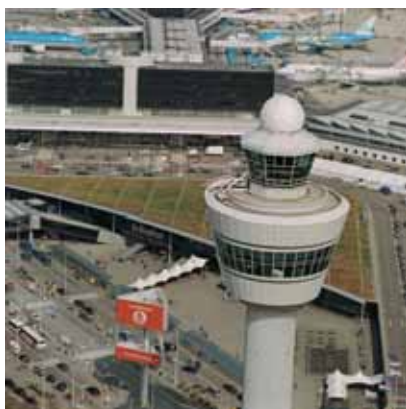


# Rekenmodel sanitaire voorzieningen Schiphol

*Wachtrijen komen voor in allerlei situaties, zoals bij een kassa, een attractie in een attractiepark, maar ook bij de toiletten op een luchthaven. Dit laatste heeft u misschien zelf wel eens meegemaakt. In een dergelijke situatie is het zinvol om o.a. de wachttijd en wachtrijlengte te bestuderen, want zo kunnen bottlenecks in beeld worden gebracht en kan worden bekeken of er ook in de toekomst nog voldoende toiletcapaciteit beschikbaar is. Anderzijds kunnen de schoonmaakkosten onnodig hoog zijn, doordat er misschien op bepaalde plaatsen een capaciteitsoverschot is. Vooral voor een luchthaven als Schiphol, die hoog wil scoren op passagierstevredenheid, is het voorspellen van toiletcapaciteit van groot belang, aangezien dit laatste van invloed is op de tevredenheid van de passagier met de luchthaven. De eerste aanzet daartoe was een rapportage van Deerns raadgevende ingenieurs BV in oktober 2000 [1], waarbij in samenwerking met A/TRE/TS/FS [2], een rekenmodel werd ontwikkeld voor het bepalen van sanitaire voorzieningen in relatie tot passagierstromen.*

*- door ir. C.H. van Balen\* en H. Lodder\**

**H**et hier besproken model probeert de tevredenheid van de passagier met deze sanitaire voorzieningen te voorspellen door middel van een kwaliteitscijfer. De gebruiker kan zelf bepalen hoe zwaar verschillende factoren meewe-



Luchthaven Schiphol (Copyright NACO BV).  
- Foto 1 -

gen bij het vaststellen van dit cijfer. De factoren die daarbij meewegen, worden berekend met behulp van wachtrijtheorie. Wachtrijtheorie (ook wel wachttijdtheorie genoemd) is gerelateerd aan het wiskundige vakgebied, statistiek en bestudeert het functioneren van systemen met wachtrijen. Wachtrijtheorie heeft tal van voorbeelden en praktische toepassingen. Er kan met wiskundige modellen bijvoorbeeld worden berekend hoeveel kassa's een supermarkt nodig heeft, of wat de beste afstelling van een verkeerslicht is. Maar ook moderne communicatienetwerken maken inmiddels gebruik van de wachtrijtheorie. Zij proberen namelijk gelijktijdig diverse verschillende soorten applicaties te ondersteunen. Hierbij kun je denken aan standaard data-, video- en voice-applicaties, maar ook aan multimedia-applicaties



Ir. C.H. van Balen



H. Lodder

zoals gaming en videoconferencing. Om dit te realiseren, is het belangrijk dat het dataverkeer dat door deze applicaties wordt geproduceerd, op een juiste manier wordt afgehandeld, in het bijzonder door de beschikbare servercapaciteit op een geschikte wijze te verdelen over de verschillende verkeersklassen. Een communicatienetwerk kan worden gezien als een wachtrijstelsel, waar klanten moeten wachten op bediening.

## WACHTRIJSYSTEEM

Zoals gezegd wordt wachtrijtheorie gebruikt om het functioneren van systemen met wachtrijen te bestuderen. Dit kan worden toegepast op simpele situaties, zoals de wachtrij bij een

\* Deerns raadgevende ingenieurs BV



**Wasbakken Schiphol.**  
- Foto 2 -

kassa, of op meer complexe situaties, zoals het routen van pakketjes informatie op het internet. De meest simpele vorm van een wachtrijmodel wordt het zogenaamde M/M/1 model genoemd. Dit model is zeer breed toepasbaar op een keur aan situaties, zo ook de wachtrijen bij een toilet. De notatie 'M/M/1' wordt gebruikt om het wachtrijmodel te definiëren. De eerste letter slaat op de distributie van de tijd tussen het arriveren van personen in het systeem, de tweede op de distributie van de verwerkingstijd en het derde cijfer stelt het aantal verwerkingseenheden voor. In dit specifieke geval betekent de eerste 'M' dat de tijd tussen de aankomsten een Poisson-distributie kent met een gemiddelde tijd tussen de aankomsten van  $1/\mu$  (resultierend in een gemiddeld aantal van  $\lambda$  personen/ eenheden per tijdseenheid). De tweede letter 'M' stelt hetzelfde voor de verwerkingstijd, met een gemiddelde verwerkingstijd van  $1/\mu$  (en resultierend in een gemiddeld aantal van  $\mu$  personen/ eenheden per tijdseenheid). Er zijn een aantal belangrijke verbanden tussen deze  $\lambda$  en  $\mu$  die gelden in het geval van een M/M/1 systeem. Deze verbanden kunnen worden gebruikt om belangrijke prestatie-indicatoren van het systeem uit te rekenen, zoals de genoemde wachtrijlengte of wachttijd. Deze verbanden worden uiteengezet in de volgende paragraaf.

### BEREKENINGEN VAN BELANGRIJKSTE PARAMETERS

Enkele parameters die van groot belang zijn voor het vaststellen van de prestaties van een systeem, in dit geval een toiletgroep, zijn:

1. de bezettingsgraad;
2. de gemiddelde wachttijd in de rij;
3. de gemiddelde lengte van de wachtrij;
4. de kans op de aanwezigheid van

nul eenheden in het systeem. Verbanden 2 en 3 kunnen worden afgeleid met behulp van de *stelling van Little*. Deze zegt dat het aantal eenheden binnen het systeem op de lange termijn kan worden berekend met:

$N = \lambda T$ , waar T de gemiddelde tijd is die de gebruiker doorbrengt in het systeem (i.e. wachttijd plus 'verwerking', ofwel verblijftijd op het toilet).

De eerste drie verbanden spreken min of meer voor zich, maar het laatste verband behoeft misschien enige toelichting: de kans op de aanwezigheid van nul eenheden in het systeem kan in het geval van de toiletgroep worden gekoppeld aan de mogelijkheid tot schoonmaken van de desbetreffende toiletgroep. Echter: op Luchthaven Schiphol speelt dit niet, aangezien de toiletten ongeacht bezettingsgraad de gehele dag door worden schoongemaakt.

De volgende formules worden gebruikt voor de berekening van de genoemde prestatie-indicatoren:

$$\rho = \lambda/\mu$$

(bezettingsgraad)

$$W_q = \lambda/\mu(\mu-\lambda)$$

(gemiddelde wachttijd in de rij)

$$L_q = \lambda * W_q = \lambda^2/\mu(\mu-\lambda)$$

(gemiddelde lengte van de wachtrij)

*Merk op dat verband 3 de stelling van Little laat zien.*

### HET GENEREREN VAN DE INPUT ( $\lambda$ )

Het genereren van de input voor het rekenmodel (dus eigenlijk het berekenen van  $\lambda$ ) gebeurt met behulp van data uit 2007, aangeleverd door Luchthaven Schiphol (A/TRE/TS/FS). Een belangrijk gegeven hieruit is de hoeveelheid passagiers die in een bepaald gebied in het piek uur aanwezig is. Via aangenomen percentages wordt er gekeken hoeveel van die mensen in het desbetreffende gebied van het toilet gebruik maken (deze percentages zijn aan te passen door de gebruiker) en hoe deze over de groepen zijn verdeeld. De resulterende aantallen worden gebruikt als input voor de toiletgroepen in het model (voor respectievelijk de damestoiletten, herentoiletten en -urinoirs).

### HET BEREKENEN VAN DE TOILET-CAPACITEIT ( $\mu$ )

De toiletcapaciteit wordt berekend op basis van in de praktijk gemeten verblijftijden. Deze verblijftijden worden omgezet naar een toiletcapaciteit van x passagiers (pax) per uur. Stel dat er een verblijftijd van drie minuten is gemeten voor de herentoiletten, dan betekent dit dat er in theorie  $60/3=20$  pax per toilet per uur kunnen worden verwerkt. Vermenigvuldigd met het aantal toiletten kan zo de totale capaciteit van die toiletten worden bepaald.

### HET BEREKENEN VAN DE PRESTATIE-INDICATOREN

De getoonde formules worden gebruikt om de toiletgroepen op de terminals (i.e. pieren en lounges) van Luchthaven Schiphol te analyseren.

Hieronder volgt een voorbeeldberekening voor een toiletgroep. De input zoals hierboven beschreven is te vinden in de regel 'aantal pax in piek uur' in tabel 1. De toiletcapaciteit is te vinden in de regel 'capaciteit (pax/hr)'. Als voorbeeld wordt de kolom damestoiletten bekeken. Te lezen in die kolom is dat er vijf damestoiletten zijn. Met een verblijftijd van 1,6 minuten wordt de totale capaciteit van de damestoiletten in die groep 186 pax/hr. Tezamen met de getoonde input kan de bezettingsgraad worden berekend:

$$W_q = \lambda/\mu = 97/186 (*100) \approx 52,3 \%$$

Ook de gemiddelde wachttijd in de wachtrij kan worden berekend:

$$W_q = \lambda/\mu(\mu-\lambda) = 97/186(186-97) (*60) \approx 0,4 \text{ minu(u)t(en)}$$

Vervolgens kan ook de gemiddelde wachtrijlengte worden berekend:

$$L_q = \lambda * W_q (= \lambda^2/\mu(\mu-\lambda)) = 97^2/186(186-97) \approx 0,6 \text{ pax}$$

Als laatste kan ook het te kort aan toiletten worden bepaald, maar let op: dit is op basis van 100 % bezettingsgraad! Dit wil zeggen dat de wachtrijlengte niet wordt meegenomen. Als er bijvoorbeeld een toiletcapaciteit van 186 pax/hr is en er is een input van 186 pax/hr, dan lijkt de capaciteit voldoende te zijn, maar dit is niet zo! De wachtrijlengte en wachttijden zijn inmiddels aanzienlijk geworden... Het

Percentage pax dat hier naar het toilet gaat	20		
Percentage dames (heren) automatisch berekend:	47	percentage heren:	53
<b>HUIDIGE SITUATIE</b>	<b>Jaar</b>		<b>2008</b>
	<b>Dames(toiletten)</b>	<b>Heren(toiletten)</b>	<b>Urinoirs</b>
Aantal	5,0	5,0	5,0
Capaciteit (pax/ hr)	186,0	123,0	474,0
Aantal pax in piekuur:	97,0	37,0	72,0
Bezettingsgraad in piekuur (%)	52,3	30,2	1,2
Gem. wachttijd (SS, M/ M/ 1; mins):	0,4	0,2	0,0
Gem. wachtrijlengte (SS, M/ M/ 1; pax):	0,6	0,1	0,0
Aantal toiletten te kort (100 % bez.):	-2	- 3	-4

#### Voorbeeld toiletgroep rekenmodel - Luchthaven Schiphol.

- TABEL 1 -

is echter aan de gebruiker om te bepalen bij welke waarden de wachttijden en wachtrijlengtes onacceptabel zijn. Tabel 1 toont een schermafbeelding van een venster behorend bij een voorbeeld toiletgroep op Luchthaven Schiphol. Het rekenmodel is in een Microsoft® Excel omgeving geprogrammeerd.

#### BEREKENING VAN TOEKOMSTIGE PRESTATIE-INDICATOREN

De 'prestaties' van de toiletgroep in de toekomst worden berekend met behulp van een vooraf vastgesteld groeipercentage. Dit betreft dan de groei van het aantal toiletgebruikers. Het rekenmodel berekent het verschil tussen het huidige jaar en het doeljaar, stelt daar een groeifactor uit vast en vermenigvuldigt deze vervolgens met het aantal toiletgebruikers in het huidige jaar. Zo kan worden bekeken of er in de toekomst nog voldoende toiletcapaciteit is.

#### VALIDATIE VAN HET MODEL

Uiteraard dient te worden bekeken of deze theorie ook in de praktijk geldt. Zo nodig moet de theorie worden 'gecorrigeerd'. Om de theorie te toetsen aan de praktijk is de auteur naar Schiphol geweest om een aantal toiletgroepen te 'bestuderen'. Aangezien vooral de wachtrijlengte onderwerp van studie is, is hier de nadruk op komen te liggen.

Een aantal toiletgroepen op Luchthaven Schiphol is uitgerust met tellers die de binnenkomst van een passagier in de toiletgroep registreren. Deze informatie is zeer waardevol voor het validatieproces aangezien zo dezelfde input kan worden gebruikt voor het model als in het echt het geval was. De wachtrijlengte (en met name het verloop ervan) is gemeten door elke

minuut het aantal wachtenden voor de toiletten op te schrijven. Aangezien de tellerinformatie op uurbasis wordt weergegeven, was het doel van de 'praktijktest' om ongeveer een uur lang de wachtrijlengtes te registreren om zodoende een goede vergelijking te kunnen maken. Achteraf is het gemiddelde van deze per minuut gemeten wachtrijlengtes vergeleken met de wachtrijlengte die het model uitvoert op basis van dezelfde input.

Omdat de tellers ook de binnenkomst van schoonmakers, mensen die alleen haren komen kammen of mensen die een flesje water komen bijvullen, registreren, dient hier sowieso voor te worden gecorrigeerd. In de praktijk betreft dit een correctie van ongeveer -20 % op de tellerinformatie. De samenstelling van deze totale correctie is empirisch bepaald, dat wil zeggen: de correcties zijn met trial and error bepaald, met het doel gelijke output in het model ten opzichte van de 'echte' situatie te verkrijgen. Daarbij is de realiteit echter niet uit het oog verloren. Zo zal bijvoorbeeld een correctiepercentage van 40 % voor kammende heren niet realistisch zijn, aangezien dit in de praktijk niet is waargenomen (dit zijn er minder). Als de correctie op de input toch te hoog wordt, moet de 'fout' ergens anders in worden gezocht, te weten in de verblijftijden, of in de gebruikte formules. Er wordt tevens vanuit gegaan dat er een algemene correctie, een specifieke correctie voor de dames en een specifieke correctie voor de heren is. Als er na het toepassen van deze correcties nog noemenswaardige afwijkingen zijn, moet er zoals gezegd ergens anders iets worden aangepast. Idealiter zou iedere toiletgroep moeten worden bekeken om de specifieke kenmerken van die toiletgroep te kop-

pelen aan de informatie in het model, maar dit is uiteraard te omslachtig. Als er echter geen schokkende verschillen zitten tussen model en praktijk kan het model als valide worden beschouwd. Aangezien het model gebruik maakt van percentages van getallen om de input te genereren is het waarschijnlijker dat hierdoor fouten ontstaan in de voorspelde wachtrijlengte dan door (kleine) modelleerfouten.

#### PRAKTISCHE BRUIKBAARHEID VAN HET MODEL

Het rekenmodel is speciaal bedoeld om de huidige toiletcapaciteit van de Luchthaven Schiphol te analyseren en de gebruiker meteen visuele informatie te geven over de stand van zaken wat drukte en wachtrijen betreft, door middel van de kleuren groen, oranje en rood. Zodoende kan het rekenmodel als *Decision Support tool* dienen voor de besluitvorming rond de bouw en verbouw van nieuwe toiletgroepen of de (mogelijke) afbraak van overbodige en/of ongebruikte toiletgroepen, zodat de passagiers tevreden worden gehouden en de kosten tot een minimum beperkt blijven. 

#### REFERENTIES

1. Normen & capaciteit sanitaire voorzieningen, rapport Deerns raadgevende ingenieurs BV, Uitgave 2 oktober 2000.
2. Verklaring A/TRE/TS/FS, A = Afdeling, TRE = Terminal Real Estate, TS = Terminal Service, FS = Facility Service. (Afdeling Facility Services (FS) is verantwoordelijk voor de schoonmaak van de sanitaire ruimtes in het Terminal Complex en het bouwkundig en installatietechnisch onderhoud.)