

Koeienstallen, robots en wachtrijen

Ivo Adan, Jan van der Wal (TU Eindhoven),
Ilan Halachmi (IMAG-DLO, Wageningen), Paul van Beek (LU Wageningen)

30 januari 2003

1 Inleiding

Het gebruik van robots om koeien te melken is een belangrijke nieuwe ontwikkeling in de veehouderij. Door het gebruik van robots kunnen de koeien vaker worden gemolken waardoor de melkproductie naar verwachting 10 tot 15 procent zal stijgen. Daarnaast bespaart het de melkveehouder veel werk. De robots zijn echter heel duur. Daarom is het belangrijk om de stal goed in te richten.

Het Wageningse onderzoeksinstituut IMAG-DLO¹ verricht reeds jarenlang onderzoek naar toepassing en gebruik van de melkrobot. In Duiven heeft het instituut een experimentele stal waar het gedrag van koeien in een stal met robots uitgebreid wordt onderzocht. Hier kon men op basis van metingen en video-observaties concluderen [2] dat het gebruik van de verschillende faciliteiten in de stal stochastisch is. Het concept van een gesloten netwerk van wachtrijen lijkt daarom geschikt voor het modelleren en analyseren van zo'n stal met melkrobots. Hiermee wordt het stochastisch gedrag adequaat beschreven en kan men zodoende op een systematische manier een afweging maken tussen de economische en koe-sociale factoren die een rol spelen bij een stalontwerp. Normaal worden wachtrijmodellen gebruikt voor de prestatie-analyse van communicatie- en produktiesystemen. Koeienstallen met melkrobots is een geheel nieuwe toepassing.

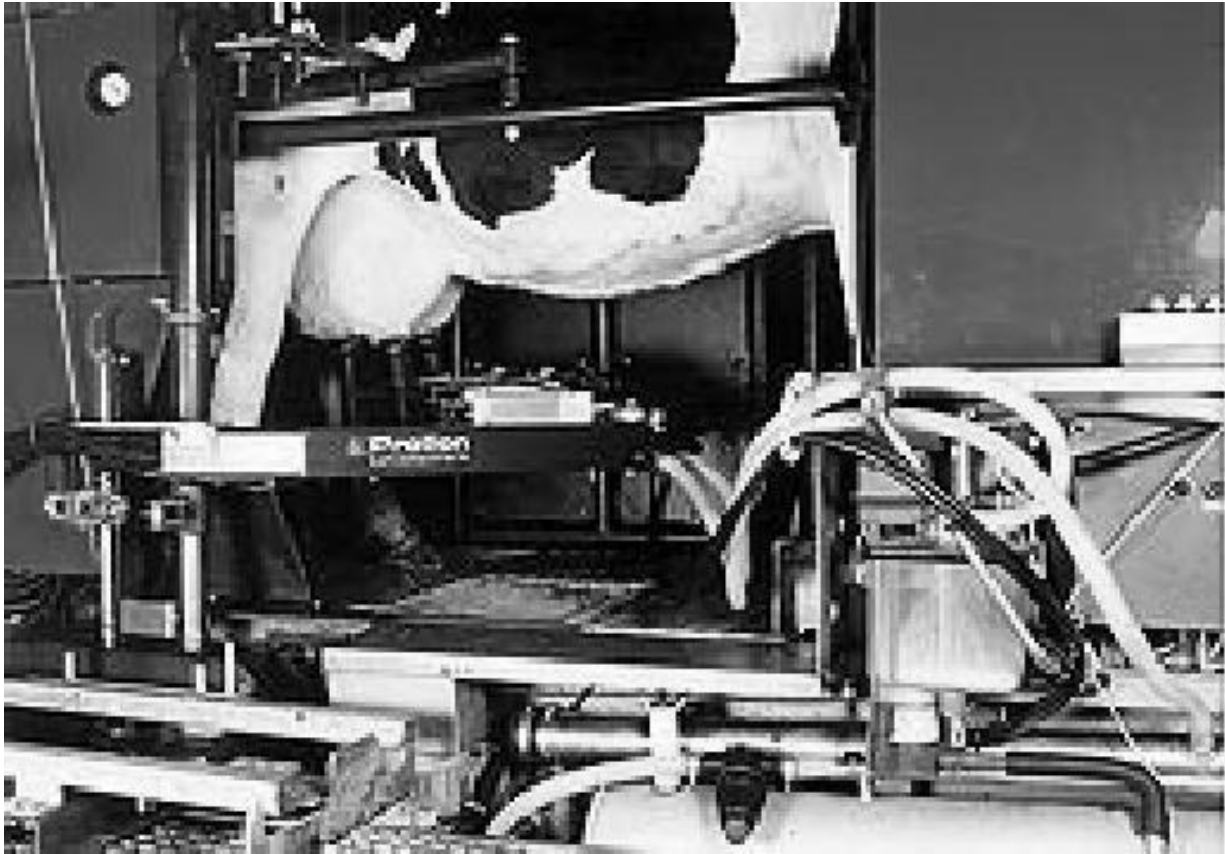
Gebaseerd op het wachtrijmodel is de Java applet *Cow* ontwikkeld waarmee eenvoudig en snel de prestaties van verschillende ontwerpen kunnen worden geëvalueerd en vergeleken. We zullen hier eerst wat meer vertellen van de melkrobot en de koeienstal. Vervolgens introduceren we ons wachtrijmodel voor de stal. Tenslotte bespreken we de Java applet en laten we zien dat dit gereedschap zeer bruikbaar is bij het ontwerp van een stal.

2 De melkrobot

De melkrobot is te zien in figuur 1. De melkrobot verschilt van de gewone melkmachine in één belangrijk opzicht: de robot is uitgerust met sensoren waarmee de spenen van de koe

¹ressortierend onder het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

kunnen worden gelocaliseerd, waarna een robotarm de zuigers bevestigt en het melken kan beginnen. De werking van melkrobots wordt uitgebreid beschreven in b.v. [1, 6, 7].



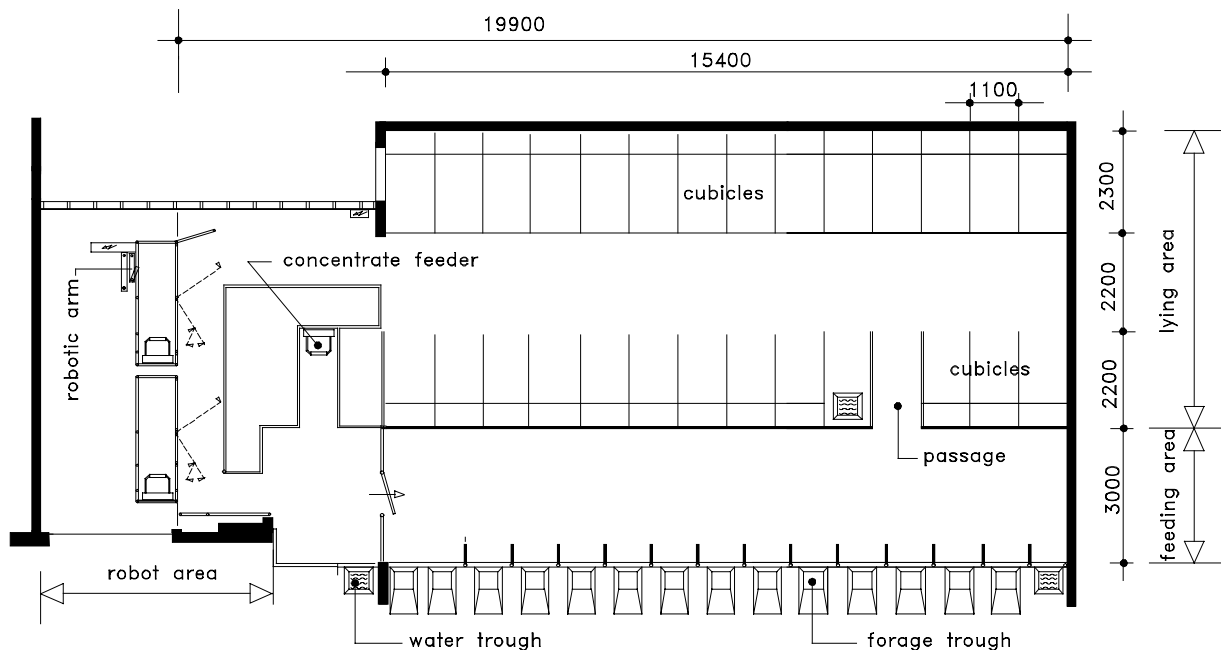
Figuur 1: Een melkrobot (bron: IMAG-DLO)

Het melken gebeurt dus zonder hulp van de boer. Dit bespaart de boer veel werk en men kan eenvoudiger overgaan van 2 keer per dag melken tot 3 à 4 keer. Hierdoor kan de melkproductie stijgen met zo'n 10 à 15 procent.

3 De koeienstal

De basis-layout van de stal die we hier bekijken is te zien in figuur 2. De stal heeft vijf faciliteiten of “bedienden”.

- De eerste is de hierboven beschreven *Milking Robot*.
- De tweede is de *Concentrate Feeder*. Dit is een computer-gestuurde voedereenheid met brokken geconcentreerd voer. Koeien mogen per dag slechts een beperkte hoeveelheid van dit voer hebben. De voedereenheid kan een koe identificeren en op basis hiervan bepalen of de koe geconcentreerd voer mag hebben en zo ja, hoeveel (zie



Figuur 2: Plattegrond van de koeienstal. Afmetingen in mm. (bron: IMAG-DLO)

[4]). Koeien zijn dol op dit voer. Het wordt dan ook gebruikt om de koeien in de melkrobot te lokken. In figuur 2 is te zien dat de koeien alleen bij de concentrate feeder kunnen komen door eerst langs te melkrobot te gaan.

De andere drie conventionele faciliteiten zijn:

- De *Forage Lane*. Dit is een rij eetbakken (*forage troughs*) met gewoon veevoer.
- De *Water Troughs*, ofwel de drinkbakken. Deze faciliteiten zijn niet duur maar heel belangrijk, want koeien moeten veel drinken om 30 tot wel 60 liter melk per dag te kunnen produceren.
- De *Cubicles*. Dit zijn de ligplaatsen voor de koeien. Hier kunnen ze liggen, rusten en confrontaties met soortgenoten vermijden. Ze brengen hier rond 50 procent van hun tijd door.

Verder hebben we voor de modellering een kunstmatige faciliteit nodig, namelijk:

- *Walking*. De ruimte tussen de faciliteiten wordt door de koeien gebruikt om te lopen of (meestal) stil te staan. Ze verblijven hier een kwart van hun tijd, dus ongeveer 6 uur per dag. In die tijd leggen ze slechts 3 tot 5 kilometer af, dus “Hanging” zou misschien een betere naam zijn geweest. De loopruimte moet plaats bieden voor tenminste een kwart van de kudde.

4 Het wachtrijmodel

De koeien gebruiken dus zes faciliteiten in de stal. De capaciteit hiervan is beperkt, zodat het kan voorkomen dat koeien moeten wachten, iets wat ze niet prettig vinden. Hierin verschillen ze niet van mensen.

Zowel de bedieningstijden als de achtereenvolgende bezoeken zijn stochastisch (zie [2]). Dit suggereert dat de stal kan worden gemodelleerd als een gesloten netwerk van wachtrijen met de volgende zes stations:

1. Milking Robot,
2. Concentrate Feeder,
3. Forage Lane,
4. Water Trough,
5. Cubicles, en
6. Walking.

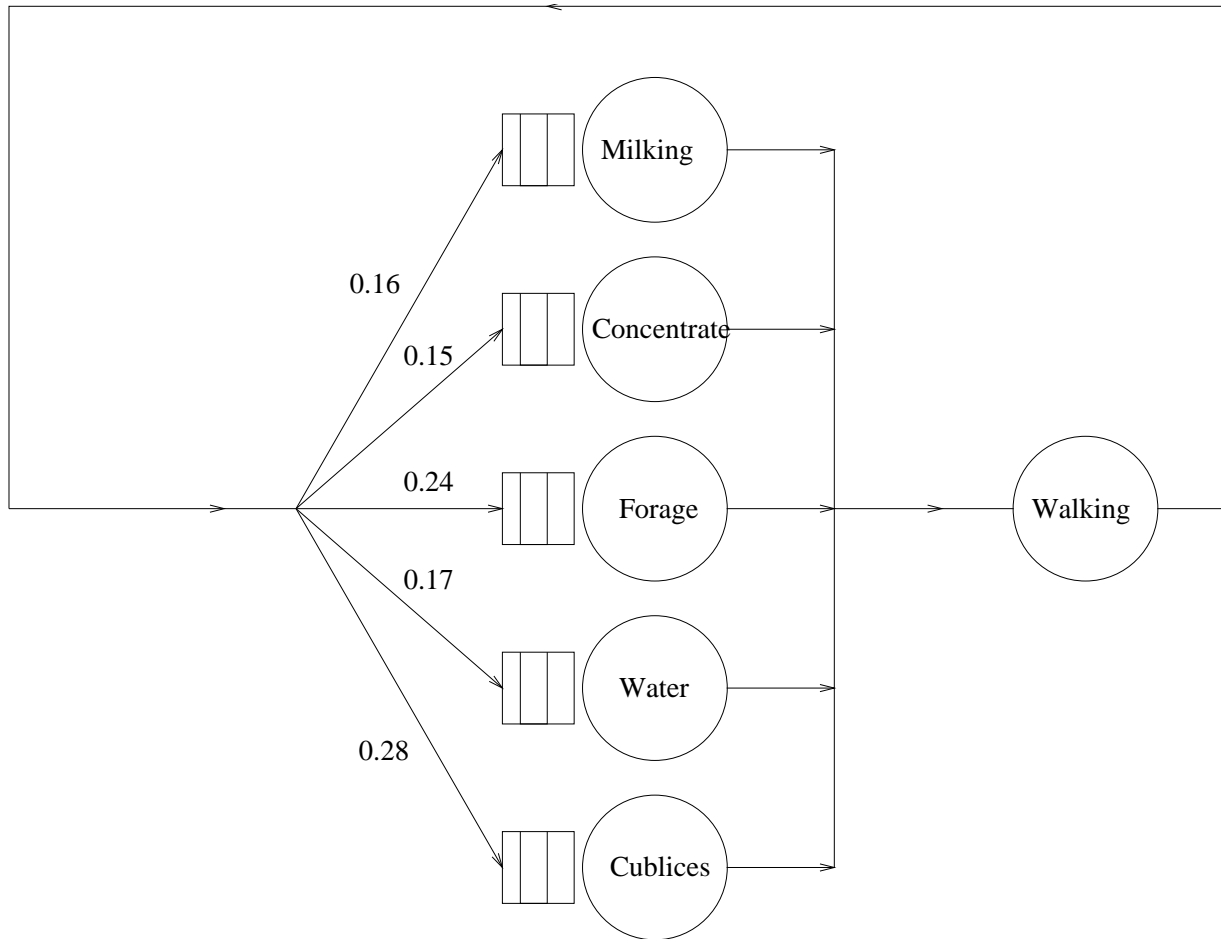
De klanten in het wachtrijmodel zijn natuurlijk de koeien. Het model heet “gesloten” omdat de populatie van klanten (de kudde) constant is. Elk station heeft één of meerdere bedienden. Een uitzondering is Walking. Dit kan worden gemodelleerd als een station met “oneindig” veel bedienden, want hier hoeft een koe nooit te wachten op bediening. Het wachtrijmodel is schematisch weergegeven in figuur 3.

De bedieningstijden per station en de frequenties waarmee de stations worden bezocht zijn bepaald uit metingen in de experimentele stal in Duiven [2]. De gegevens over de bedieningstijden en bezoekfrequenties staan in tabel 1. De bezoekfrequentie is het gemiddeld aantal bezoeken van een koe aan het station tussen twee opeenvolgende bezoeken aan Walking (een rondje in figuur 3). Uit de metingen bleek dat een koe ongeveer 25 procent van de tijd aan het lopen is.

| Station | Bedieningstijd (min.) | | Bezoekfrequentie |
|--------------------|-----------------------|-----------|------------------|
| | Gemiddelde | Spreiding | |
| Milking Robot | 8.4 | 2.5 | 0.16 |
| Concentrate Feeder | 6.4 | 6.2 | 0.15 |
| Forage Lane | 15 | 12 | 0.24 |
| Water Trough | 3.2 | 2.3 | 0.17 |
| Cubicles | 39 | 60 | 0.28 |

Tabel 1: Bedieningstijden en bezoekfrequenties

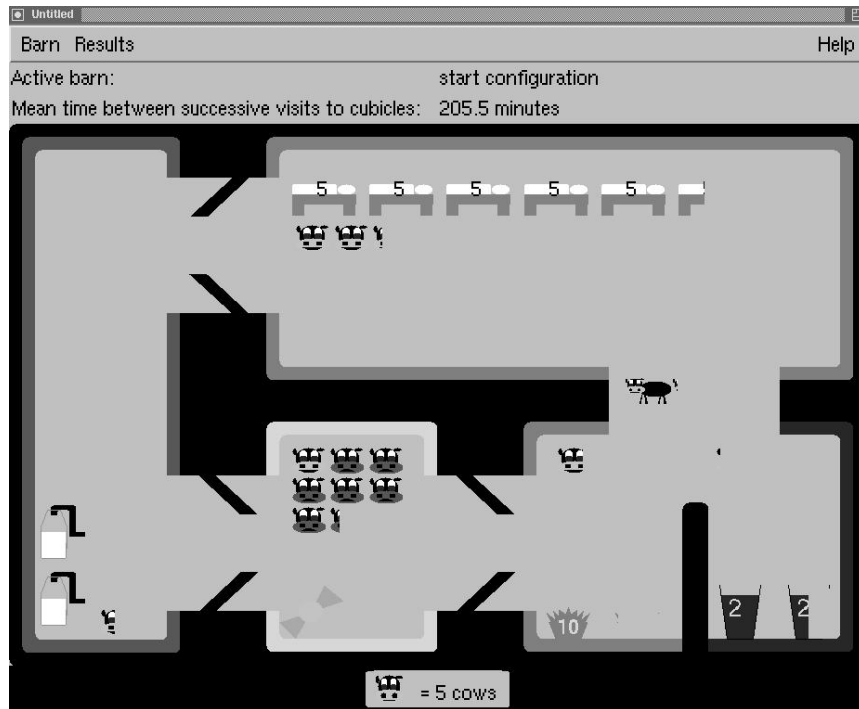
Wachten is erg belangrijk. In netwerken van wachtrijen zijn we meestal geïnteresseerd in de gemiddelde wachttijden en het gemiddeld aantal klanten in de verschillende stations. Dat is



Figuur 3: Wachtrijmodel van de stal

ook zo in de huidige situatie. Met name bij de milking robot en de concentrate feeder moet de wachttijd beperkt blijven. Als meerdere koeien moeten wachten bij dezelfde faciliteit, kunnen ze nog wel eens agressief worden. Dus de discussie over het ontwerp richt zich met name op de wachttijd bij de robot en de feeder, en het maximaal aantal koeien dat in een stal kan verblijven zonder dat er problemen als agressief gedrag optreden.

Als de bedieningstijden, bezoekenfrequenties, capaciteiten en kuddegrootte gegeven zijn, kunnen wachttijden, aantal wachtende koeien en bezettingsgraden worden bepaald door middel van een (benaderend) *mean value schema*. Dit is een efficiënt rekenschema gebaseerd op relaties tussen de doorzet, de gemiddelde doorlooptijd en het gemiddeld aantal koeien in een station (zie b.v. [5, 3]).



Figuur 4: Uitvoerscherm van Cow voor de startconfiguratie

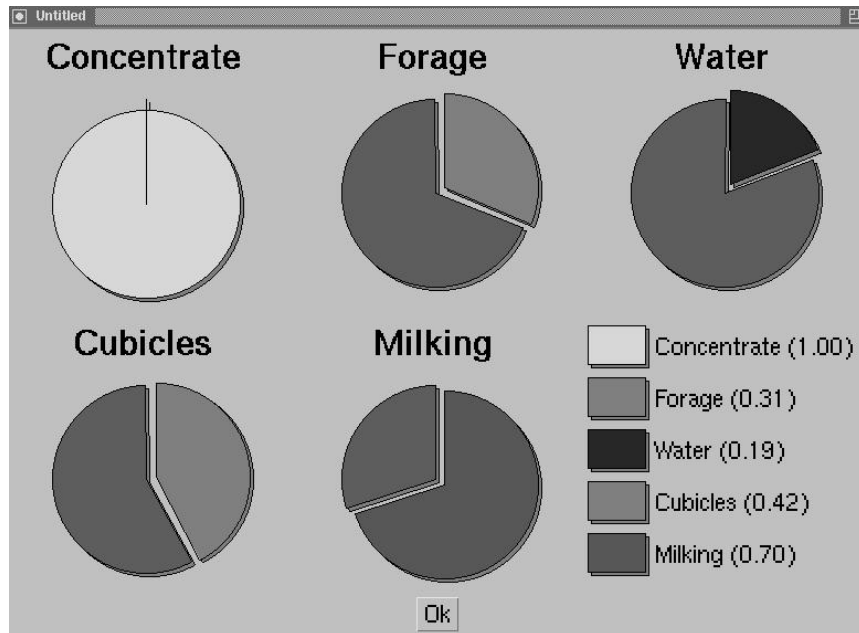
5 De Java applet

Het mean value schema is geïmplementeerd in een gebruikersvriendelijk Java applet genaamd *Cow*. Hiermee kan een ontwerp worden beoordeeld op basis van b.v. de wachttijd bij de milking robot, concentrate feeder, water trough, enz. De prestaties van een ontwerp kunnen op verscheidene manieren grafisch worden getoond, b.v. als staafdiagram, met taartpunten of in een tabel. Cow is vrij te gebruiken op het World Wide Web. Het URL is: <http://www.win.tue.nl/cow>

De applet is ontwikkeld door Marko Boon en Michel Vollebregt, wiskundestudenten aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Het gebruik van Cow is als volgt. Stel, een melkveehouder wil weten hoeveel capaciteit in elke faciliteit nodig is voor zijn kudde. Het startpunt is de stal beschreven in de voorgaande secties met de volgende capaciteit. Er zijn 2 milking robots, 1 concentrate feeder, 12 forage troughs, 3 water troughs en 27 cubicles. De kudde telt 60 koeien. Voor de bepaling van de benodigde capaciteit hanteren we het criterium, dat de gemiddelde wachttijd in elk van de faciliteiten niet meer is dan 4 minuten.

In figuur 4 wordt het uitvoerscherm van Cow getoond. De layout van de stal komt overeen met figuur 2. In elke faciliteit wordt een aantal koeiensnuitjes afgebeeld. De vrolijke (lichte) snuitjes corresponderen met koeien in bediening, en de boze (donkere) snuitjes



Figuur 5: Bezettingsgraden van de faciliteiten voor de startconfiguratie

met wachtende koeien. De lopende koeien (tussen de faciliteiten) zijn als (hele) koetjes afgebeeld. Het aantal koeien dat overeenkomt met één snuitje of koetje is weergegeven aan de onderkant van het scherm (in dit geval 5 koeien).

In figuur 4 is te zien dat er te veel wachtende koeien zijn bij de concentrate feeder. Naast het gemiddeld aantal koeien in elke faciliteit zijn ook andere resultaten te bekijken. In figuur 5 worden b.v. de bezettingsgraden van de faciliteiten getoond. Ook hier is te zien dat de feeder te zwaar belast wordt.

De lange wachtrij bij de concentrate feeder kan worden gereduceerd door het toevoegen van een extra feeder. Mogelijk verplaatst de bottleneck zich dan naar een andere faciliteit, waar dan vervolgens ook extra capaciteit nodig is, enz. Op deze heuristische manier kan een geschikt ontwerp voor de stal bepaald worden. Dit resulteert in een stal met 4 milking robots, 4 concentrate feeders, 12 forage troughs, 3 water troughs en 30 cubicles. De gemiddelde wachttijden zijn te zien in figuur 6. In elke faciliteit is de gemiddelde wachttijd nu gedaald tot niet meer dan 4 minuten.

Ook kunnen de prestaties van verschillende ontwerpen worden vergeleken in één scherm. In figuur 7 zijn voor de start- en eindconfiguratie de gemiddelde aantallen koeien in verschillende faciliteiten naast elkaar gezet. In de eindconfiguratie zijn de koeien evenwichtiger over de faciliteiten verdeeld.

Opvallend is dat veel (dure) robots nodig zijn om de wachttijden beperkt te houden. De oorzaak is het inefficiënt gebruik van de robots. Het gemiddeld totaal aantal bezoeken aan de robots per dag (de *throughput*) is 560. Dus elke koe komt ruim 9 keer per dag bij de robot. Een koe wordt 3 à 4 keer per dag gemolken, dus de andere keren houdt de

| | Service time | Waiting time | Total |
|-------------|--------------|--------------|-------|
| Concentrate | 6.4 | 0.9 | 7.3 |
| Forage | 15.0 | 0.6 | 15.6 |
| Water | 3.2 | 0.2 | 3.4 |
| Cubicles | 39.0 | 3.2 | 42.2 |
| Milking | 8.4 | 2.8 | 11.2 |

Figuur 6: Gemiddelde wachttijden voor de eindconfiguratie

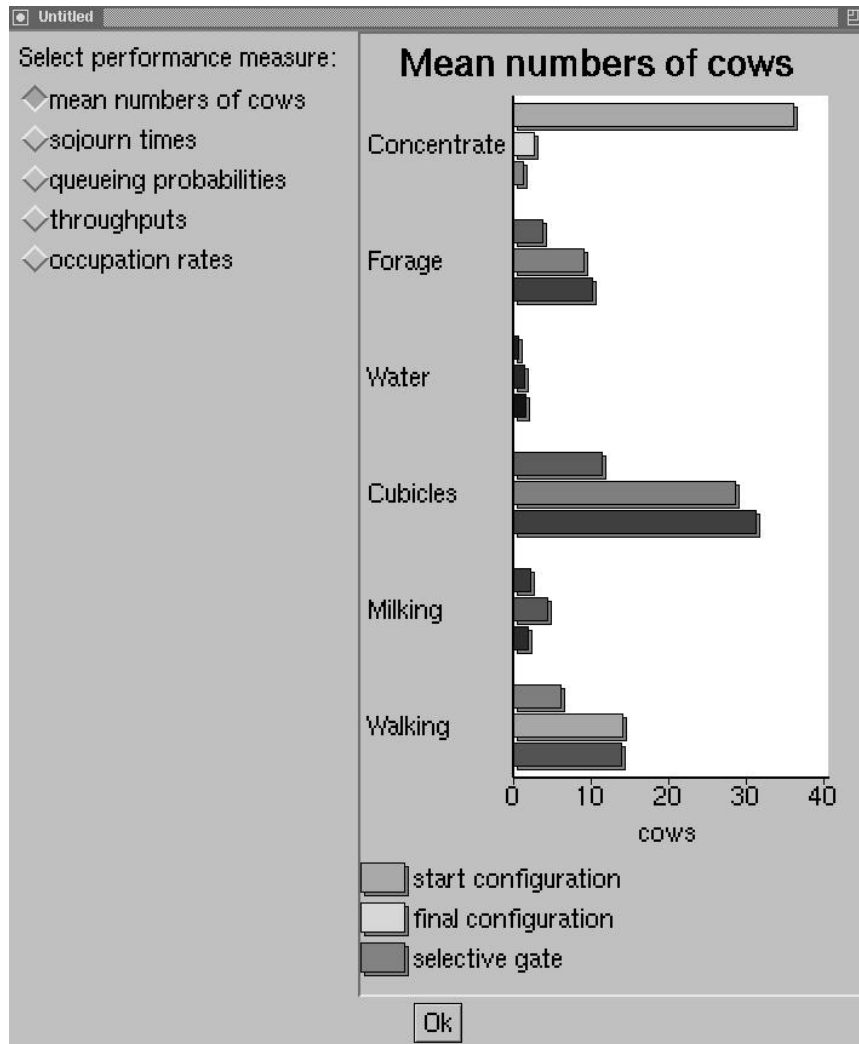
koe de robot onnodig bezet. Dit capaciteitsverlies zou beperkt kunnen worden door het plaatsen van een selectieve poort voor de robots, waar alleen die koeien doorheen mogen die gemolken kunnen worden.

Het effect van een selectieve poort kan ook met Cow geëvalueerd worden. Uit de metingen in Duiven kunnen we niet bepalen wat de bedieningstijden van de “succesvolle” en de “niet-succesvolle” bezoeken aan de robot zijn. Maar laten we aannemen dat deze bedieningstijden ongeveer hetzelfde zijn. Dan kunnen we voor de evaluatie van een stal met een selectieve poort de bedieningstijden bij de robot hetzelfde laten. We dienen alleen de bezoekfrequentie aan de robot en aan de concentrate feeder (want deze is alleen te bereiken via de robot, zie fig.4) te reduceren met ongeveer 60 procent, dus tot 0.06 (zie tabel 1). Het resultaat is een aanzienlijke kostenbesparing: we kunnen voor een stal met 60 koeien nu volstaan met 2 in plaats van 4 robots, en 2 in plaats van 4 feeders. Er zijn wel 2 extra ligplaatsen nodig om de wachttijd bij de cubicles beneden de 4 minuten te houden. In figuur 7 wordt deze configuratie vergeleken met de andere configuraties.

6 Tot slot

We hebben een wachtrijmodel beschreven voor een koeienstal met melkrobots. Op basis hiervan is praktisch gereedschap ontwikkeld voor het maken van keuzen in het ontwerp van dit soort kostbare koeienstallen.

Technieken uit de wachtrijtheorie zijn nog ongebruikelijk op het gebied van de analyse en het ontwerp van stallen, maar het is duidelijk dat deze daar zeer bruikbaar kunnen zijn.



Figuur 7: Gemiddeld aantal koeien in de faciliteiten voor verschillende configuraties

Referenties

- [1] S. Devir, *The dairy control and management system in the robotic milking farm*. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands (1995).
- [2] I. Halachmi, J.H.M. Metz, E. Maltz, A.A. Dijkhuizen and L. Speelman, *Designing the optimal robotic barn. Part 1: Facility usage*. Submitted to Journal of Agricultural Engineering Research (1998).
- [3] I. Halachmi, I.J.B.F. Adan, J. van der Wal, J.A.P. Heesterbeek, P. van Beek, *Dairy barns and queueing networks*. Memorandum COSOR 98-15, Eindhoven University of Technology, Dept. of Math. and Comp. Sci. (1998).
- [4] N. Livshin, E. Maltz and Y. Edan, *Regularity of dairy cow feeding behaviour with computer-controlled feeders*. Journal of Dairy Science, 78 (1995), pp. 296-304.

- [5] M. Reiser and S.S. Lavenberg, *Mean value analysis of closed multichain queueing networks*. J. Assoc. Comput. Mach., 27 (1980), pp. 313–322.
- [6] W. Rossing, E. Aurik and W. Smit, *Robot milking systems and the integration in the dairy farm*. In: Fourth international dairy housing conference, 1998, St. Louis, Missouri, ed. J.P. Chastain, published by ASAE, pp. 61–70.
- [7] B.R. Sonck, *Labour organisation on robotic milking dairy farms*. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands (1996).