

deels een Nederlands tintje door de bijdrage van het Zero Hunger Lab⁵ aan de ontwikkeling van Optimus, de supply chain optimalisatie tool van het WFP (Tilburg University, z.d.). De Edelman award is een bevestiging dat, ondanks de bijzondere omstandigheden waarin en de snelheid waarmee het WFP moet werken, Statistiek en Operations Research waardevolle, impactvolle ondersteuning kunnen bieden.

Duurzame ontwikkeldoelen

Honger is niet het enige probleem in de wereld dat aandacht nodig heeft. In 2015 formuleerde de Verenigde Naties (VN) zeventien ontwikkelingsdoelstellingen⁶ voor 2030 (United Nations, z.d.). Elk van die zeventien ontwikkeldoelen adresseert een probleem dat een mondiale aanpak nodig heeft. Met die doelen vraagt de VN aandacht voor onder meer de groeiende ongelijkheid, de rechten van vrouwen en meisjes, vrede, veiligheid en klimaatverandering. Het spreekt voor zich dat er een afhankelijkheid is tussen de ontwikkeldoelen. Armoede aanpakken kan niet zonder ook ongelijkheid aan te pakken en toe te werken naar een vreedzame en inclusieve samenleving. Er zijn ook beperkingen waar nadrukkelijk rekening mee moet worden gehouden. Immers, we kunnen geen duurzame economische groei of voedselzekerheid bereiken zonder rekening te houden met de impact van onze activiteiten op het milieu.

De ontwikkeldoelstellingen zijn *wicked* problemen. Ze zijn slecht gedefinieerd, hebben vele belanghebbenden en hebben sterke sociale, politieke en juridische componenten. Het is zelfs de vraag of je kunt vaststellen of en wanneer je het probleem hebt opgelost. Ackoff (1974) zou ze een *mess* noemen. Omdat ze zo veel facetten hebben kun je je afvragen of Statistici of Operations Researchers zinvolle ondersteuning kunnen bieden bij het aanpakken van deze problemen. Hoe modeller je politieke geschillen? Zijn mensen wel zo rationeel als we in onze modellen veronderstellen? Hoe om te gaan met de fundamentele onzekerheid in de wereld? Het voorbeeld van de bestrijding van honger door het WFP bewijst dat veel mogelijk is, echter de vele facetten van een ontwikkelingsdoelstelling maken dat een enkele discipline nooit voldoende kan zijn.

Interdisciplinaire aanpak

De missies die mijn team voor het WFP heeft uitgevoerd leerden me dat modellen en data een te eenzijdige benadering zijn om de vraagstukken van het WFP aan te pakken. Veel van de uitdagingen waar het WFP voor staat zijn niet te vangen in data of modellen en vragen om andere disciplines. Dit geldt ook voor de duurzame ontwikkeldoelen. De sleutel ligt in een interdisciplinaire aanpak en samenwerking. Zo gebruikt het WFP inzichten uit de klimaatwetenschap om te bepalen waar voorraden van noodhulpgoederen moeten worden aangehouden om zo veel mogelijke passende hulp te kunnen bieden aan hen die dat nodig hebben. Ook als door extreem weer de aanvoerwegen onbegaanbaar zijn geworden of als extra noodhulp nodig is door aanhoudende droogte.

Voor de aanpak van de duurzame ontwikkeldoelen is een combinatie van disciplines nodig. Die combinatie zal leiden tot innovatieve oplossingen die het realiseren van de ontwikkeldoelen een stukje dichterbij zal brengen. Als Statistici en Operations Researchers moeten we de samenwerking zoeken met klimatologen, ecologen, politologen, economen en vele andere disciplines om een impactvolle bijdrage te kunnen leveren aan het realiseren van de VN ontwikkelingsdoelstellingen.

LITERATUUR

- Ackhoff, R. L. (1974). *Redesigning the future: a systems approach to societal problems*. Wiley.
- FAO. (z.d.). *Sustainable development goals*. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-2/en/>.
- Informs. (2021). *Edelman winner: UN World Food Programme*. <https://www.informs.org/Resource-Center/Video-Library/Edelman-Competition-Videos/2021-Edelman-Competition-Videos/2021-Edelman-Winner-UN-World-Food-Programme>.
- Plat, T., Dijk, T. van, & Poppelaars, J. (2009). De wereld geoptimaliseerd! Waarom Operations Research essentieel is bij voedselhulp. *STATOR*, 10(4), 4–8.
- Poppelaars, J. (2012). *A billion in need*. <https://john-poppelaars.blogspot.com/2012/02/billion-in-need.html>.
- Tilburg University. (z.d.). *Zero Hunger Lab*. <https://www.tilburguniversity.edu/nl/onderzoek/impact/creating-value-data/zero-hunger-lab>.
- United Nations. (z.d.). *Sustainable Development Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>.

JOHN POPPELAARS, Doing the Math
E-mail: john@doingthelmath.nl



ROOSTEREN VANUIT ENDOSCOPISCH PERSPECTIEF

Dit artikel belicht een heuristisch en een MIP-model voor het roosteren van endoscopieën.

Op de endoscopieafdeling van het Maag Darm Levercentrum van het LUMC vinden dergelijke kijkoperaties plaats, met een aansluitend herstel van 90 minuten op een uitslaapkamer. Een optimaal rooster maximaliseert het aantal endoscopieën per dag en houdt tevens het aantal herstellende patiënten gedurende de dag zo constant mogelijk.

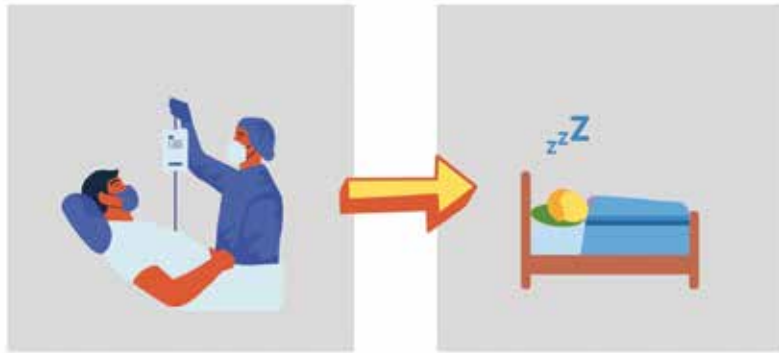
KIM VAN DEN HOUTEN, MARELOT DE VOS, ERIK VAN DER SLUIS, THOMAS SCHNEIDER & NICO VAN DIJK

Het uitvoeren van scopieën, oftewel kijkoperaties, is een hoogwaardige vorm van moderne operatietechnieken. Een dankbaar toepassingsgebied betreft maag-, darm- en leveroperaties (MDL). Maar hoeveel patiënten kunnen we aan en hoe plannen we operaties met verschillende durens op dagbasis in?

Diverse beperkingen spelen een rol. Een beperkt

aantal operatiekamers, een beperkte uitslaapkamer, een verplichte uitslaapduur, beperkte werktijden, een gegeven mix van operaties en vanzelfsprekend: personeel dat enigszins op tijd naar huis wil zonder veel uitloop.

Het inplannen van deze scopieën is ogenschijnlijk simpel, maar dat blijkt allesbehalve zo te zijn. Noch in literatuur noch in ziekenhuispraktijk is een algemene



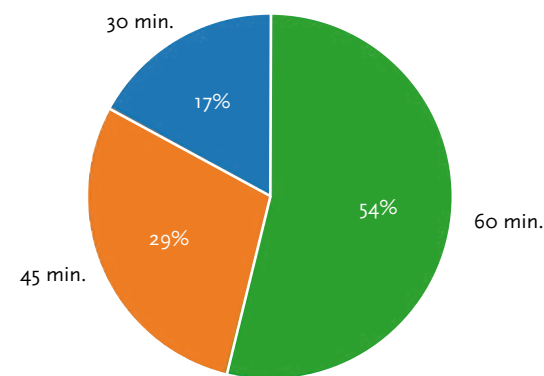
Van een endoscopiekamer naar de uitslaapkamer

oplossingsmethode voorhanden. Er wordt enkel gewerkt met vuistregels. Hoe goed zijn deze? OR biedt mogelijkheden tot verbeteringen.

Op endoscopisch bezoek

Wij bezochten het Maag, Darm en Levercentrum van het Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC). Het LUMC is de trotse eigenaar van vier endoscopiekamers. In deze kamers worden met veel deskundigheid endoscopieën uitgevoerd. Hoe verloopt zo'n endoscopie? Tijdens een afspraak wordt de patiënt op een bed naar een endoscopiekamer gebracht, waar het onderzoek plaatsvindt. Na afloop van het onderzoek geldt een verplichte hersteltijd van 90 minuten. Hiervoor is een gemeenschappelijke 'uitslaapkamer' ingericht, met een capaciteit voor 8 patiënten. Tussen de scopie en de rustperiode mag geen wachttijd zitten, een patiënt kan immers niet zomaar op de gang worden geparkeerd.

De endoscopieën in het LUMC zijn globaal in 3 groepen te verdelen op basis van geplande duur (zie figuur 1). In het LUMC werden deze patiënten per kwartier nog op volgorde van binnenkomst ingeroosterd. De planafdeling



Figuur 1. Verhouding patiënten per endoscopie duur

is verantwoordelijk voor het maken van een rooster. Het LUMC spreekt twee wensen uit:

1. zoveel mogelijke endoscopieën en
2. een zo constant mogelijk aantal patiënten op de uitslaapkamer.

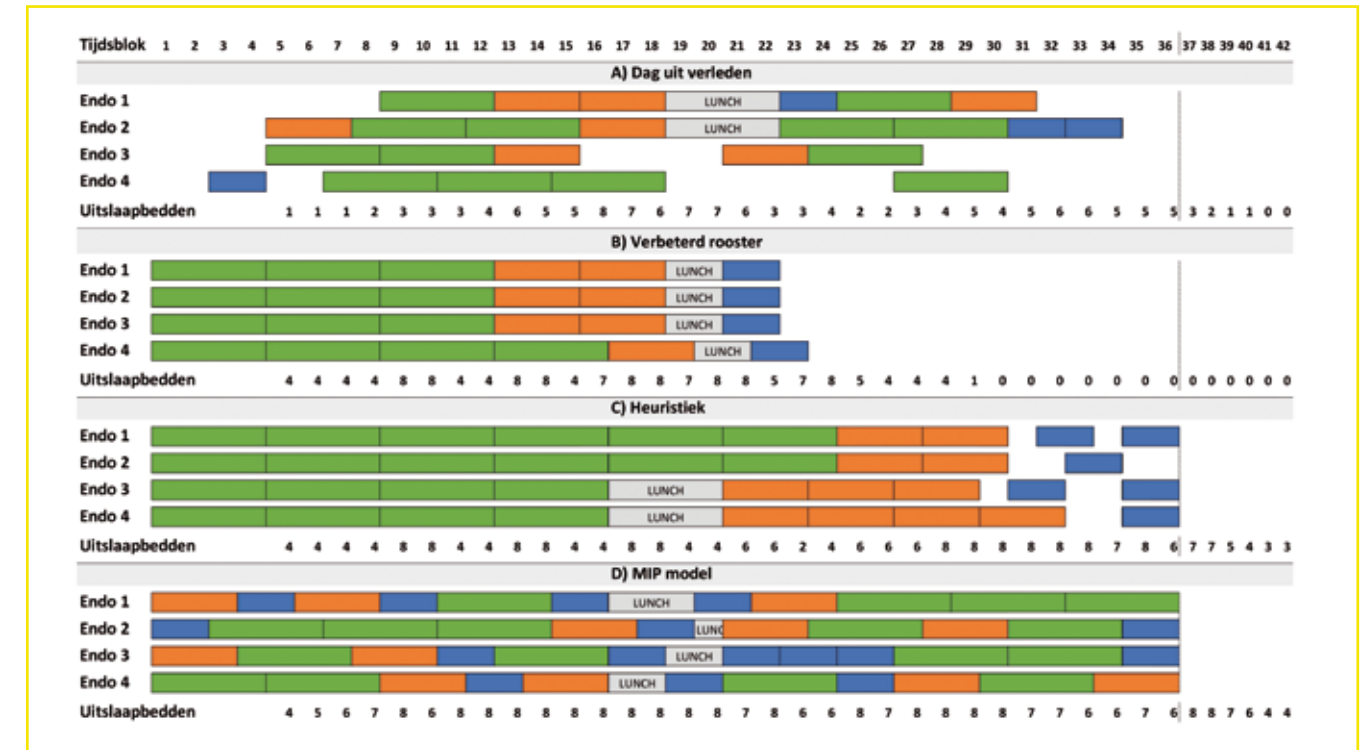
De eerste spreekt voor zich, de tweede beoogt piekdrukte en leegstand te vermijden.

Een dag in het rooster van het LUMC

Om de huidige situatie in beeld te brengen groeven wij in het roostergeheugen van het LUMC. Figuur 2A visualiseert een representatieve dag. De werkdag van 08:00-17:00 is opgedeeld in 36 tijdsblokken van ieder een kwartier. Uiteraard moet het personeel kunnen lunchen. Hiervoor moeten in totaal 8 tijdsblokken worden gereserveerd. De verticale as representeert de 4 endoscopiekamers (1 rij per kamer) en de bezetting van de uitslaapkamer. De gekleurde blokjes visualiseren rasters waarbinnen 1 patiënt is ingepland. De kleuren variëren met de duur van de behandeling (30, 45 of 60 minuten). Het rooster volgt de verhouding van figuur 1. De teller in de onderste rij houdt het aantal 'uitslapers' bij. Het mogen er dus nooit meer dan 8 zijn. Met het huidige rooster werd er een benutting van 60% behaald. Het aantal aanwezigen in de uitslaapkamer fluctueerde behoorlijk. Rond 12 uur een piek van 8 uitslapers, terwijl dit aantal 2 uur later gedaald was tot 2. Voor de inzet van verpleegkundigen was dit allesbehalve ideaal. Ons doel was een rooster te creëren dat beter met de beschikbare capaciteiten omgaat.

Wat kan een vuistregel bieden?

Een simpele heuristiek om het aantal uitslapers constant te houden en de endoscopiekamers beter te benutten is 'van lang naar kort'. Hiermee konden we eerder op de



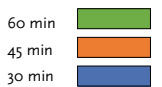
Figuur 2. Dagroosters

A. Willekeurige dag uit verleden LUMC.

B. Verbetering op rooster A: dezelfde afspraken, maar aangepast rooster volgens rooster regel 'lang naar kort'.

C. Heuristiek 'lang naar kort' met een verhoudingsgewijze maximalisatie van het aantal geplande patiënten.

D. MIP-model met maximalisatie van het aantal geplande patiënten als doelfunctie.



dag klaar zijn met zodoende over een kortere tijdsperiode een hogere benutting, zoals zichtbaar in figuur 2B om 14:00 uur, zonder de maximale capaciteit te overschrijden! Dit schiep ruimte om de endoscopiekamers beter te benutten, meer patiënten inplannen dus! Werkend 'van lang naar kort' kon vervolgens het aantal ingeplande scopieën worden verhoogd, in figuur 2C gevisualiseerd. De heuristiek leverde een benutting van 92% (zie ook figuur 3) op. Een mooi resultaat, maar er is nog ruimte voor extra patiënten.

De kunst van het roosteren

Roosteren is iets waar de OR-loep al vaak boven heeft gehangen. Een bekend beslistkundig model is het probleem van Flexible Flow Shop (FFS). Een basismodel is genomen op basis van $FF2 | k_1, k_2, \text{nowait} | C_{max}$ (zie Blazewicz et al., 2007). In een FFS staan er meerdere groepen van dezelfde machines in serie achter elkaar, waar vervolgens taken voor worden gepland. Dit model is direct toepasbaar op de endoscopieplanning van het LUMC. De en-

doscopiekamers en de uitslaapkamers zijn vertaalbaar naar deze twee groepen 'machines'. De patiënten zijn te vertalen als 'taken', die gepland moeten worden. Na het endoscopisch onderzoek moet een patiënt direct kunnen worden overgebracht naar de uitslaapkamer. Dit is in de literatuur bekend als een *nowait* voorwaarde. Het toevoegen van deze voorwaarde aan het model zorgt ervoor dat er altijd voldoende ruimte is op de uitslaapkamer. De FFS kan een bepaalde doelfunctie optimaliseren gegeven het aantal taken en gegeven de beschikbare capaciteit. De FFS diende voor ons als geschikt uitgangspunt voor het uiteindelijke LUMC-roostermodel. Uniek aan dit LUMC-roostermodel is de doelfunctie die het aantal operaties maximaliseert, terwijl in de klassieke FFS wordt uitgegaan van een vast aantal taken. Hierdoor is dus niet vooraf vastgelegd hoeveel patiënten per type (op basis van geplande duur) er zullen worden ingepland. Omdat we te maken hebben met een vaste verhouding van type patiënten (zie figuur 1), moet ook voor de uiteindelijke verhoudingen in het rooster restricties kunnen worden opgegeven. Het uiteindelijke LUMC-roostermodel is te zien in Model 1.

| | |
|---|--|
| BASISMODEL | |
| FF2 k_1, k_2, nowait C_{max} | |
| PATIËNT MODEL | |
| max | totaal aantal operaties (1) |
| s.t. | elke patiënt krijgt een eindtijd op de endoscopiekamer (2) |
| | elke patiënt krijgt een eindtijd op de uitslaapkamer (90 min na scopie) (3) |
| | duur onderzoek \leq eindtijd onderzoek \leq eindtijd laatste onderzoek van dag (4) |
| | aantal patiënten tegelijk in endoscopiekamers \leq 4 (5) |
| | $0 \leq$ aantal patiënten tegelijk in uitslaapkamer \leq 8 (6) |
| | aantal geplande operaties per type \geq minimale aantal type (7) |
| | percentage aantal operaties per type \geq minimaal percentage type (8) |

Model 1. Roostermodel LUMC

Plannen maar

Omdat het hoofddoel van het LUMC-roostermodel het inplannen van zoveel mogelijk patiënten is, tonen wij een oplossing waarin het aantal uitslapers tussen 0 en 8 mag liggen. Hieronder volgt een korte toelichting van de mogelijkheden dat het begrenzen van het aantal uitslapers biedt. Met behulp van een solver (AIMMS) bleek het model makkelijk oplosbaar. Wij hebben de solver gebruikt voor het maken van een weekrooster en hiervan 1 dag gevisualiseerd in figuur 2D. Hierdoor kan de verhouding tussen de verschillende soorten endoscopie-soorten in rooster D afwijken van roosters A, B en C. Wat

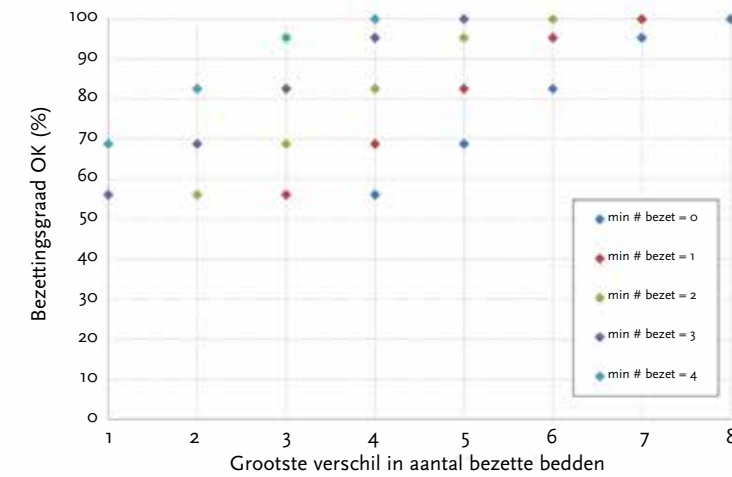
leverde het ons op? De gemiddelde bezettingsgraad van de endoscopiekamers kwam uit op 100% (lunchpauzes niet meegerekend). Dat is een mooie score! Zeker in vergelijking met de gemeten benutting volgens de andere methoden. Een samenvattingstabel is gegeven in figuur 3.

Model kan meer

Maar hoe zit het met de tweede doelstelling: drukte op de uitslaapkamer als we de verschillende roostermethodieken met elkaar vergelijken? Op de momenten dat

| Roostermethode | A | B | C | D |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Aantal patiënten | 24 | 24 | 37 | 45 |
| # rasters 30 min | 4 (17%) | 4 (17%) | 6 (16%) | 16 (36%) |
| # rasters 45 min | 7 (29%) | 7 (29%) | 11 (30%) | 12 (27%) |
| # rasters 60 min | 13 (54%) | 13 (54%) | 20 (54%) | 17 (38%) |
| Benutting | 60% | 60% | 92% | 100% |
| Laagst gemeten aantal bedden | 1 | 0 | 2 | 4 |
| Hoogst gemeten aantal bedden | 8 | 8 | 8 | 8 |

Figuur 3. Behaalde KPI-waarden per roostermethode



Figuur 4. Uitwisseling benutting en verschil

er 8 uitslapers zijn, is er maximale verpleegkundige inzet nodig op de afdeling. We zagen bij elk rooster dat het hoogst aantal bezet gemeten bedden 8 is; zelfs bij roosters A en B, ondanks de lage benutting van 60%. Het laagst gemeten aantal bezette bedden was gedurende de werkdag (gemeten vanaf tijdsblok 5, na de opwarmperiode) lager bij roosters A, B en C vergeleken met rooster D. Omdat de heuristisch en het wiskundig model als hoofddoel het maximaliseren van het aantal geplande endoscopieën hanteert, is het de vraag of er nog verbetering zit in het aantal uitslapers op de verpleegkamer. Voorwaarde (6) uit Model 1 biedt de mogelijkheid om het aantal toegestane uitslaapbedden in te stellen. Bij het roosteren kunnen dus striktere onder- en bovengrenzen voor de uitslaapkamer worden opgegeven, waardoor piekdruk en leegstand in de uitslaapkamer worden voorkomen. Dit kan ook per dag worden ingesteld. Deze mogelijke uitwisseling tussen bezetting en fluctuaties in bedden is, zonder in details te treden, gevisualiseerd in figuur 4.

Slotwoord

Ondanks dat ziekenhuizen hun eigen vaste manieren gebruiken om patiënten in te plannen, blijkt het nuttig een OR-bril op te zetten. Wiskundig modelleren maakt het mogelijk aan verschillende wensen van een ziekenhuis te voldoen. Met het voorgestelde MIP-model kan het aantal patiënten per werkdag significant worden verhoogd, terwijl te allen tijde de beschikbare capaciteiten in acht worden genomen. Indien gewenst, kan ook het aantal patiënten in de uitslaapkamer begrensd worden. Door deze tactische manier van plannen, kan het LUMC piekdruk

en leegstand voorkomen. Vooral nog is een brug voor verdere implementatie benodigd, waarvoor dit artikel een mooi startpunt biedt.

LITERATUUR

Blazewicz, J., Ecker, K., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2007). *Handbook of Scheduling*. Springer-Verlag.

KIM VAN DEN HOUTEN is masterstudente Operations Research aan de Vrije Universiteit van Amsterdam en onderwijsassistent voor de bachelor Artificial Intelligence. Tijdens haar scriptie is haar interesse gewekt voor toepassing van OR binnen gezondheidszorg, waarna zij 1 jaar werkte als student-consultant bij Rhythm B.V. (capaciteitsmanagement in de zorg). E-mail: kimvandenhouten97@live.nl.

MARELOT DE VOS is masterstudente Operations Research and Quantitative Logistics aan de Erasmus Universiteit Rotterdam. Zij is aan het afstuderen op een Vehicle Scheduling probleem voor elektrische bussen. E-mail: marelotdevos@hotmail.com.

ERIK VAN DER SLUIS is hoofddocent Operations Research aan de Universiteit van Amsterdam. E-mail: h.j.vandersluis@uva.nl.

THOMAS SCHNEIDER is gepromoveerd aan de Universiteit Twente op integraal capaciteitsmanagement en -planning in ziekenhuizen. Hij heeft ruime ervaring met capaciteitsmanagement en is manager van de afdeling integraal capaciteitsmanagement in het OLVG. Zijn onderzoeksinteresses liggen in de vertaling van praktische problemen naar onderzoek en onderzoeksresultaten naar praktische implementatie.

NICO VAN DIJK is hoogleraar Stochastische Operations Research aan de Universiteit Twente en de Universiteit van Amsterdam. Tevens is hij verbonden aan het Center for Healthcare Operations and Improvement Research (CHOIR) aan de Universiteit Twente. E-mail: N.M.vanDijk@uva.nl.