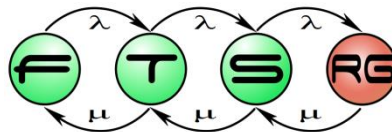


A STATISZTIKAI MODELLENŐRZÉS ALAPJAI ÉS HASZNÁLATA EGY SZENZORHÁLÓZAT PÉLDÁJÁN

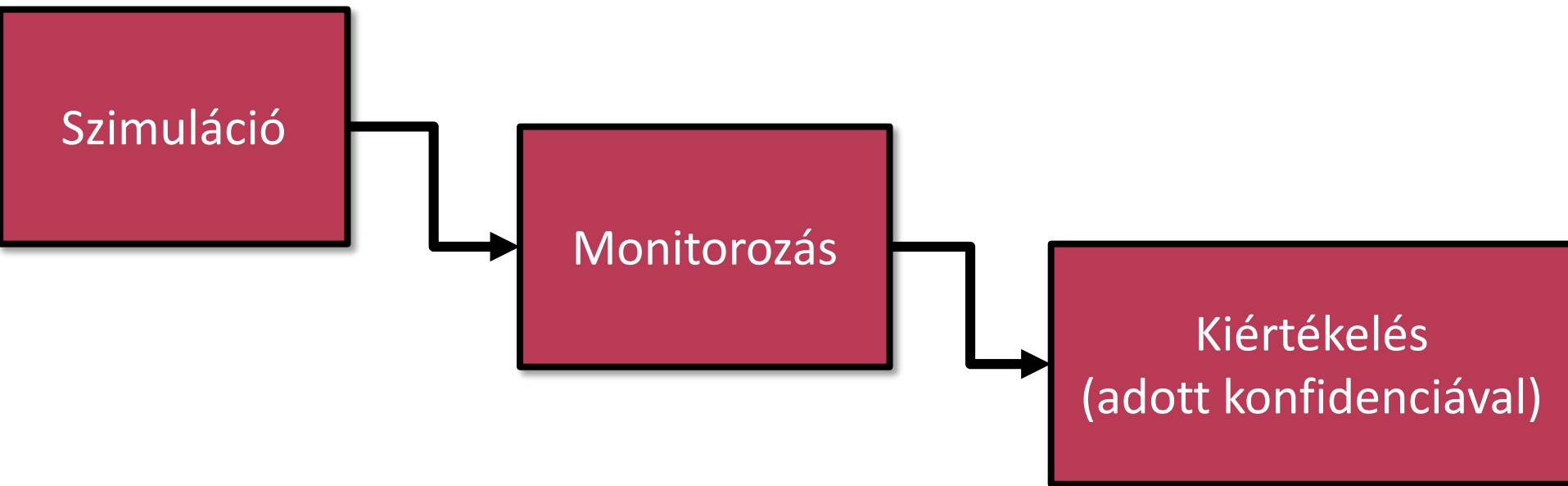
Salánki Ágnes
salanki@mit.bme.hu

Budapest University of Technology and Economics
Fault Tolerant Systems Research Group

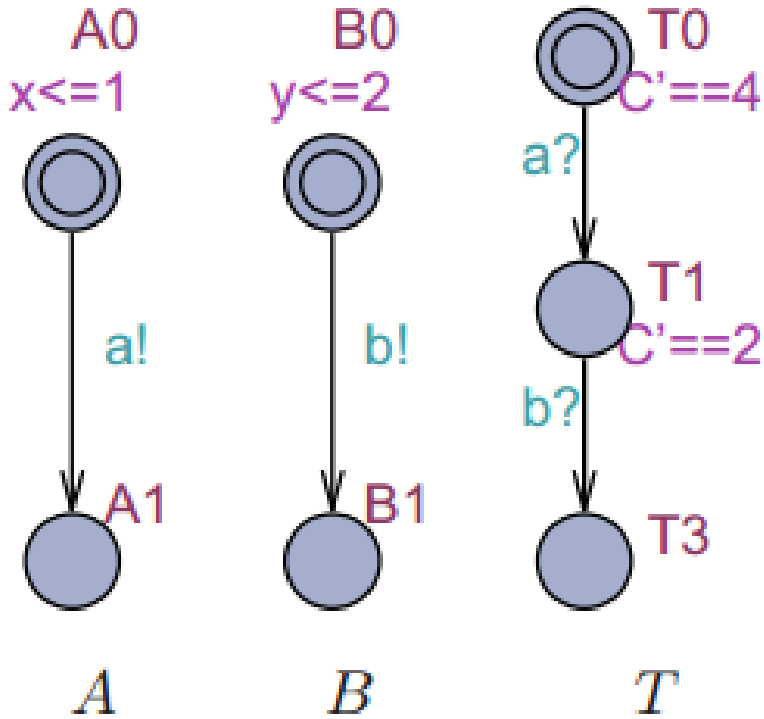


Statisztikai modellellenőrzés

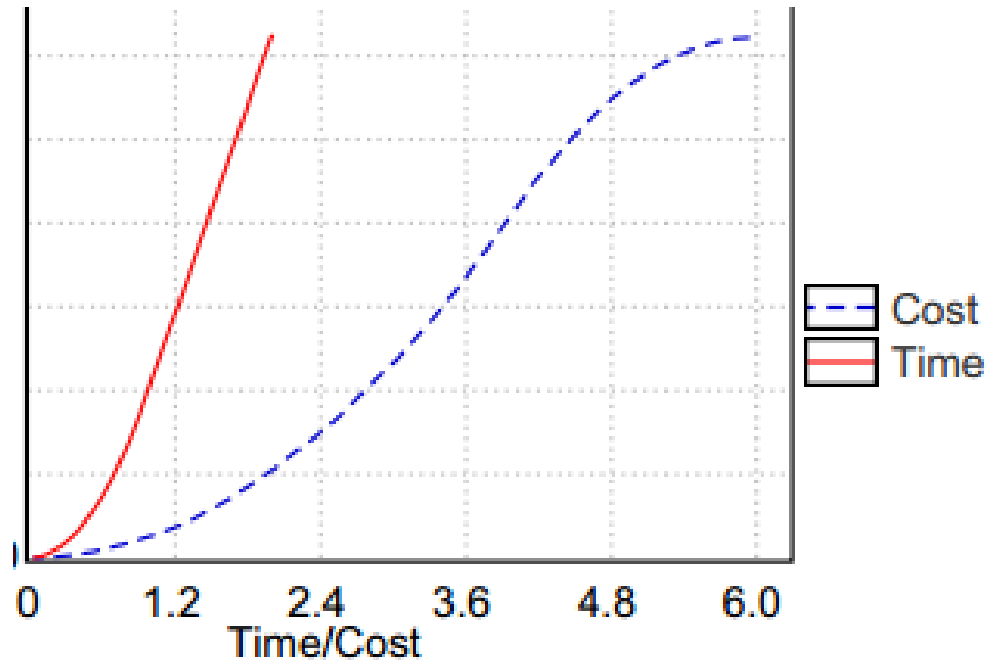
- Nagy állapottér
 - Szimbolikus megközelítések
 - Korlátos ellenőrzés
 - Statisztikai modellellenőrzés
 - Pl. sztochasztikus modellek



Valószínűségek?



$T0 \rightarrow T3$:
 Időben: $[0, 2]$
 Költségben: $[0, 6]$



UPPAAL-SMC

- Sztochasztikus, hibrid automatákra
 - Sztochasztikus automata
 - Az óra más órától és állapotoktól függ
 - Differenciálegyenletek

$$\begin{aligned}
 dD_A/dt &= \theta_A D'_A - \gamma_A D_A A \\
 dD_R/dt &= \theta_R D'_R - \gamma_R D_R A \\
 dD'_A/dt &= \gamma_A D_A A - \theta_A D'_A \\
 dD'_R/dt &= \gamma_R D_R A - \theta_R D'_R \\
 dM_A/dt &= \alpha'_A D'_A + \alpha_A D_A - \delta_{M_A} M_A \\
 dM_R/dt &= \alpha'_R D'_R + \alpha_R D_R - \delta_{M_R} M_R \\
 dA/dt &= \beta_A M_A + \theta_A D'_A + \theta_R D'_R \\
 &\quad - A(\gamma_A D_A + \gamma_R D_R + \gamma_C R + \delta_A) \\
 dR/dt &= \beta_R M_R - \gamma_C A R + \delta_A C - \delta_R R \\
 dC/dt &= \gamma_C A R - \delta_A C
 \end{aligned}$$



$\alpha_A=50, \alpha_A=500, \alpha_R=0.01, \alpha_R=50,$
 $\beta_A=50, \beta_R=5, \delta_{MA}=10, \delta_{MR}=0.5, \delta_A=1, \delta_R=0.2,$
 $\gamma_A=1, \gamma_R=1, \gamma_C=2, \theta_A=50, \theta_R=100,$
 $D_A=1, D_R=1, D_A=0, D_R=0, M_A=0, M_R=0, A=0, R=0, C=0$

$\alpha_A'==0 \ \&\& \ \alpha_A'==0 \ \&\& \ \alpha_R'==0 \ \&\& \ \alpha_R'==0 \ \&\&$
 $\beta_A'==0 \ \&\& \ \beta_R'==0 \ \&\& \ \delta_A'==0 \ \&\& \ \delta_R'==0 \ \&\&$
 $\delta_{MA}'==0 \ \&\& \ \delta_{MR}'==0 \ \&\& \ \gamma_A'==0 \ \&\&$
 $\gamma_R'==0 \ \&\& \ \gamma_C'==0 \ \&\& \ \theta_A'==0 \ \&\& \ \theta_R'==0 \ \&\&$
 $D_A'== \theta_A * D_A - \gamma_A * D_A * A \ \&\&$
 $D_R'== \theta_R * D_R - \gamma_R * D_R * A \ \&\&$
 $D_A'== \gamma_A * D_A * A - \theta_A * D_A \ \&\&$
 $D_R'== \gamma_R * D_R * A - \theta_R * D_R \ \&\&$
 $M_A'== \alpha_A' * D_A' + \alpha_A * D_A - \delta_{MA} * M_A \ \&\&$
 $M_R'== \alpha_R' * D_R' + \alpha_R * D_R - \delta_{MR} * M_R \ \&\&$
 $A'== \beta_A * M_A + \theta_A * D_A' + \theta_R * D_R' \ \&\&$
 $\quad - A * (\gamma_A * D_A + \gamma_R * D_R + \gamma_C * R + \delta_A) \ \&\&$
 $R'== \beta_R * M_R - \gamma_C * A * R + \delta_A * C - \delta_R * R \ \&\&$
 $C'== \gamma_C * A * R - \delta_A * C$

(a) Ordinary differential equations.

(b) UPPAAL automaton representation.

- Sztochasztikus, hibrid automatákra
 - Sztochasztikus automata
 - Az óra más órától és állapotoktól függ
 - Differenciálegyenletek

- Jellemző használati esetek
 - $p_1 > p_2$?
 - $p_1 > 0.78$?

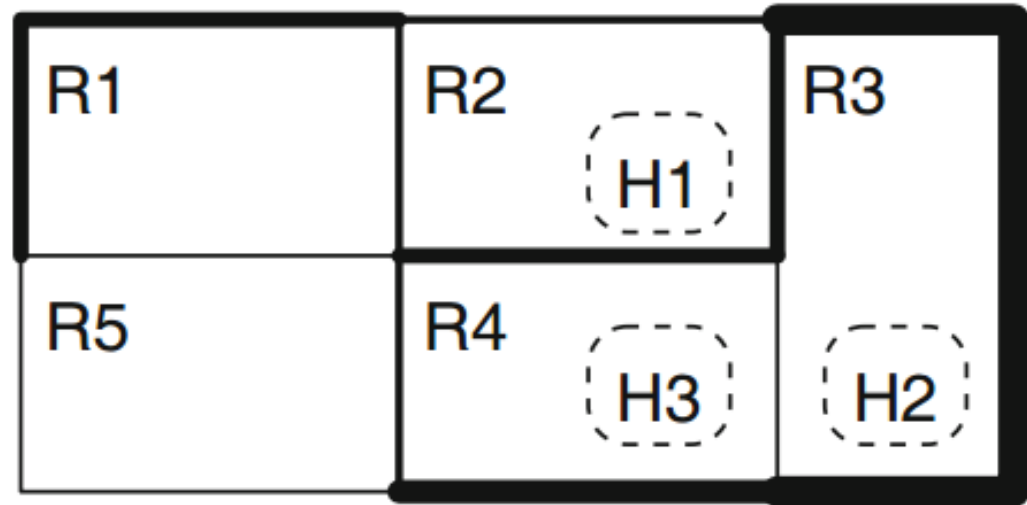
Esettanulmány: intelligens házak

- 2020: energiafogyasztás és –termelés
 - Pontos mérése
 - Központi rendszerbe történő előrejelzése

- Hybrid Verification Benchmark [4]
 - Fűtéstervezés 😊
 - Alapstratégiák
 - Beltéri elrendezésekre

Fűtéstervezés

- Lakás topológiája
 - Hol van fűtőtest?
 - Falak vastagsága?



- Szobák jellemzői
 - Hőmérsékleti „profil”
 - hol mennyire legyen meleg?
 - hogyan melegszik a szoba?
- Környezeti paraméterek
 - Kinti hőmérséklet

Fűtéstervezés

- Szoba új hőmérséklete

$$T'_i = \sum_{j \neq i} a_{i,j} (T_j - T_i) + b_i(u - T_i) + c_i h_i$$

- T – hőmérséklet
- $a_{i,j}$ – szomszédossági mátrix
- u – kinti hőmérséklet
- b – csillapítási tényező
- c – beltéri profil
- h – ott van-e épp a fűtőtest

R1	R2 H1	R3
R5	R4 H3	H2

$$\begin{pmatrix} 0.00 & 0.40 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.40 & 0.00 & 0.20 & 0.20 & 0.00 \\ 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.20 & 0.50 & 0.00 & 0.40 \\ 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.40 & 0.00 \end{pmatrix}$$

Fűtési stratégiák

Strategy 1

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

Difference $T_j - T_i \geq dif_i$

dif:
megengedett
különbség

Strategy 2

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

Threshold $T_j \geq get_j$

Strategy 3

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

Threshold $T_j \geq on_j$

on:
be kell kapcsolni
a fűtést

get:
legyen fűtőtest a
szobában

Fűtési stratégiák

Strategy 1

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

Difference $T_j - T_i \geq dif_i$

„Csak akkor vigyük el, ha meleg van”

Strategy 2

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

Threshold $T_j \geq get_j$

Strategy 3

Room i has no heater

Room j has a heater

Temperature $T_i \leq get_i$

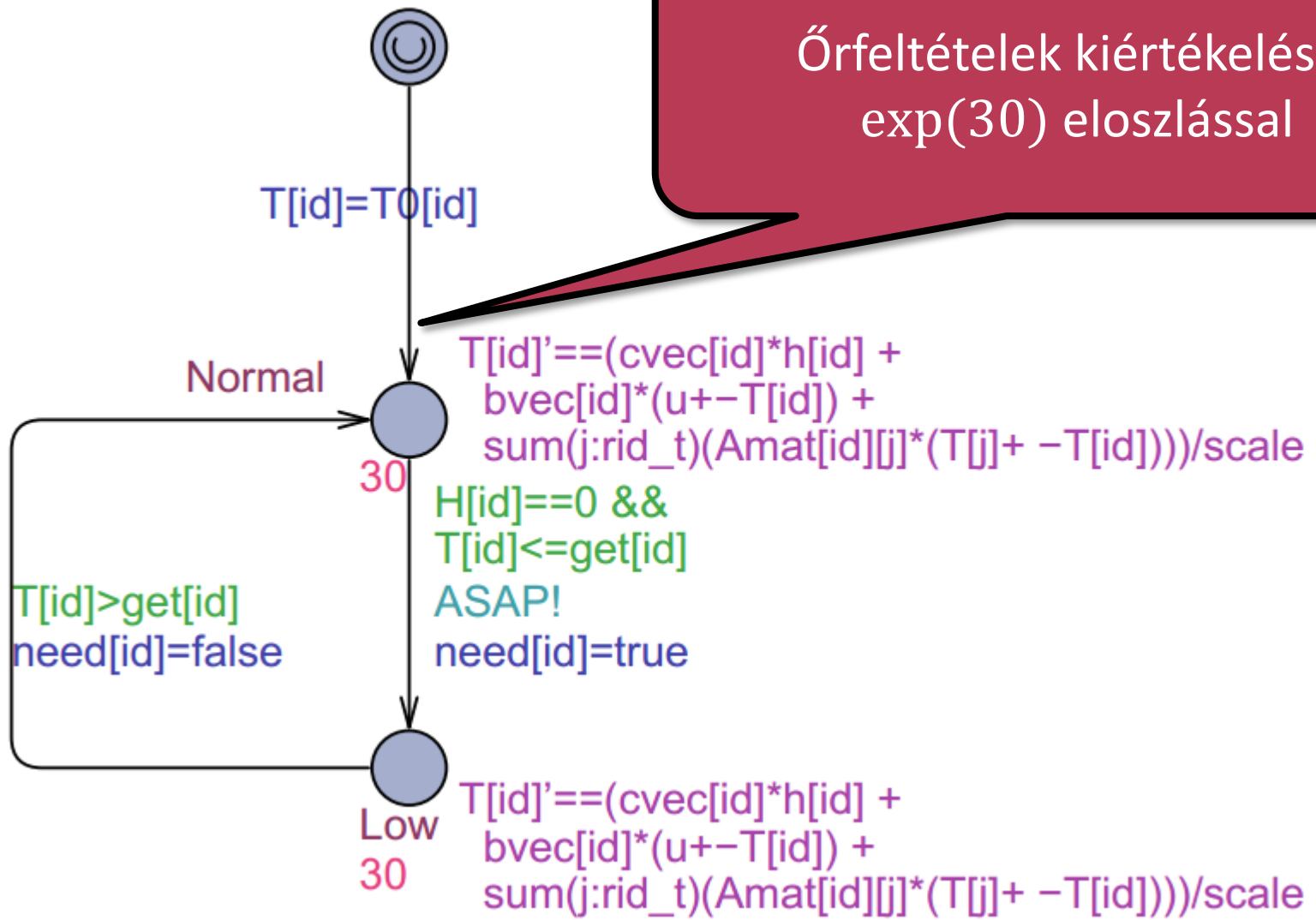
Threshold $T_j \geq on_j$

„Ne legyen nagy különbség”

„Ne vigyük el a fűtést egy szobából, ahol szintén hideg van”

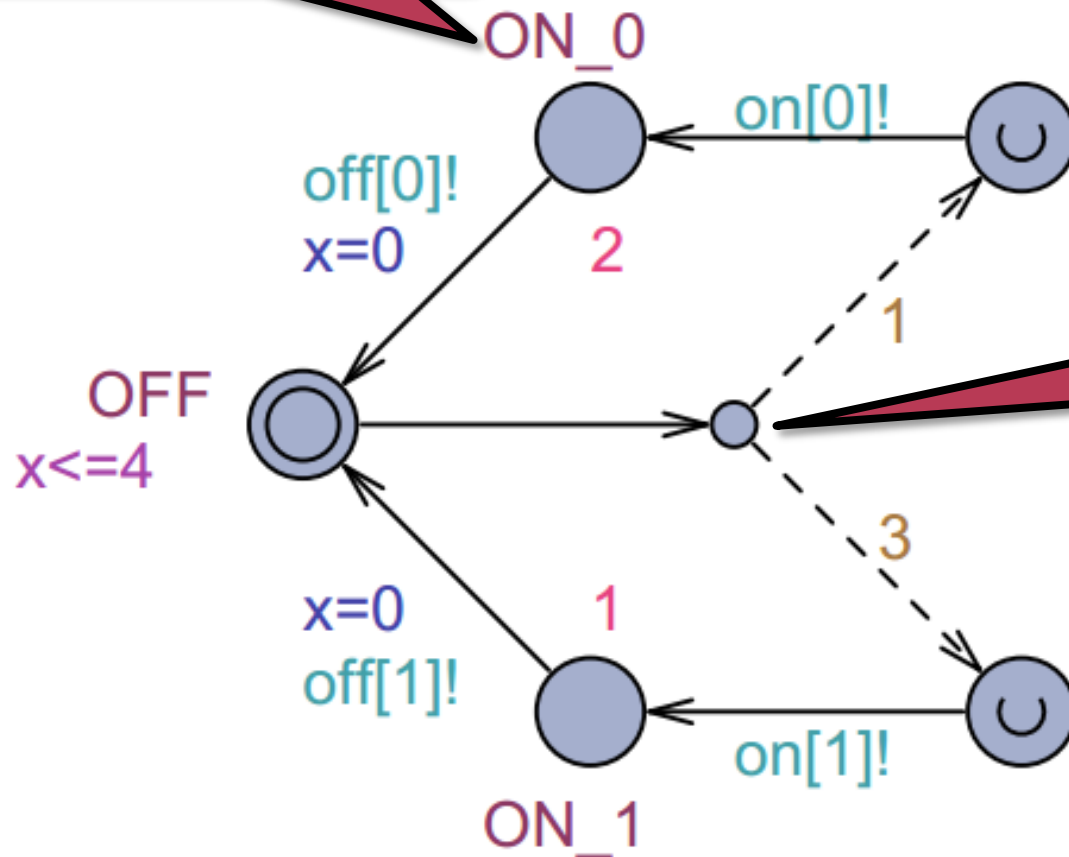
Egy szoba modellje

Órfeltételek kiértékelése:
exp(30) eloszlással



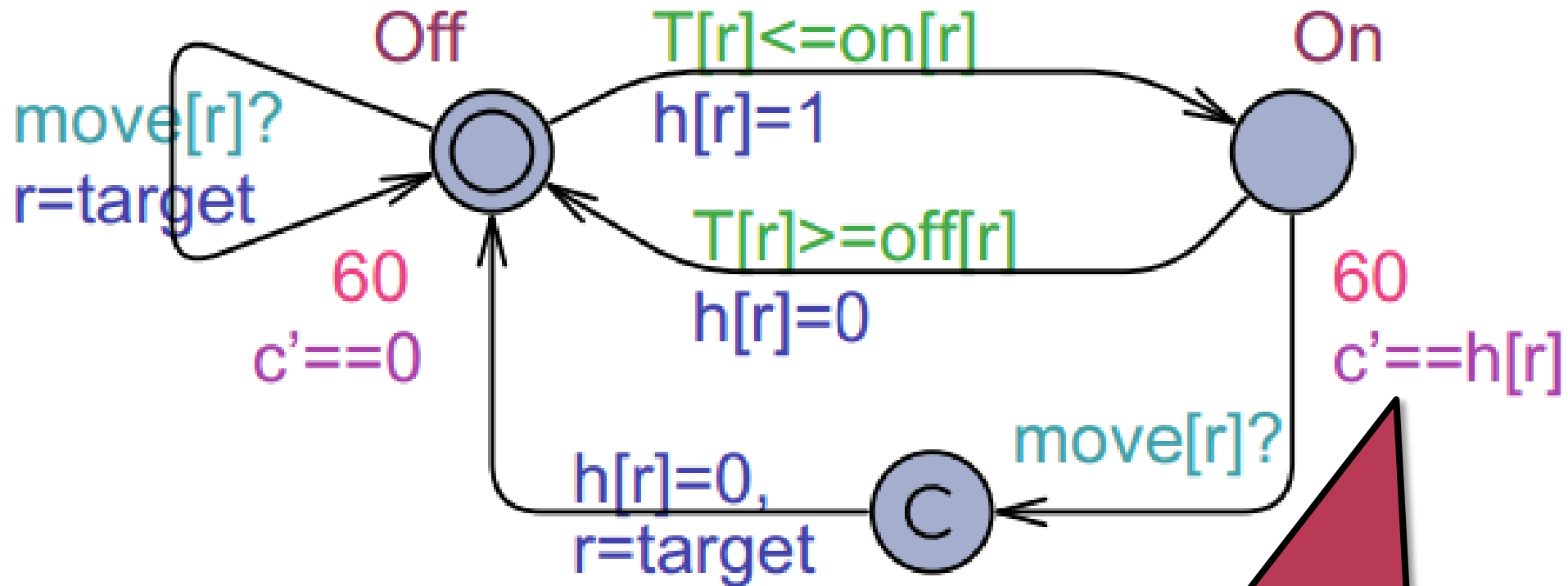
A fűtőtest modellje: alapváltozat 2 szobára

És nem is olyan sokáig



$\frac{1}{4}$ valószínűséggel fűti az elsőt

A fűtőtest modellje

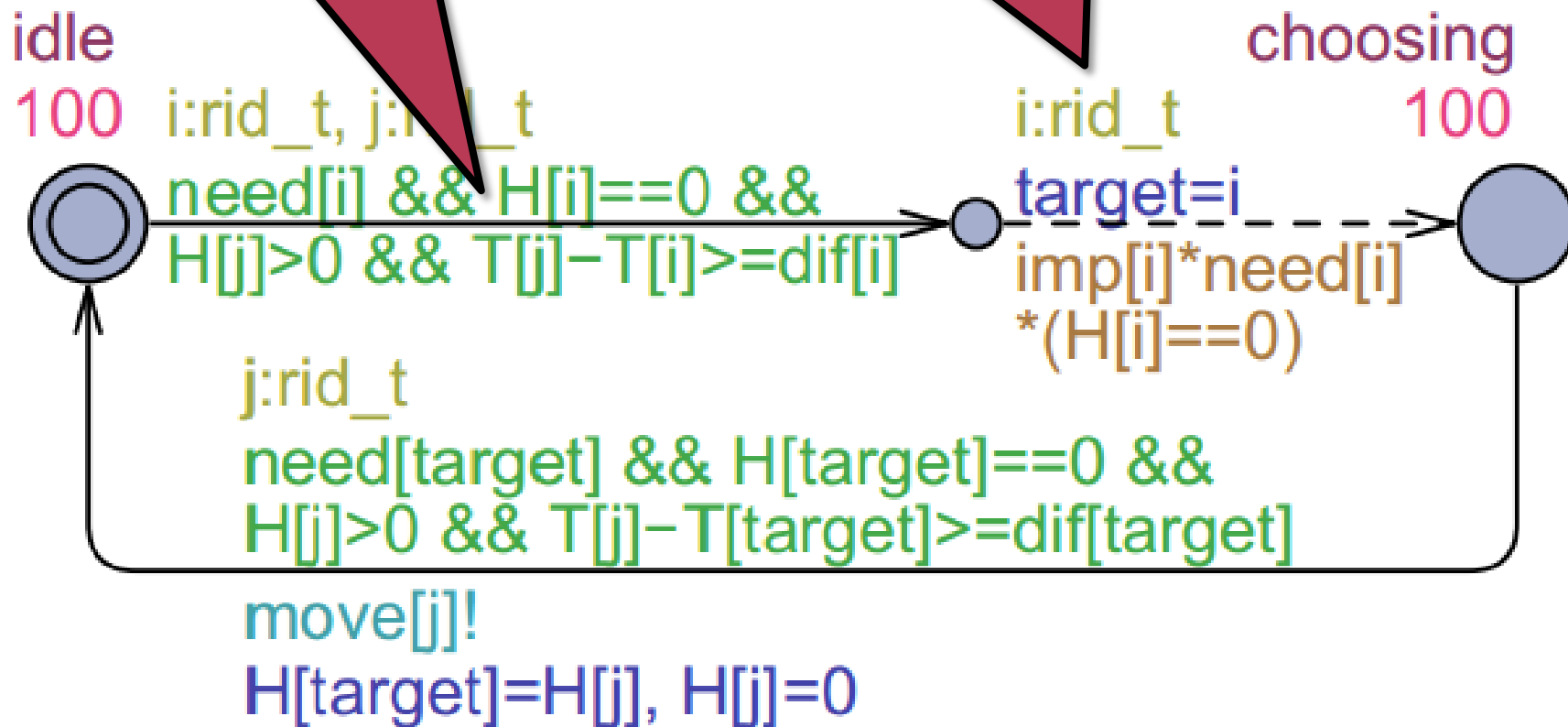


A fűtés költsége a bekapcsolás időtartamával arányos

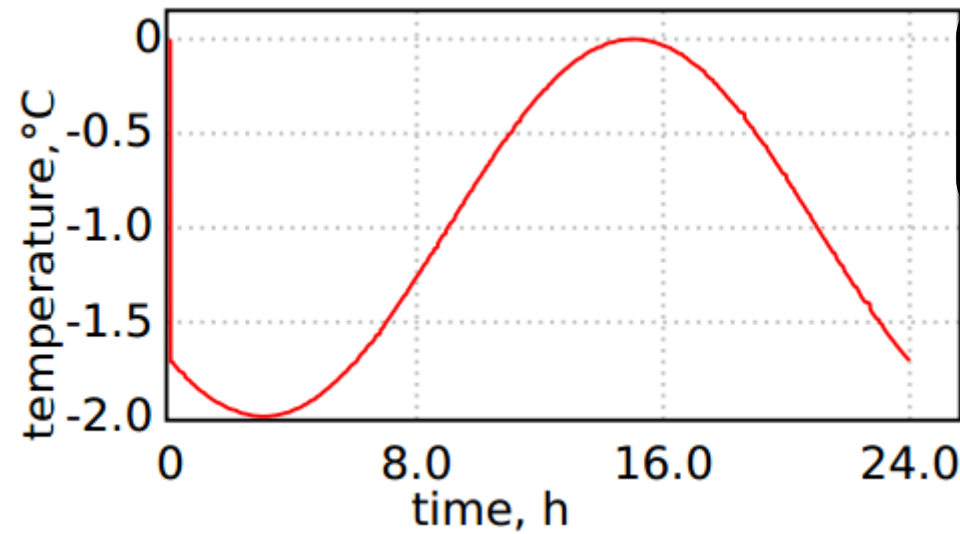
A vezérlő modellje

Itt: 1. stratégiamodel

Sztochasztikus modell a választásra

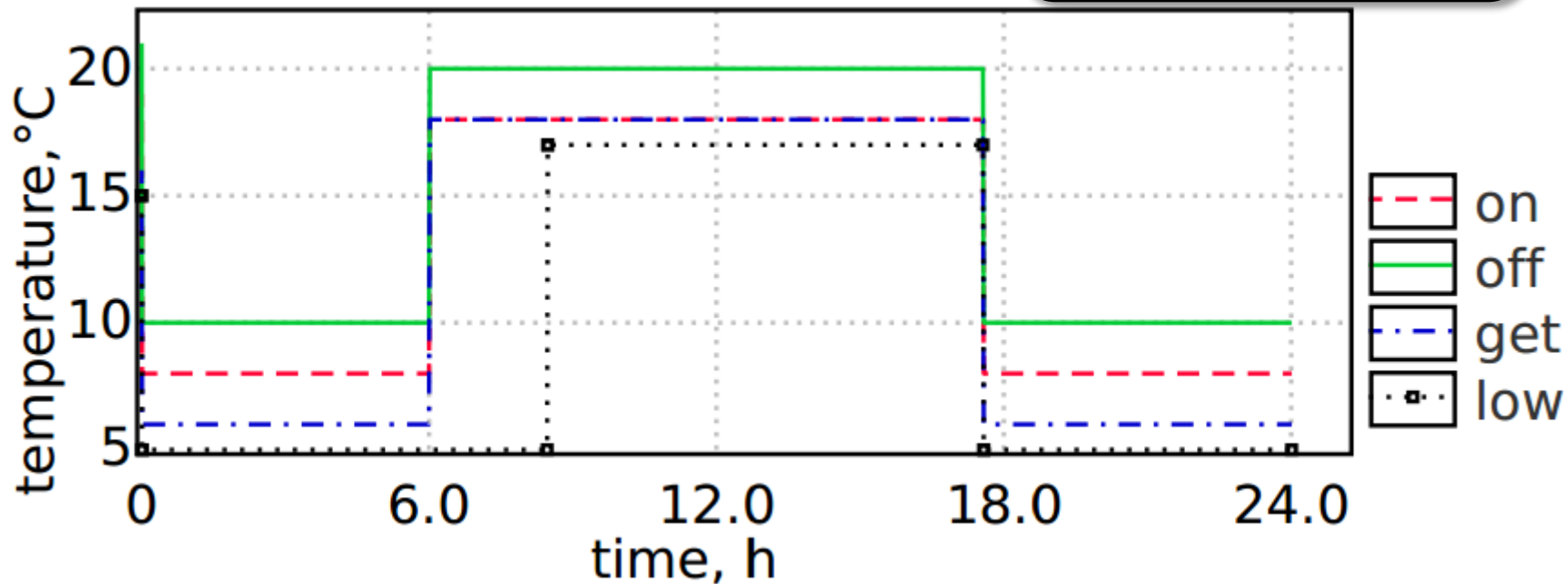


„Dinamikus” felhasználó



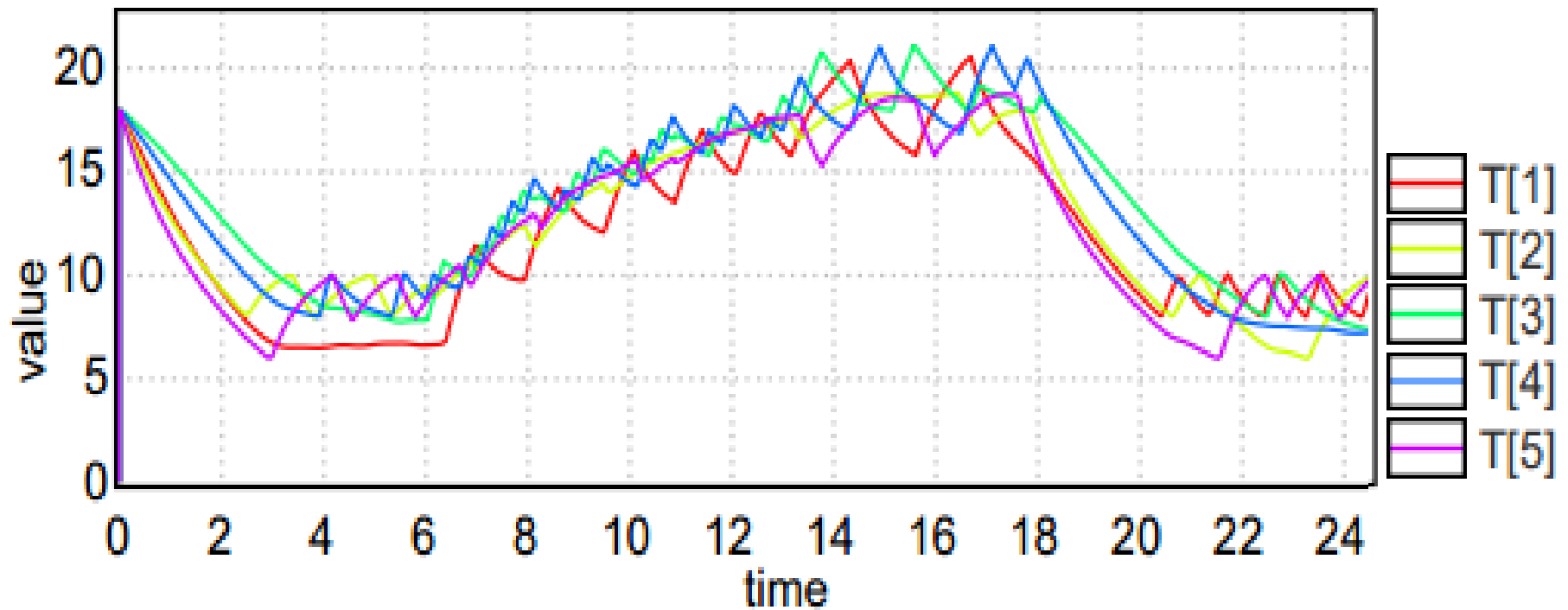
A külső
hőmérséklet is
változik

És az igények is
(irodai
alkalmazott)



1 napnyi szimuláció

- `simulate 1 [<=2*day]`
`{ T[1], T[2], T[3], T[4], T[5] }`



UPPAAL-SMC: jellemző lekérdezések

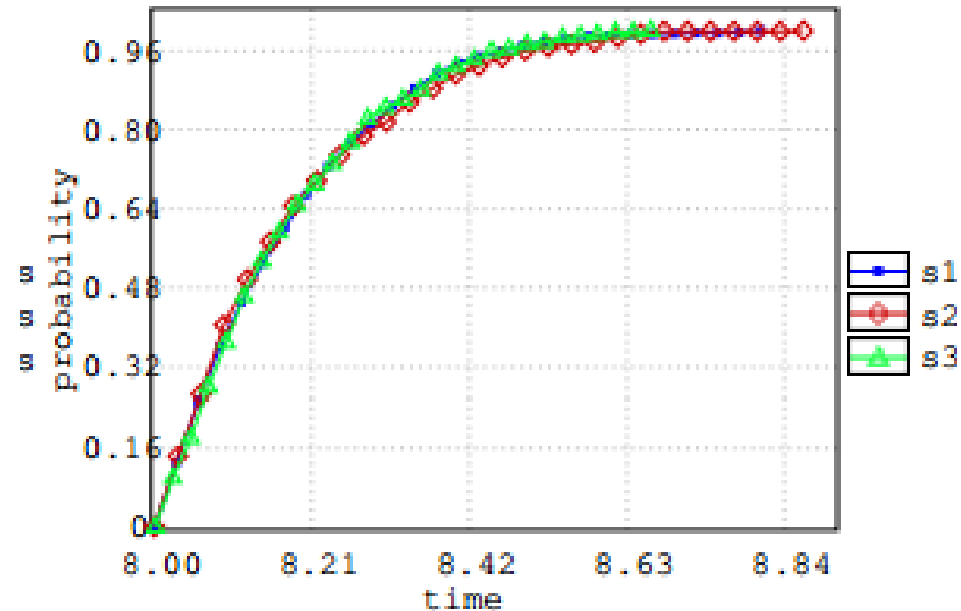
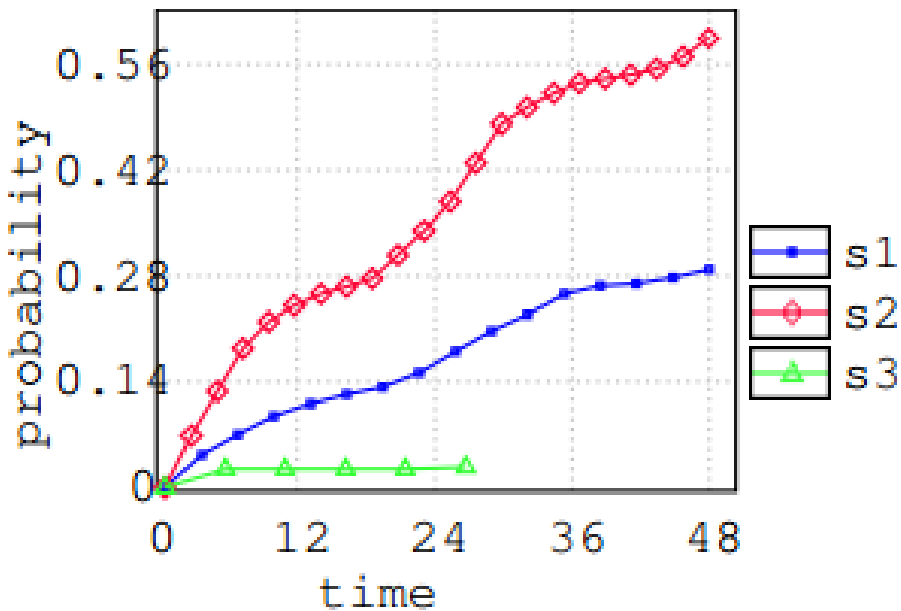
- „discomfort”
 - $\text{Pr}[\leq 2 * \text{day}] (\langle \rangle \text{time} > 0 \ \&\& \ \text{exists}(i:\text{rid_t}) \ T[i] < \text{low}[i])$
- Áramfogyasztás
 - $\text{Pr}[\text{energy} \leq 1000000] (\langle \rangle \text{time} \geq 2 * \text{day})$
- Valószínűbb, hogy nincs nagyon hideg
 - $\text{Pr}[\# \leq 100] ([\] \text{Room}(1).\text{Init} \ || \ \text{Room}(1).T \geq 10) \geq 0.5$
- Valószínűbb, hogy nincs nagyon hideg: 2. verzió
 - $\text{Pr}[\leq 100] ([\] \text{Room}(1).\text{Init} \ || \ \text{Room}(1).T \geq 10) \geq \text{Pr}[\leq 100] ([\] \text{Room}(0).\text{Init} \ || \ \text{Room}(0).T \leq 15)$

Hőmérséklet ingadozása

- $\Pr[\leq 2 \cdot \text{day}]$
($\langle \rangle$ $\text{time} > 0$ && $\text{Monitor.Discomfort}$)

Statikus: 3. a legjobb

Dinamikus:
stratégiafüggetlen

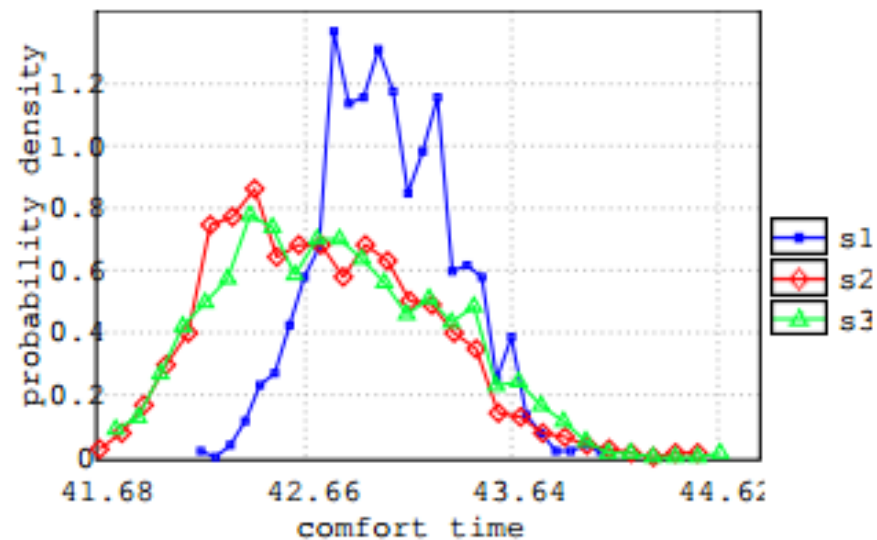
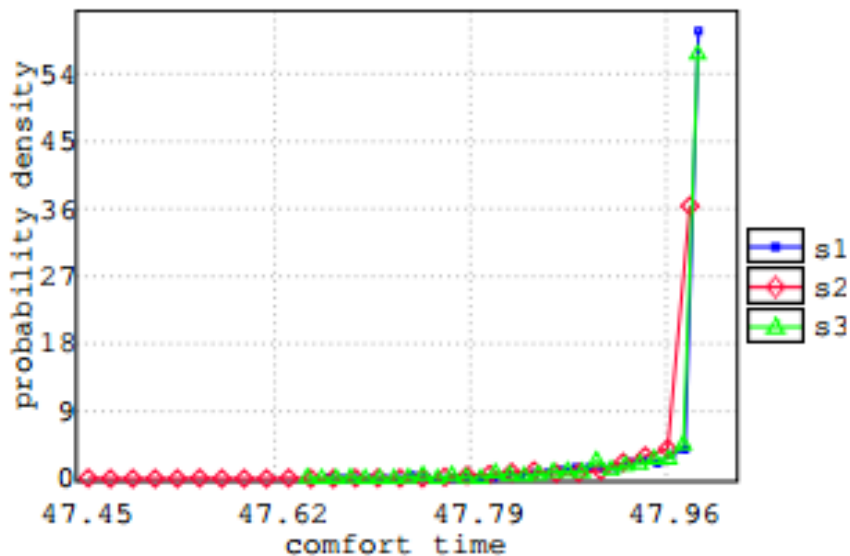


Kumulált, hidegben töltött idő

- Pr[comfort ≤ 2*day] (<> time ≥ 2*day)

Statikus:
stratégiafüggetlen

Dinamikus: 1. a legjobb

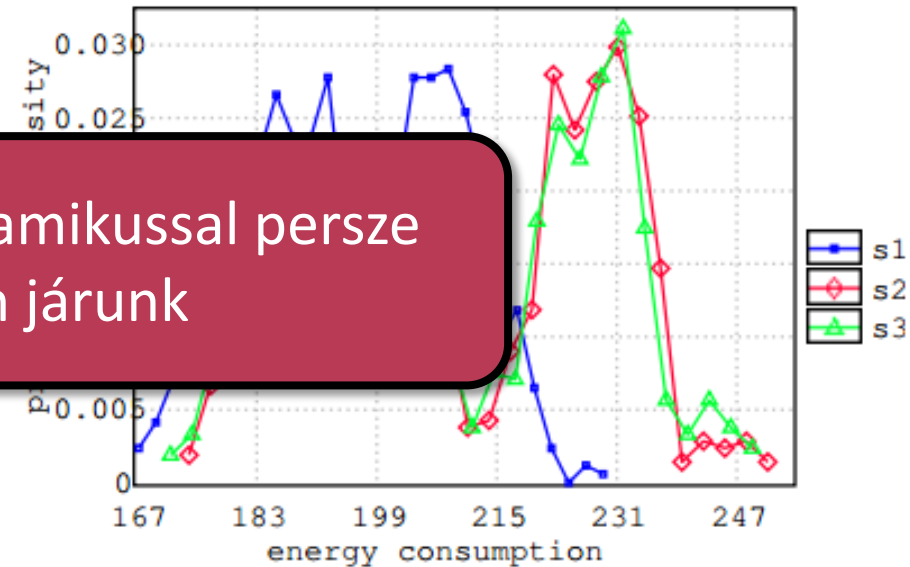
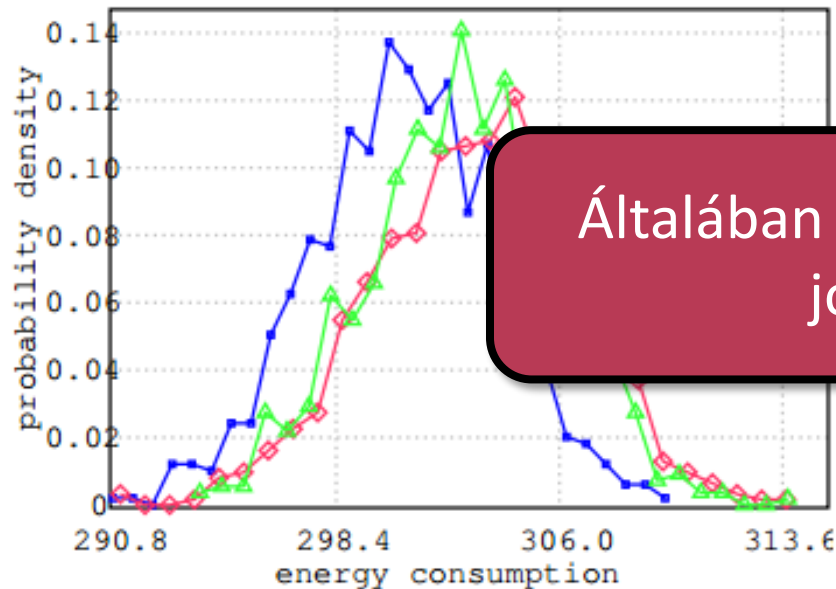


Energiafelhasználás

- $\Pr [\text{Monitor.energy} \leq 1000000]$
($\langle \rangle$ $\text{time} \geq 2 * \text{day}$)

Statikus:
stratégiafüggetlen

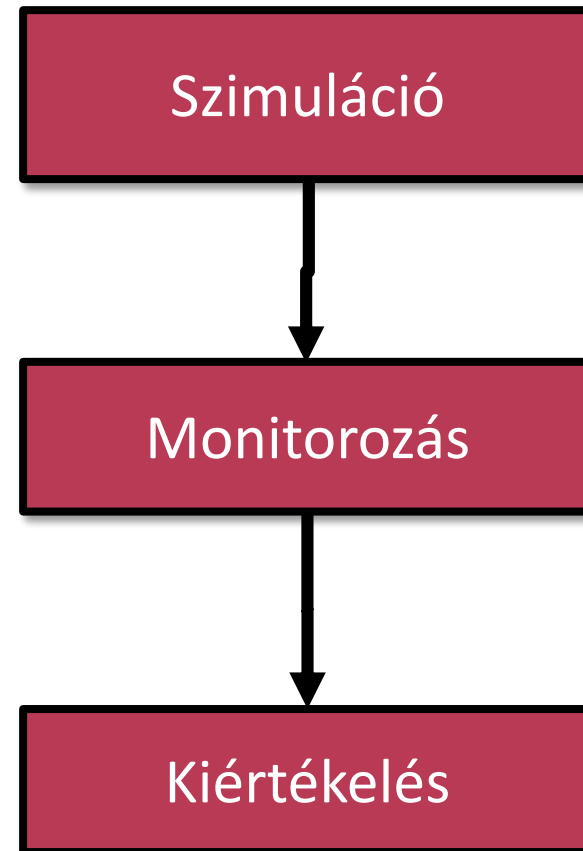
Dinamikus: 1. a legjobb



Általában a dinamikussal persze
jobban járunk

Összefoglalás

- Statisztikai modellellenőrzés
 - Csak adott bizonyossággal
 - De legalább becsülni tud
- Eszközkészlet
 - UPPAAL-SMC
 - PRISM



Hivatkozások

- [1] David, A., Du, D., Larsen, K. G., Legay, A., Mikučionis, M., Poulsen, D. B., & Sedwards, S. (2012). Statistical model checking for stochastic hybrid systems. *arXiv preprint arXiv:1208.3856*.
- [2] David, A., Du, D., Larsen, K. G., Mikučionis, M., & Skou, A. (2012). An evaluation framework for energy aware buildings using statistical model checking. *Science China Information Sciences*, 55(12), 2694-2707.
- [3] Legay, A., Delahaye, B., & Bensalem, S. (2010, January). Statistical model checking: An overview. In *Runtime Verification* (pp. 122-135). Springer Berlin Heidelberg.
- [4] Fehnker, A., & Ivančić, F. (2004). Benchmarks for hybrid systems verification. In *Hybrid Systems: Computation and Control* (pp. 326-341). Springer Berlin Heidelberg.