, 1501.7608421012208]$   
relative precision = 1.1160792831344808 %
- $X_{10} = [0.4827452433110996, 0.4898029497662839]$   
relative precision = 0.7256922078948043 %
- $X_{11} = [0.4680854343678485, 0.4699108397321023]$   
relative precision = 0.19460688860468614 %

Het reserveren van 0.5 obstetrie verpleegkundige levert daarnaast deze resultaten op:

- $X_1 = [0.8364036376388383, 0.8845073124641932]$   
relative precision = 2.795244856944797 %
- $X_2 = [0.8417324528000649, 0.8485196845412293]$   
relative precision = 0.40155143668922766 %
- $X_3 = [-0.0004633027522936, 0.0013807339449541]$   
relative precision = 200.99999999999997 %
- $X_4 = [0.5396736138107752, 0.5509908078463801]$   
relative precision = 1.03764217580413 %
- $X_5 = [-1.227941902667313 \cdot 10^{-5}, 3.6595100267610015 \cdot 10^{-5}]$   
relative precision = 201.00000000000003 %
- $X_6 = [0.07079166666666664, 0.08754166666666663]$   
relative precision = 10.578947368421053 %

- $X_7 = [-1.0484619249196927 \cdot 10^{-5}, 7.517192003136831 \cdot 10^{-5}]$   
relative precision = 132.4163139361864 %
- $X_8 = [0.09354288055240162, 0.1864571194475983]$   
relative precision = 33.183656748284534 %
- $X_9 = [1287.3125385235564, 1306.7424614764434]$   
relative precision = 0.7490173860186919 %
- $X_{10} = [0.4104974881640013, 0.41632942066108586]$   
relative precision = 0.7053389814528028 %
- $X_{11} = [0.472730860214717, 0.47674556829053183]$   
relative precision = 0.4228338856326466 %

### B.3 Verhogen personele capaciteit

Bij het verhogen van de personele capaciteit met een factor 1.5 worden de volgende resultaten verkregen:

- $X_1 = [0.6558059744284632, 0.7105342265842784]$   
relative precision = 4.005463069537889 %
- $X_2 = [0.6889282790864923, 0.7005334374627963]$   
relative precision = 0.8352269255122252 %
- $X_3 = [0.006527346605813226, 0.017133836987864214]$   
relative precision = 44.82654191857576 %
- $X_4 = [0.2222964198745637, 0.23507279803443]$   
relative precision = 2.7934495063479594 %
- $X_5 = [0.004507061659043598, 0.006039603916326836]$   
relative precision = 14.531059568838275 %
- $X_6 = [0.05574193843692437, 0.05764664511097294]$   
relative precision = 1.6798046279888452 %
- $X_7 = [0.002802358431401102, 0.004282143945424105]$   
relative precision = 20.88764228329813 %
- $X_8 = [0.1480561031852049, 0.15645832682922506]$   
relative precision = 2.759220193152092 %
- $X_9 = [2169.678870059802, 2201.5611299401976]$   
relative precision = 0.7293642051316129 %
- $X_{10} = [0.6595178595154456, 0.6666478747331859]$   
relative precision = 0.5376413395102552 %
- $X_{11} = [0.9275302256124408, 0.9308672319234114]$   
relative precision = 0.1795636502535539 %

## B.4 Verlagen personele capaciteit

Als de personele capaciteit 0.75 keer zo groot wordt, zijn de resultaten als hieronder gegeven.

- $X_1 = [0.8125346035714544, 0.8694170678341658]$   
relative precision = 3.381932146431678 %
- $X_2 = [0.8436468013023253, 0.8500967785575251]$   
relative precision = 0.38081190871486714 %
- $X_3 = [0.03171201392038967, 0.05302062059648257]$   
relative precision = 25.14805163039025 %
- $X_4 = [0.5779534172178961, 0.5887786849090605]$   
relative precision = 0.9278280482237512 %
- $X_5 = [0.005420115436243627, 0.006834986074944771]$   
relative precision = 11.545156418406053 %
- $X_6 = [0.11119325503437744, 0.11323595772816875]$   
relative precision = 0.9101768297661664 %
- $X_7 = [0.0014232740025578825, 0.0024936084996818363]$   
relative precision = 27.326183425515676 %
- $X_8 = [0.3119461066948242, 0.3354963027475852]$   
relative precision = 3.6374194382853173 %
- $X_9 = [1201.191847023378, 1219.6098196432883]$   
relative precision = 0.7608212136300674 %
- $X_{10} = [0.37604041049764303, 0.3832571102020744]$   
relative precision = 0.950444260344881 %
- $X_{11} = [0.4721858842050804, 0.4756021370385077]$   
relative precision = 0.3604448206619922 %

## C Logboek verkrijgen data

*Een logboek van de manier waarop de data is verkregen*

- 7-11: met anne marie afgesproken: 13-11 afspraak met hans voor data
- 13-11: hans blijkt ziek, afspraak geannuleerd
- 16-11: 21-11 nieuwe afspraak met hans
- 19-11: 21-11 gaat niet door, hans gemaild voor nieuwe afspraak
- 22-11: hans opnieuw gemaild
- 27-11: hans opnieuw gemaild
- 28-11: hans was het vergeten, afspraak gemaakt voor 6 december
- 6-12: hans verwijst door naar BI, maar eerst moet reporting workbench worden gebruikt om een correcte aanvraag te kunnen doen. jeroen gevraagd wie hierbij kan helpen
- 7-12: jeroen mailt andere jeroen voor reporting workbench
- 12-12: nog geen reactie, jeroen becker gemaild
- 13-12: jeroen becker mailt joost, joost laat tine contact opnemen
- 18-12: tine mailt, afspraak gemaakt voor 19-12
- 19-11: afspraak tine. ze heeft nog enkele gegevens nodig voor ze aan de slag kan: ZA-codes > jeroen (direct gemaild), weigeringen > chantal (zelf doen, zonder tine, is gelukt, blijkt onbruikbaar, uit logboek gelaten), inzet personeel > jasmijn de kok (zelf doen, blijkt niemand te hebben, dus maar weggelaten), registratie typeveranderingen > anne marie zegt: marjolein touw, werkt vanavond. marjolein direct gemaild
- 20-11: geen reactie marjolein, anne marie gebeld, gaat kijken wanneer ze wel werkt
- 21-11: ZA-codes ontvangen van jeroen, tine gestuurd
- 21-11: anne marie geappt of ze al iets weet over marjolein, gebeld dat yolanda hering misschien kan helpen. anne marie denkt van niet
- 24-11: anne marie appt dat ze geen duidelijkheid krijgt over wie helpen kan
- 29-11 reactie marjolein: kan niet helpen, misschien mathilda verhoef. direct gemaild
- 1-1: mathilda verhoef verwijst door naar m. de wit, anne marie geappt bij wie ik nu moet zijn
- 2-1: mail anne marie: corrie van boggelen weet veel van registreren in epic. direct gebeld voor afspraak 3-1
- 3-1: corrie kan niet helpen, verwijst door naar carla van BI, direct gebeld. zij weet inderdaad hoe het zit en kent tine. Tine gemaild of ze nu alles heeft. Er blijkt nog één vraag te zijn, direct beantwoord
- 7-1: Carla en Tine zijn een heel eind gekomen, aldus Tine



- 8-1: telefoontje van Peter van BI voor de prioritering, de data uiterlijk 11-1 aanleveren gaat waarschijnlijk niet lukken. mail van Tine of voorgestelde specificaties zo kloppen. ik heb nog wat vragen, dus stel voor haar 9-1 te bellen
- 9-1: gebeld met tine, akkoord voor start
- 11-1: jeroen zegt hem te mailen als er woensdag 16-1 nog geen data is
- 16-1: jeroen gemaïld dat ik het nog niet heb
- 17-1: jeroen is het vergeten, zelf naar peter gebeld, blijkt verkeerde persoon, moet bij ene Roger zijn. Roger mailt dat het uiterlijk woensdag wordt. Jeroen mailt of het sneller kan, Roger zegt waarschijnlijk dinsdag.
- 22-1: data ontvangen

## D Bijgevoegde bestanden

De volgende Python bestanden zijn bijgevoegd:

1. verlosafdeling\_uitgebreid.py
2. scenario\_analyse.py
3. verlosafdeling\_basis.py
4. validatie\_verlosafdeling\_basis.py

3 vormt de basis, hierop is 1 voortgeborduurd, met inachtneming van vele details als typeveranderingen e.d. 4 is een versimpeling van 3 om het te kunnen valideren. 2 is een versimpeling van 1, om de input te gebruiken die bekend is. Voor de validatie van de discrete event simulation is 4 gebruikt, voor de scenarioanalyse is 2 gebruikt. 1 zou gebruikt kunnen worden als alle input daarvoor bekend is. De code voor de output zoals in 2 zou dan ook in 1 moeten worden gebruikt.

Daarnaast zijn twee Matlab bestanden toegevoegd. Blokkeringskansvalidatie.m is gebruikt voor de validatie in 4.2.1 en Blokkeringskansvalidatie2.m is gebruikt in 4.2.2.