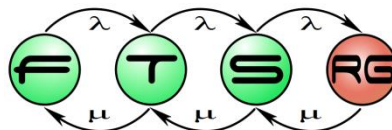


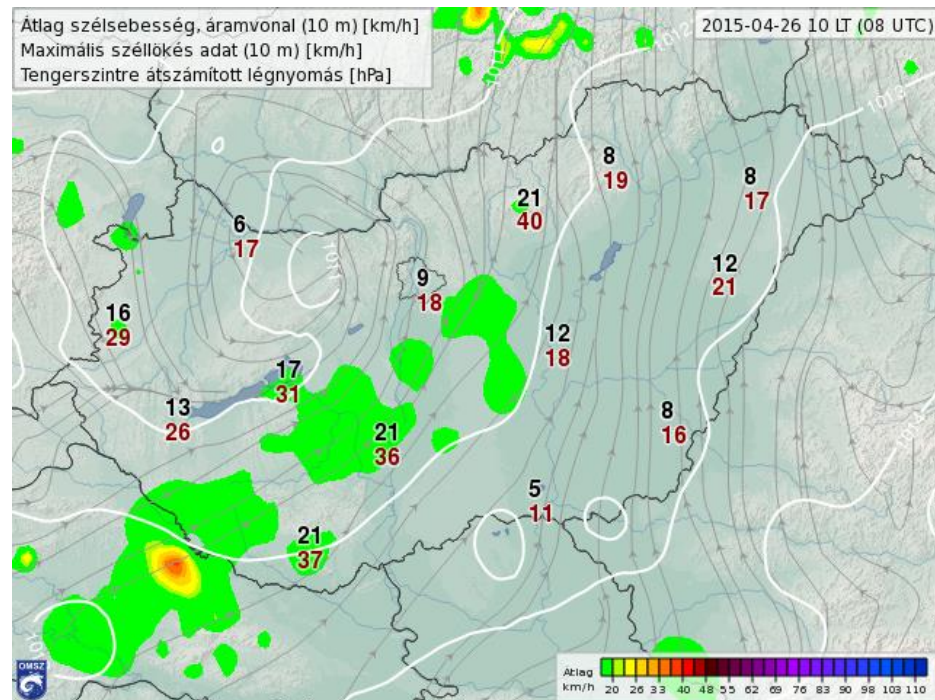
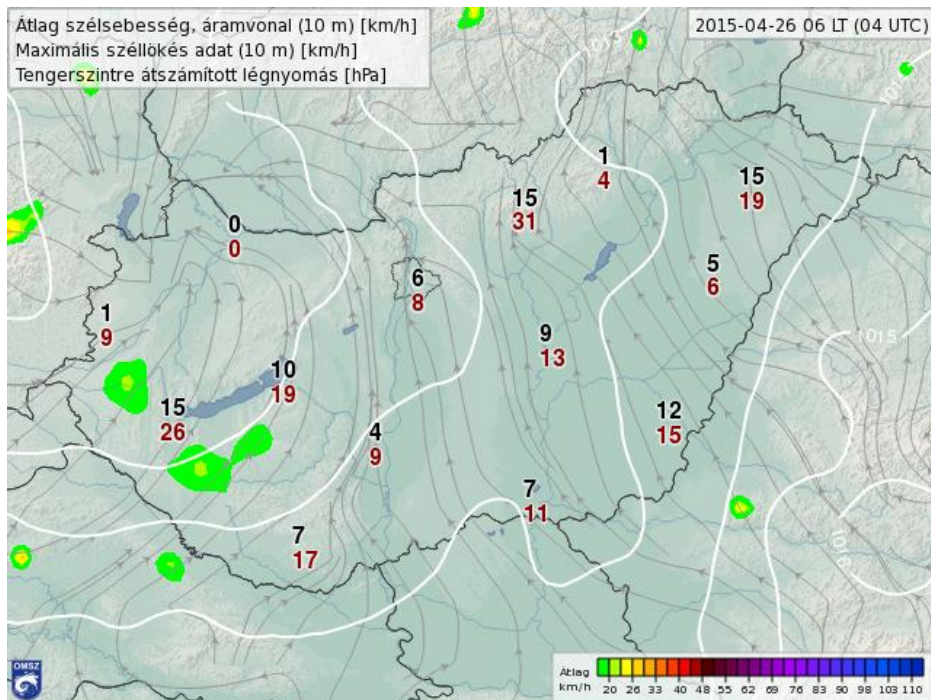
Szimuláció

**Budapest University of Technology and Economics
Fault Tolerant Systems Research Group**



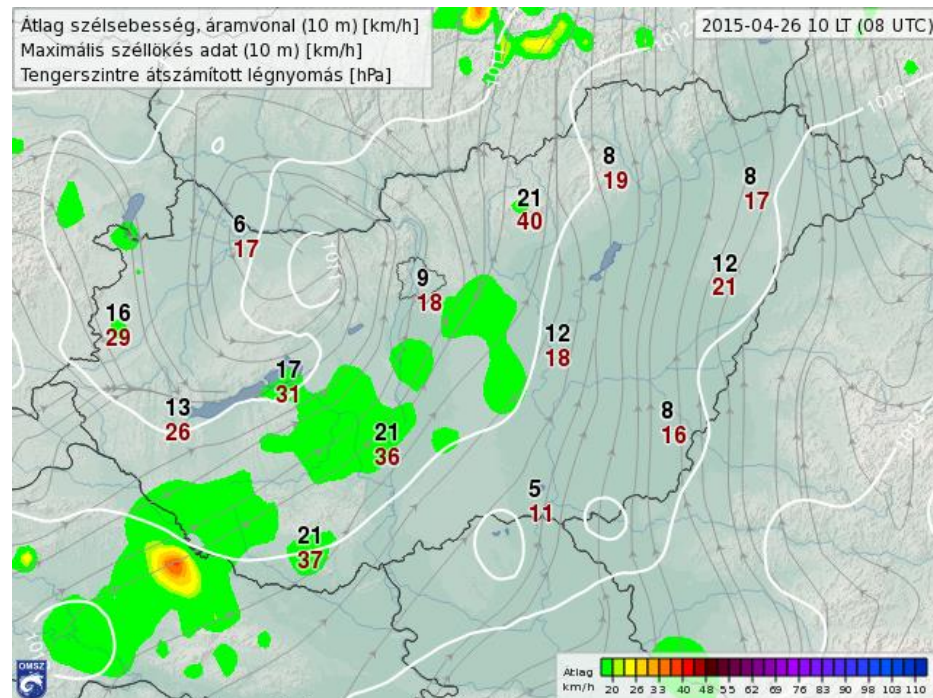
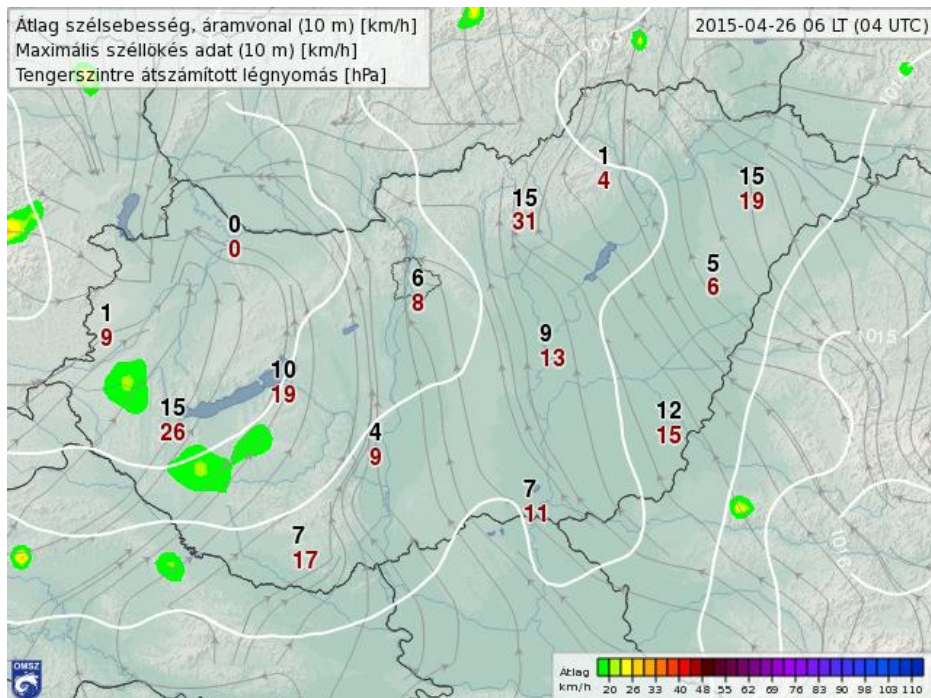
Mérés: Magyarország széltérképe

■ Magyarország széltérképe *hajnalban és reggel*



Mérés: Magyarország széltérképe

■ Magyarország széltérképe *hajnalban és reggel*



Megfigyelés: dinamikus rendszer →
pillanatképek sorozata

Modellalkotás

Az ECMWF readingi központjában naponta kétszer, a 00 és a 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos determinisztikus modell előrejelzéseket futtatnak. A modell számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, így például az óceán - légkör, a talajnedvesség és a légkör, valamint a hótakaró és a légkör közöttit. A globális modell a felszín és a 0.1 hPa nyomási szint között 136 réteget tartalmaz. A modell horizontális térbeli felbontása 16 km.

Modellalkotás

Az **ECMWF** readingi központjában naponta kétszer, a 00 és a 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos determinisztikus modell előrejelzéseket futtatnak. A modell **számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe**, így például az **óceán - légkör**, a **talajnedvesség** és a **légkör**, valamint a **hótakaró** és a **légkör** közöttit. A globális modell a **felszín és a 0.1 hPa nyomási szint között 136 réteget** tartalmaz. A modell horizontális térbeli **felbontása 16 km**.

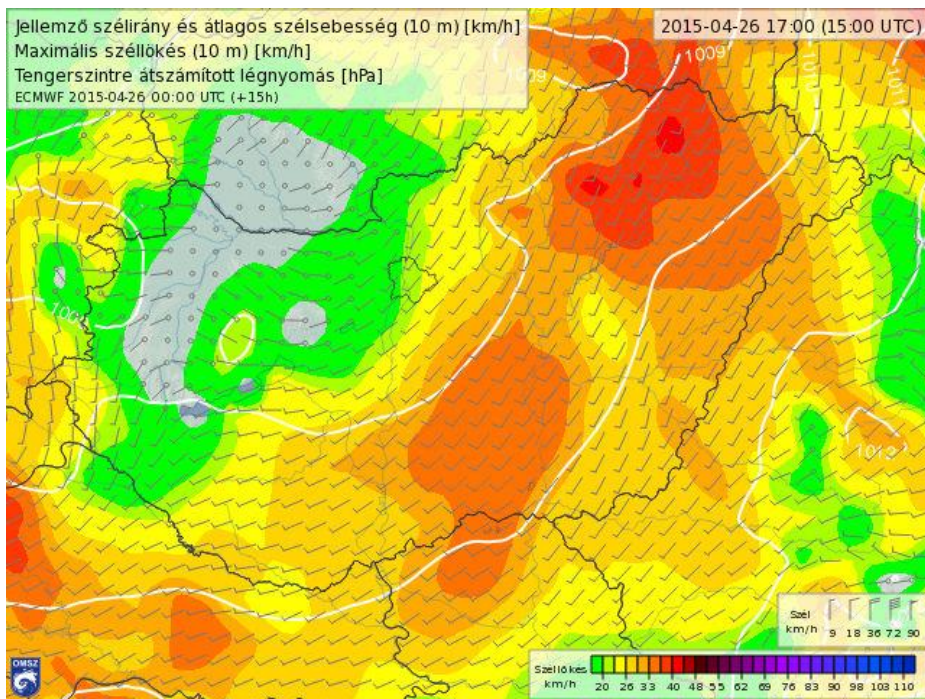
Modellalkotás

Az **ECMWF** readingi központjában naponta kétszer, a 00 és a 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos determinisztikus modell előrejelzéseket futtatnak. A modell **számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe**, így például az **óceán - légkör**, a **talajnedvesség** és a **légkör**, valamint a **hótakaró** és a **légkör** közöttit. A globális modell a felszín és a 0.1 hPa nyomási szint között **136 réteget** tartalmaz. A modell horizontális térbeli **felbontása**

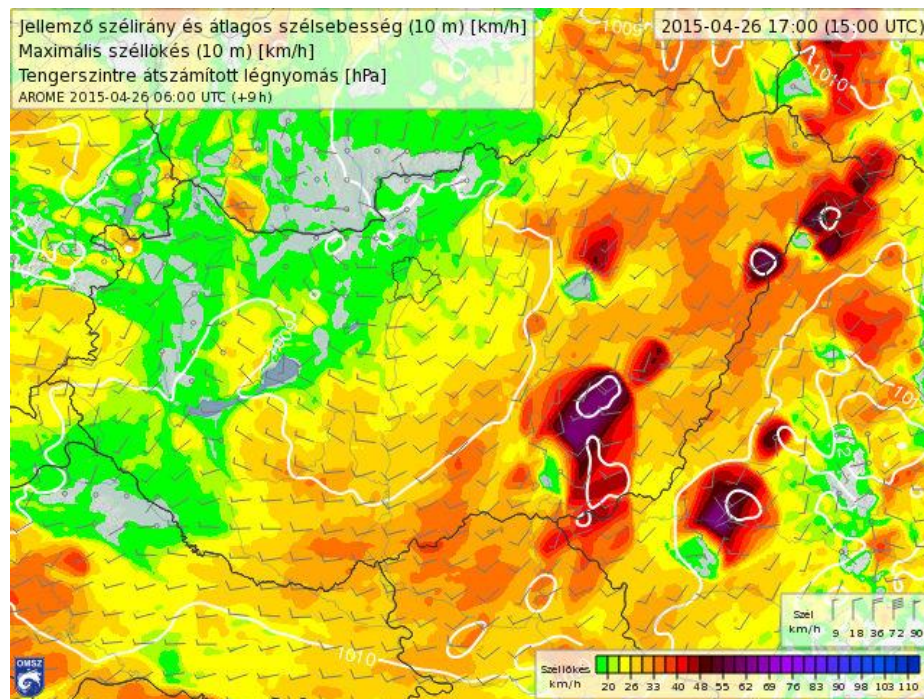
16 Modell pontossága függ az **absztrakciós szinttől** és a **valósághűségtől**

Szimuláció

- Délután tudunk-e menni vitorlázni?



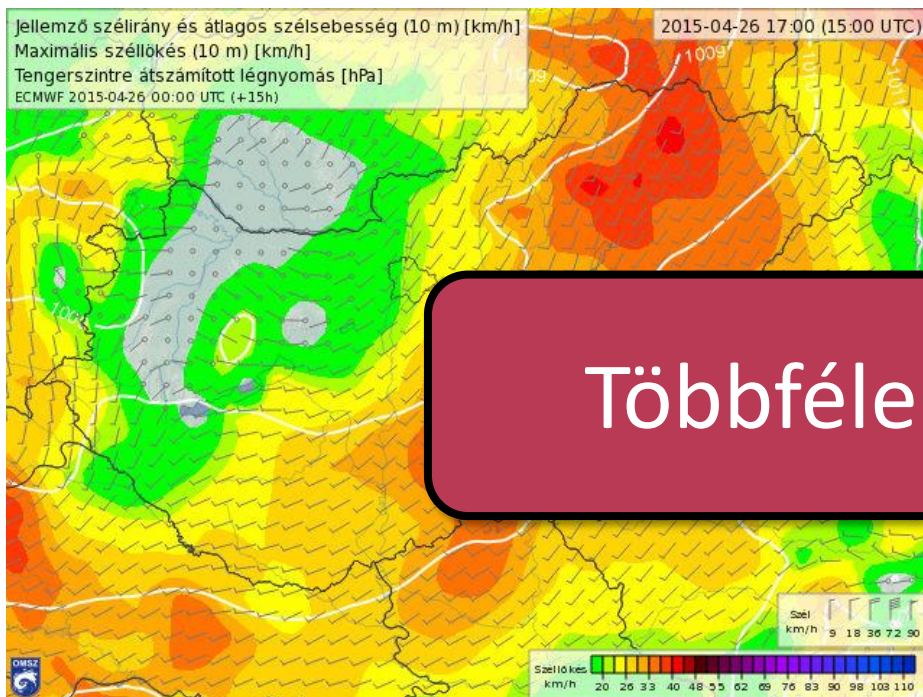
ECMWF



AROME

Szimuláció

- Délután tudunk-e menni vitorlázni?



ECMWF



AROME

Többféle modell!!!

Történelmi hóviharra készül Amerika

tag-reuters (4)



-KG-

 KÖVETÉS

2015.01.26. 22:06



Történelmi mértékű hóviharra készülnek az Egyesült Államok keleti partján, amit helyi idő szerint hétfő este érhet el a Juno névre keresztelt vihar. A 400 km-es sávban elterjedő vihar akár 58 millió embert is érinthet.

A National Weather Service, ami nem a költői túlzásról ismert, a történelmi és az életveszélyes jelzőket használta a viharra. Éppen ezért New Yorkban este 11-től kihajtási tilalom lesz a személygépjárművekre, de a polgármester Bill de Blasio mindenkit arra kért, maradjon otthon, mert az éjszaka folyamán egyre csökken majd az elérhető tömegközlekedési járatok száma, a New York-i metró forgalmát ugyanis este 8-tól korlátozni fogják.



tag-reuters (5)

A történelmi hóvihár elmaradását az európaiakra kenik

INDEX

2015.01.27. 23:44



Az amerikai országos meteorológiai szolgálat (NWS) szakértői jórészt azért tévedtek az északkeleti államokba betörő téli vihar útvonalának és hatásának kiszámításakor, mert a saját rendszerük helyett inkább egy európai előrejelzési modellben bíztak - állította szerdán egybehangzóan több amerikai sajtóforrás.

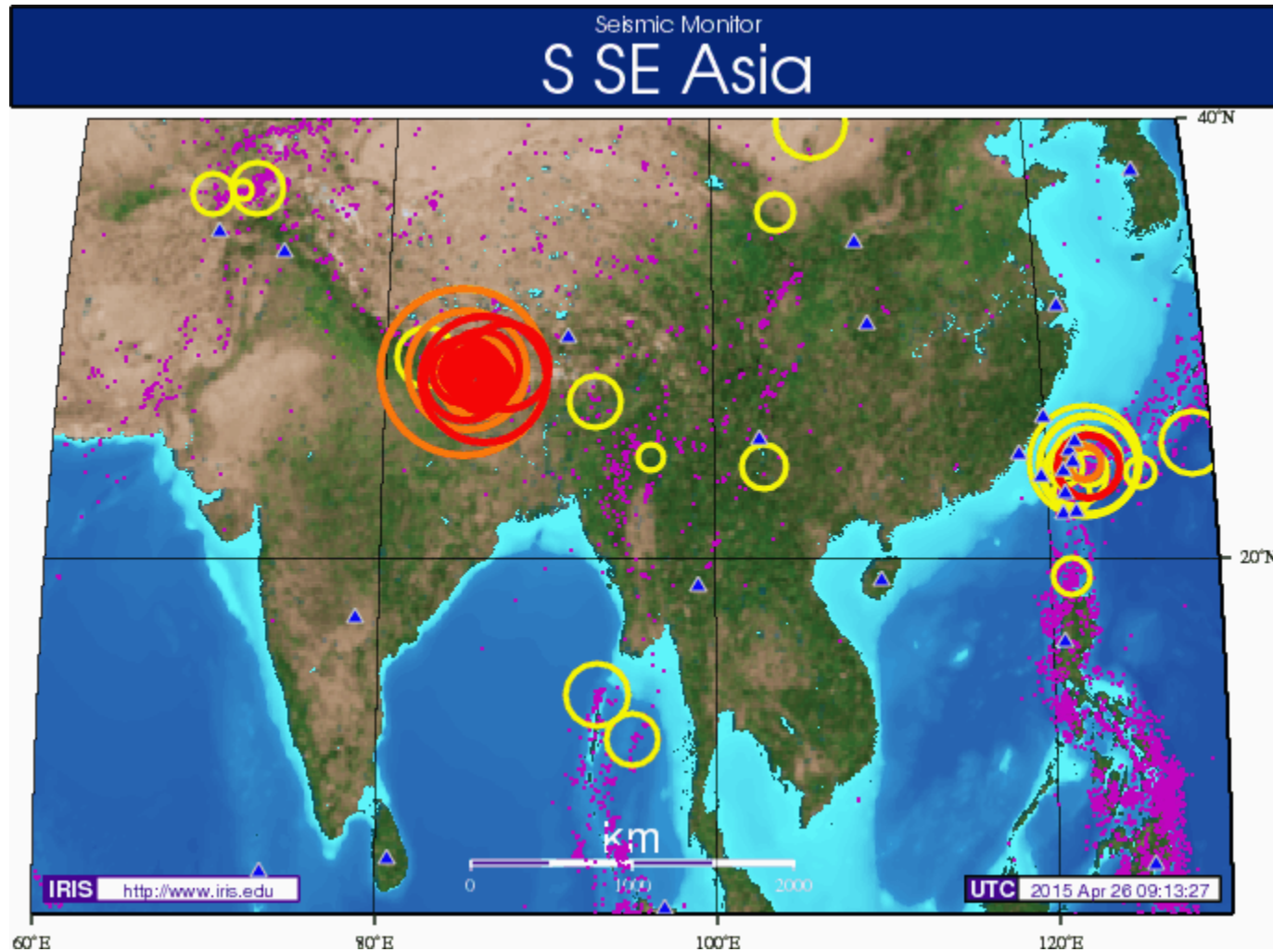
A Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) numerikus modelljét alkalmazva a szakemberek előzetesen arra következtettek, hogy a vihar a legnagyobb csapást New York Cityre fogja mérni. Ehelyett a történelminek ígért havazás a metropolistól mintegy 80-160 kilométerre keletre, az óceánba zúdult. Az európai számítógépes modell, amely az egyike annak a négy szimulációs rendszernek, amelyet a keleti parti időjárás-előrejelzésben használnak, korábban - például 2012-ben a Sandy hurrikán útvonalának kiszámításakor - jobb teljesítményt nyújtott az amerikainál, írja az MTI.

Ez utóbbit, a Globális Előrejelzési Rendszert (GFS) a közelmúltban korszerűsítették. A GFS - helyesen - ezúttal azt jelezte előre, hogy a vihar a tengeren, és nem New Yorkban fog lesújtani.

KAPCSOLÓDÓ CIKK

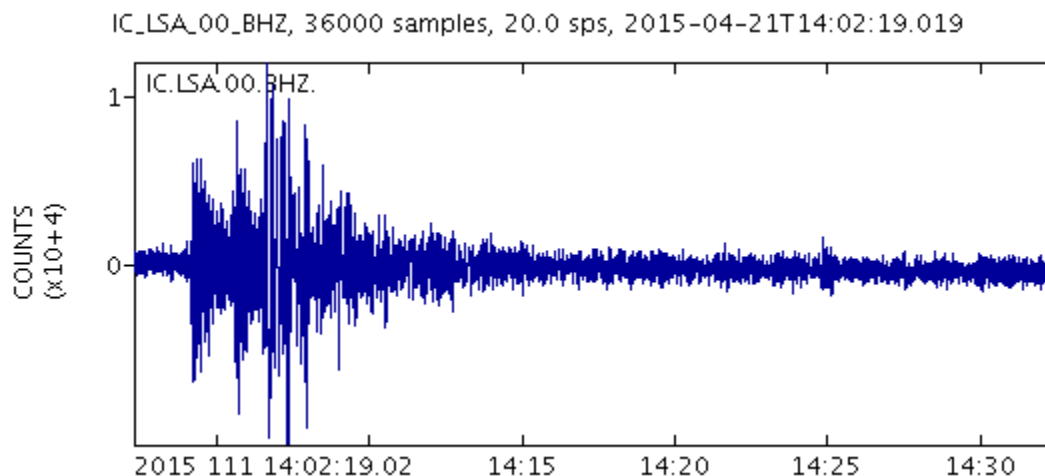
- Dalban mondta e...
- Szükségállapot tö...
- Történelmi hóviha...

Földrengések előrejelzése



Mérés

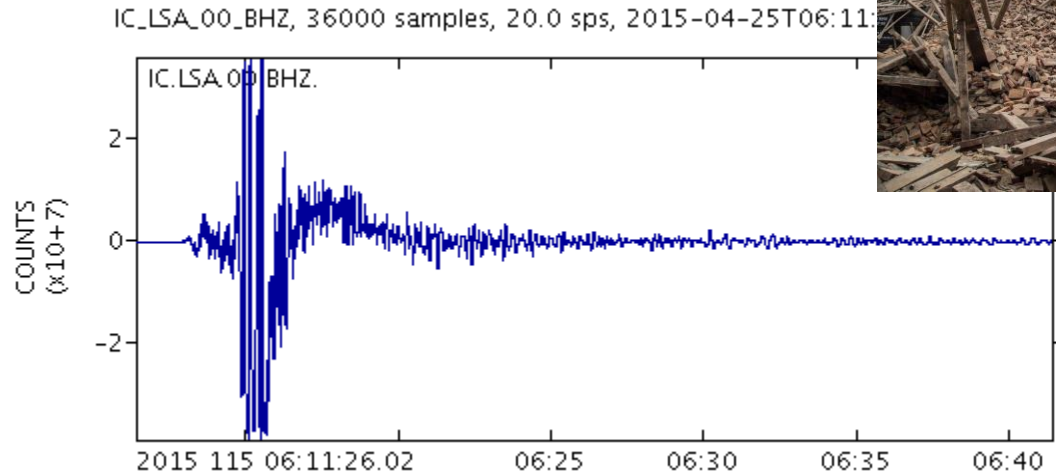
- Gyenge rengés a katasztrófa előtt



- Adatrögzítés: szeizmográf
- Lesz-e erős földrengés?
- Mi már tudjuk a választ...

Előrejelzés?

- **Katasztrófa**



- 3 nagyságrenddel nagyobb földrengés
 - Pár nappal a korábbi mérések után
- Milyen jó lenne pontosabban előrejelezni

Mérés/
megfigyelés



Modell



Szimuláció

Szimuláció és modellezés

- *A modellezés* során absztrakt matematikai reprezentációt építünk
- *Szimuláció* során a matematikai modellt végrehajtjuk
 - Virtuális kísérlet

Viselkedésmodellekre

Miért szeretnénk szimulálni?

- Lehetőség van az időt tömöríteni, széthúzni
- Tudjuk kontrollálni a modell paramétereket
- Mérési hibák elkerülhetőek
- Megállítható, visszajátszható
- *A rendszerállapot visszaállítható*
 - Pl. repülőgép szimulátorban lezuhanás után
- A részletességet, felbontását tudjuk kontrollálni

Tartalom

Ismétlés, motiváció



Szimulációs alapok



Folyamatok és versengés

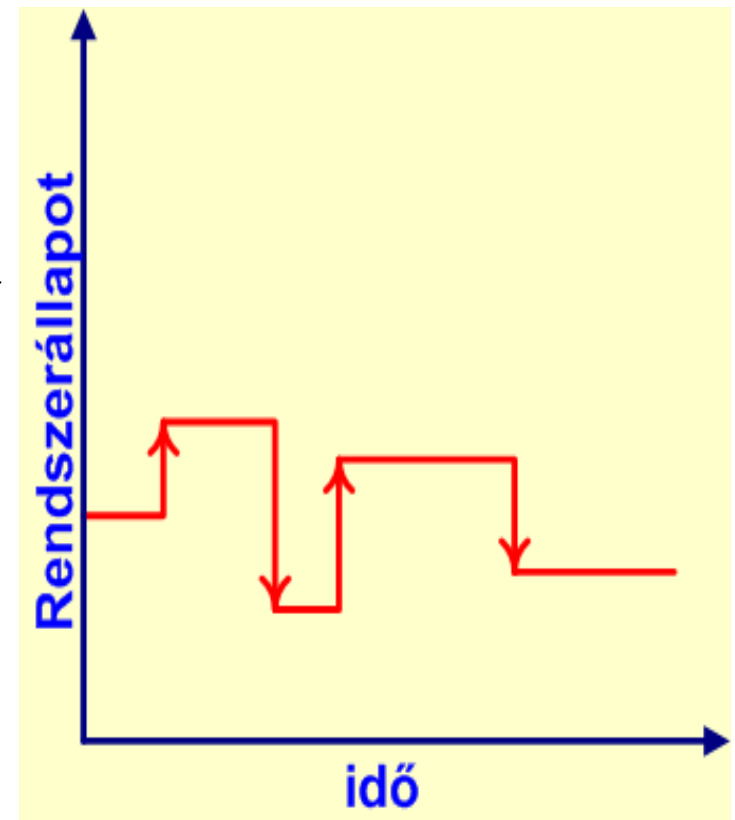
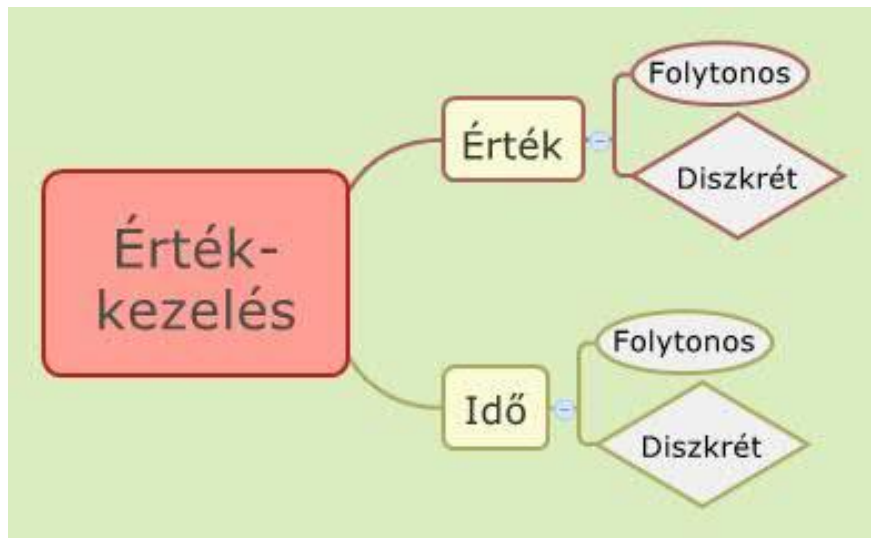


Kitekintés: szimulációs algoritmusok

Rendszermodellek felbontása

■ Modellézés célja

- Érthetőség, áttekinthetőség
 - Nem cél a minimális modell
- A teljes rendszer dinamikája
 - Komponensek modellje egyszerű
 - Bonyolult kölcsönhatások



Típusok

Folytonos



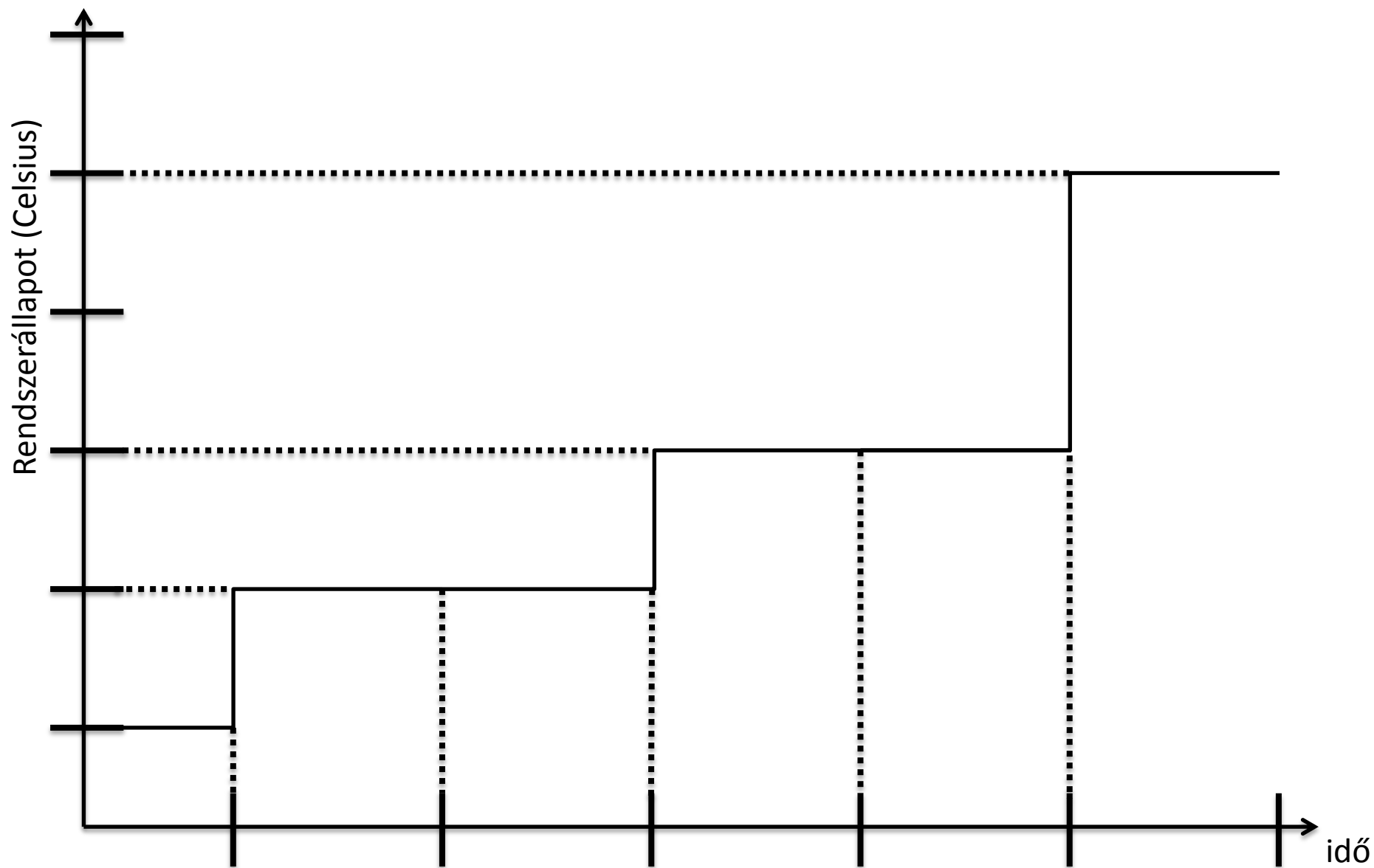
Diszkrét



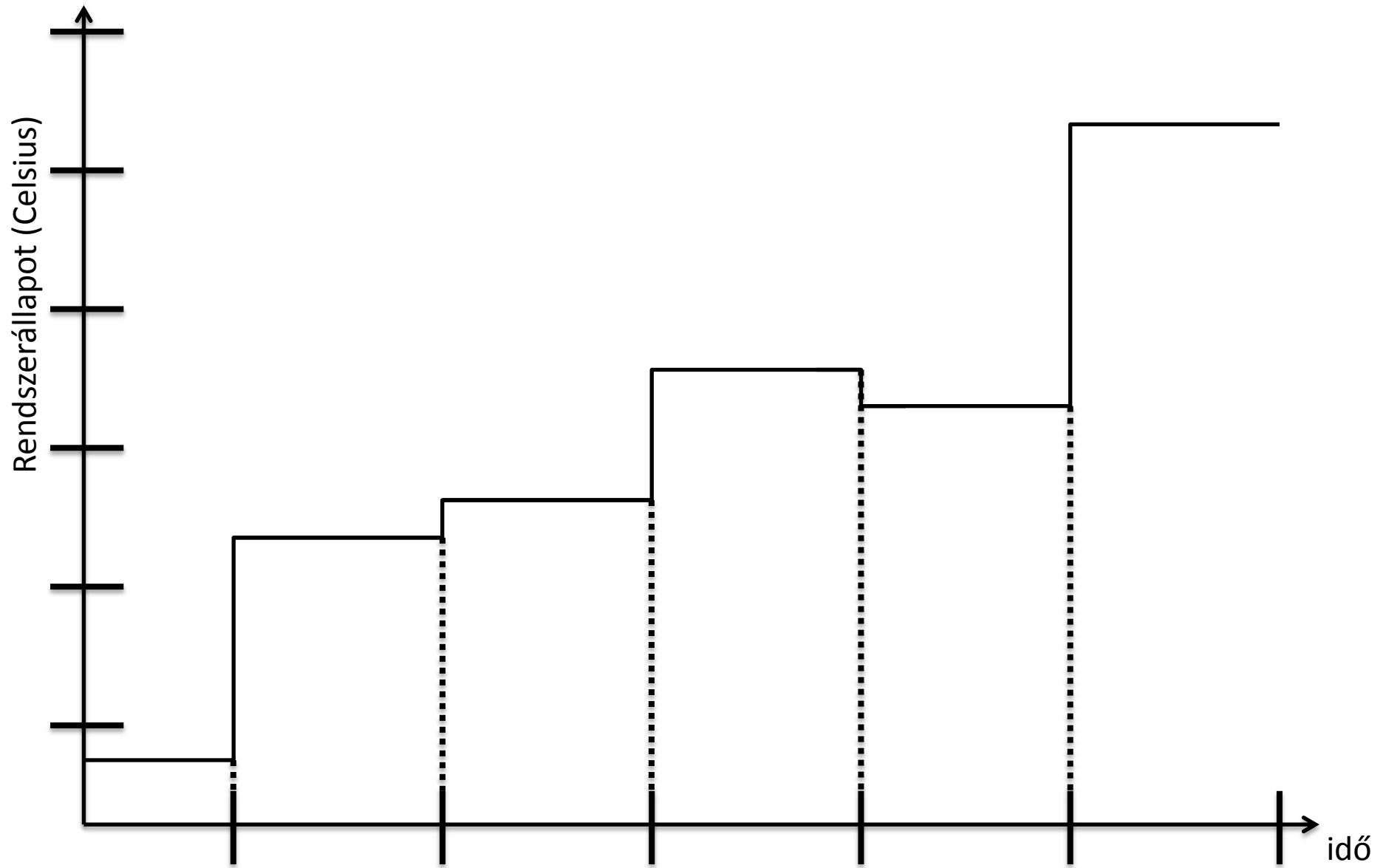
Folytonos és diszkrét



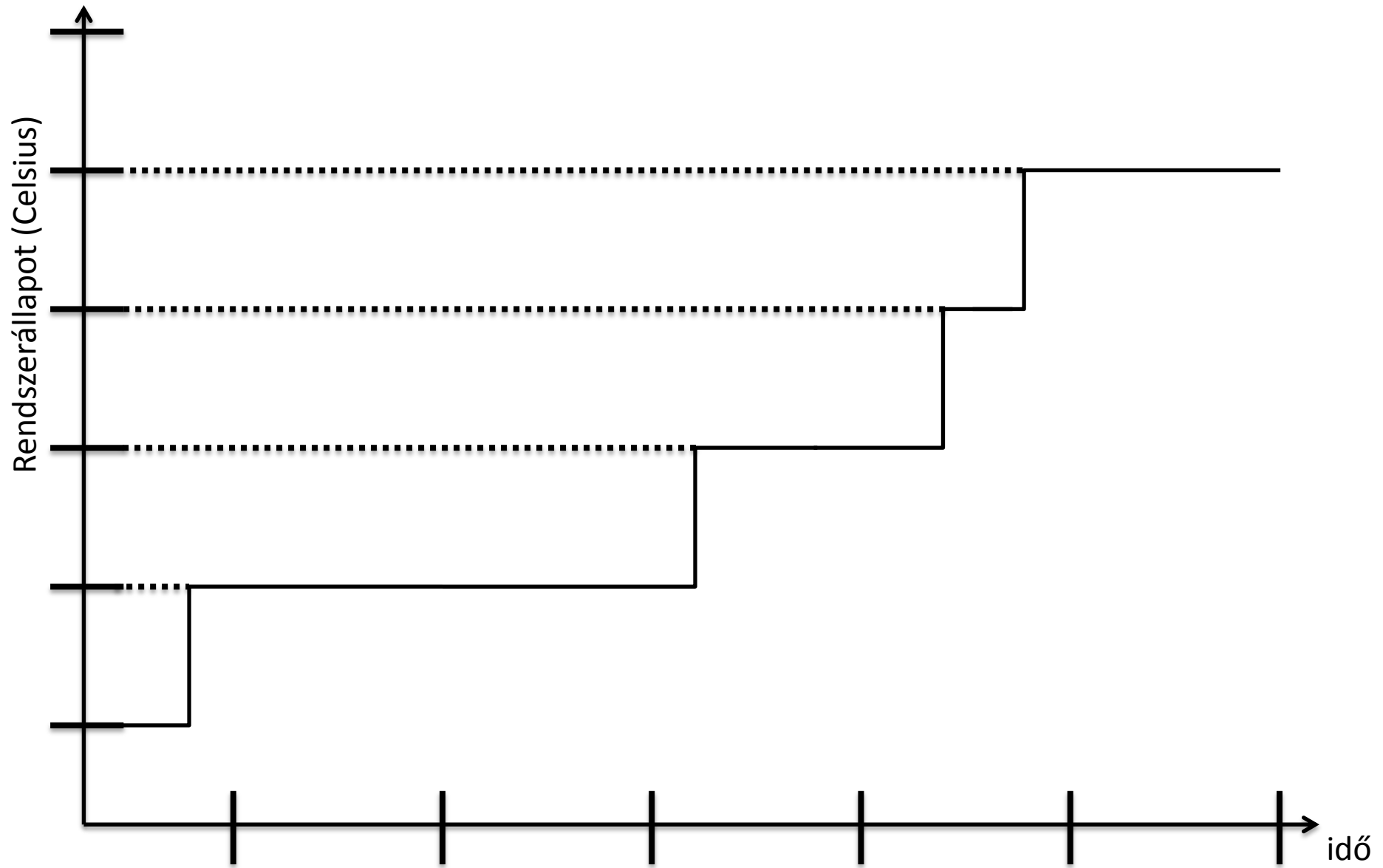
Diszkrét idő/állapot



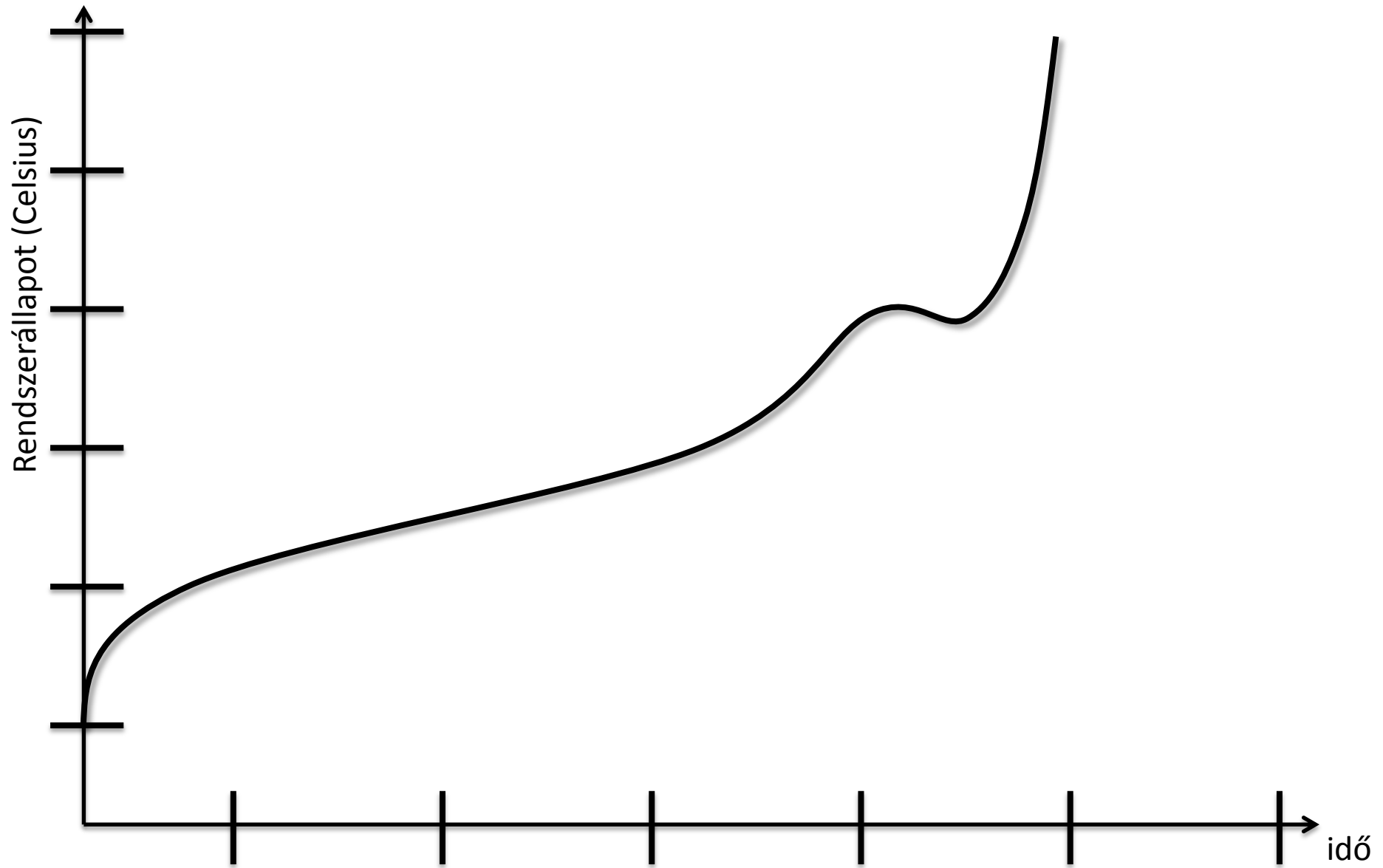
Diszkrét idő/folytonos állapot



Folytonos idő-diszkrét állapot



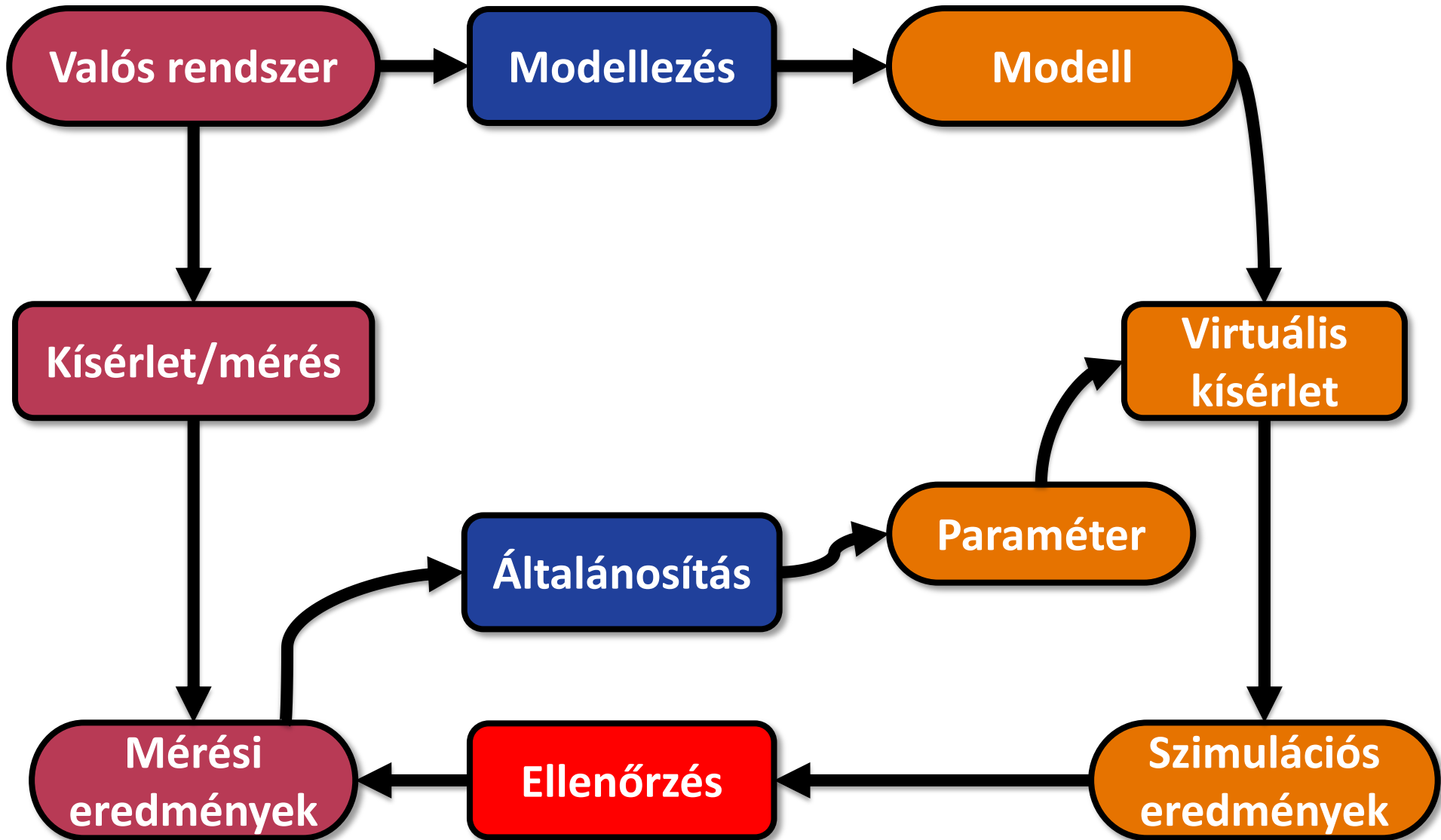
Folytonos idő-folytonos állapot



Diszkrét rendszermodellezés célja

- Célkitűzés: minőségi vagy/és mennyiségi analízis
 - kvalitatív: logikai helyességbizonyítás
 - kvantitatív: teljesítményelemzés és szolgáltatásbiztonság
- Informatikai rendszerek: jól tagoltak
 - rendszerépítés a komponensek integrációjával
 - elemi komponensek kapcsolata
 - explicit logikai kapcsolat: sorrendiség, ok-okozati függőség
 - implicit függőség: pl. osztott erőforrás használata

Szimuláció és modellezés



FOLYAMATOK ÉS VERSENGÉS

Diszkrét eseményysor

■ Esemény

- pillanatszerű változás (a rendszerben vagy ki/bemeneten)

■ Eseményfolyam

- Pl. input/output adatforrás

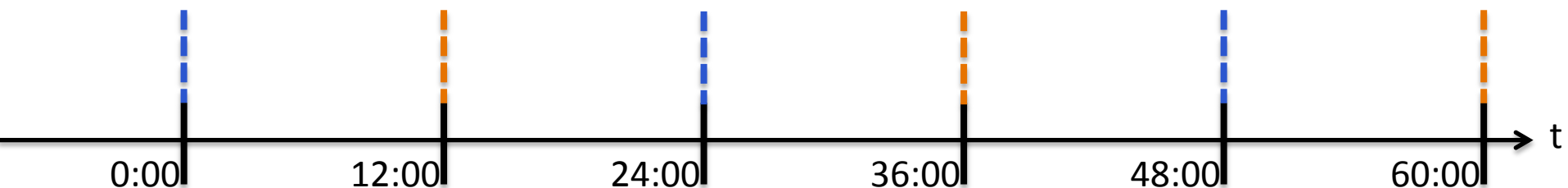
■ Eseménytér – {megengedett események}

- Beolvasható input értékek, kibocsátható output értékek

■ Pillanatszerű események sora, egyszerre ≤ 1

Eseményfolyam: toronyóra ütései

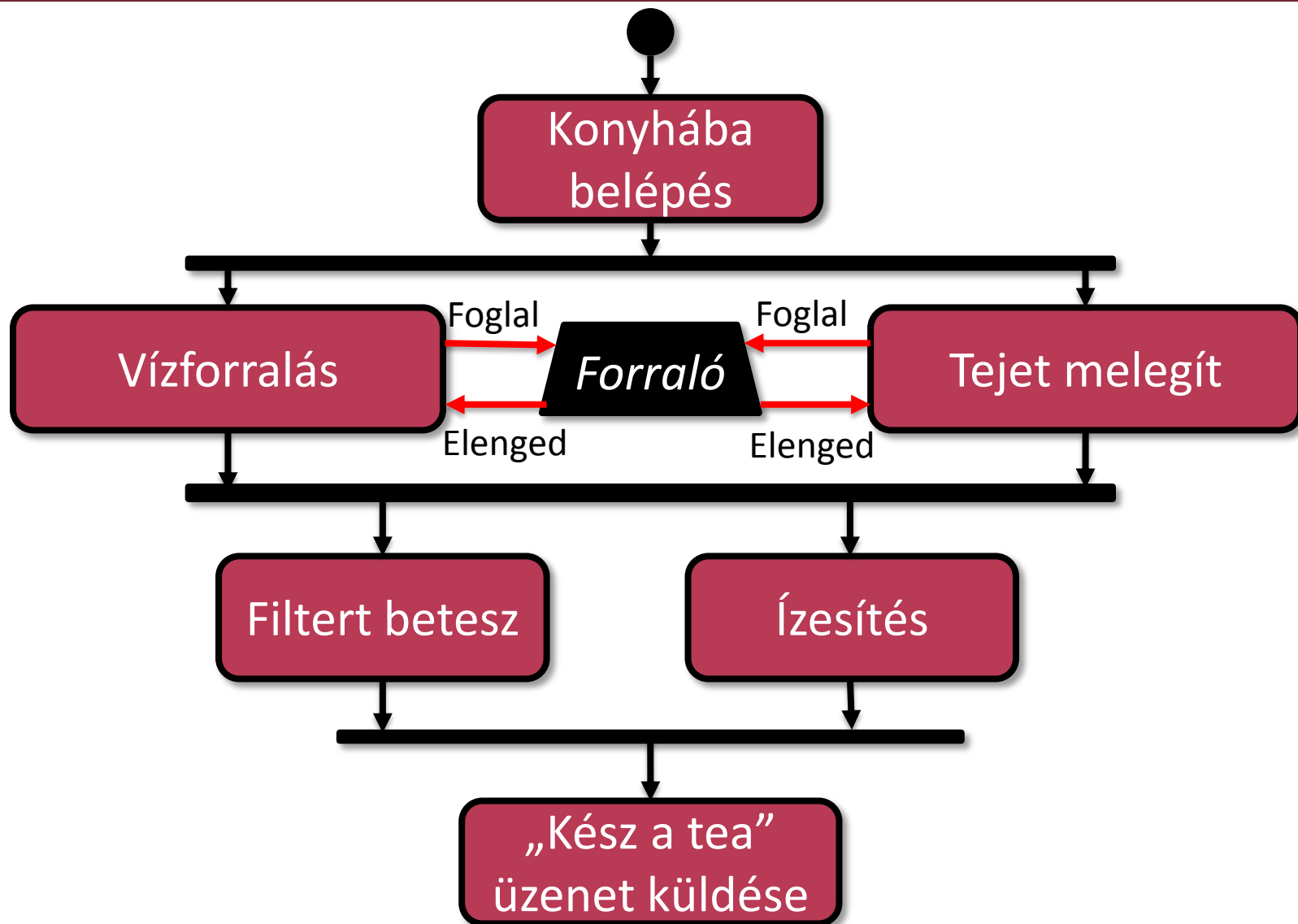
Eseménytér: {*éjfél*, *dél*}



Folyamatorientált modellezés

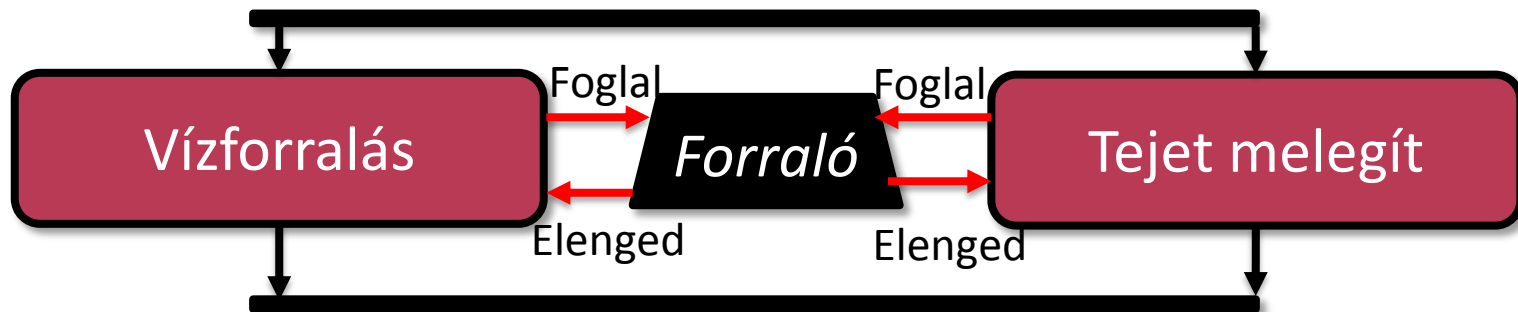
- Elemi tevékenységeink vannak
- Jellemzői:
 - Erőforrást igényel
 - Mennyi ideig tart
- Folyamat: tevékenységek logikailag rendezett sora

Erőforrás

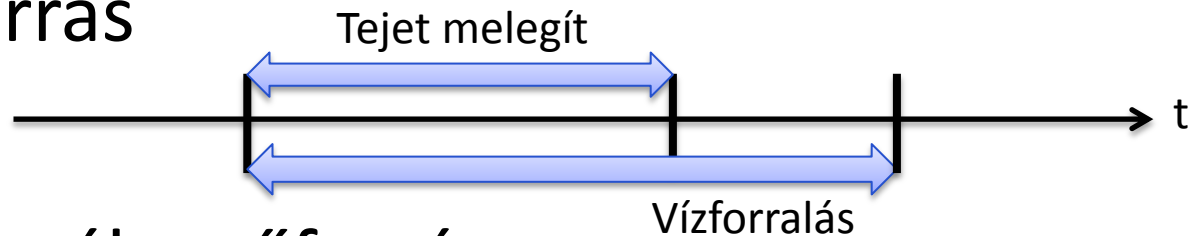


Versengés erőforrásért

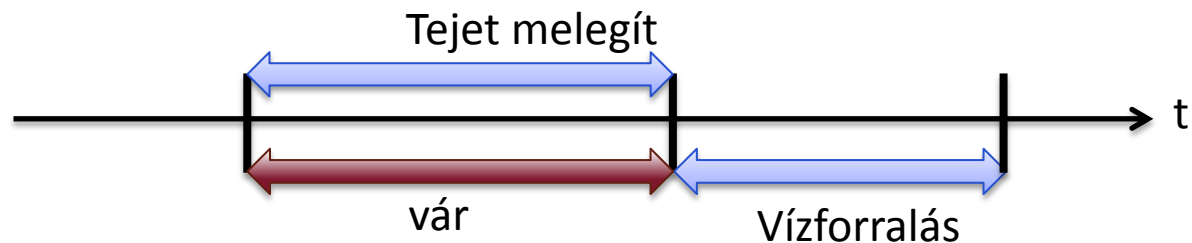
- Erőforrás: Vízforraló



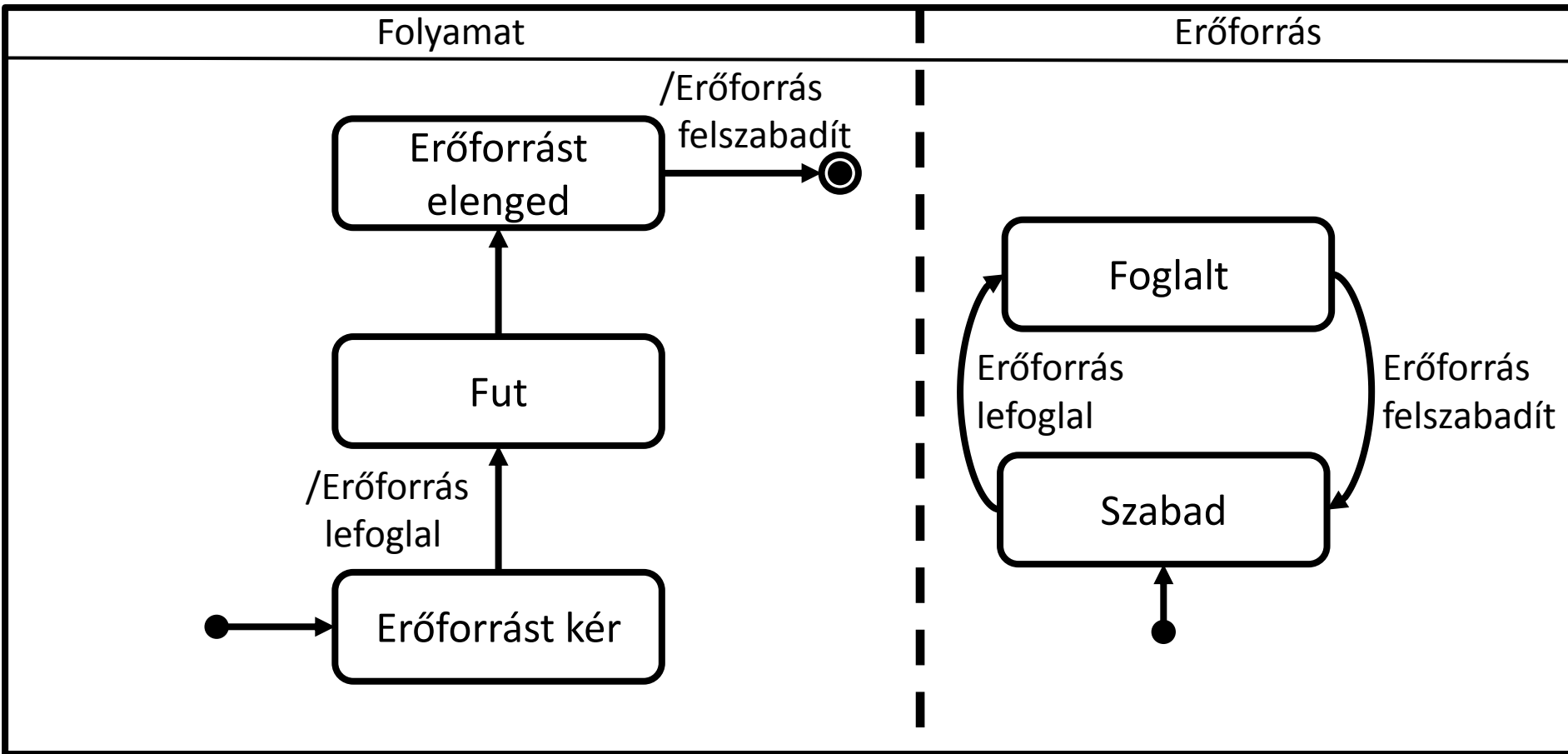
- Nem közös erőforrás



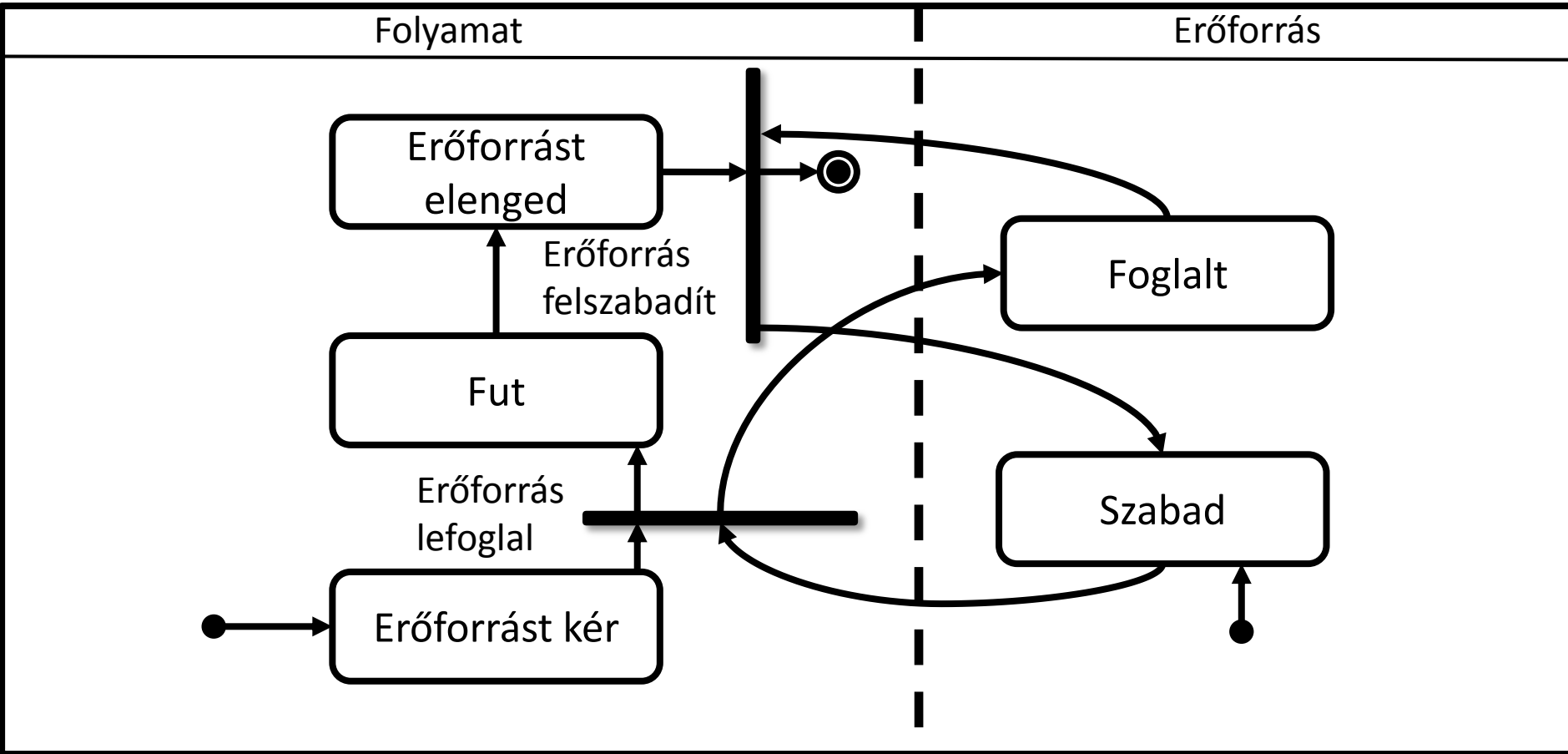
- Van közösen használt erőforrás



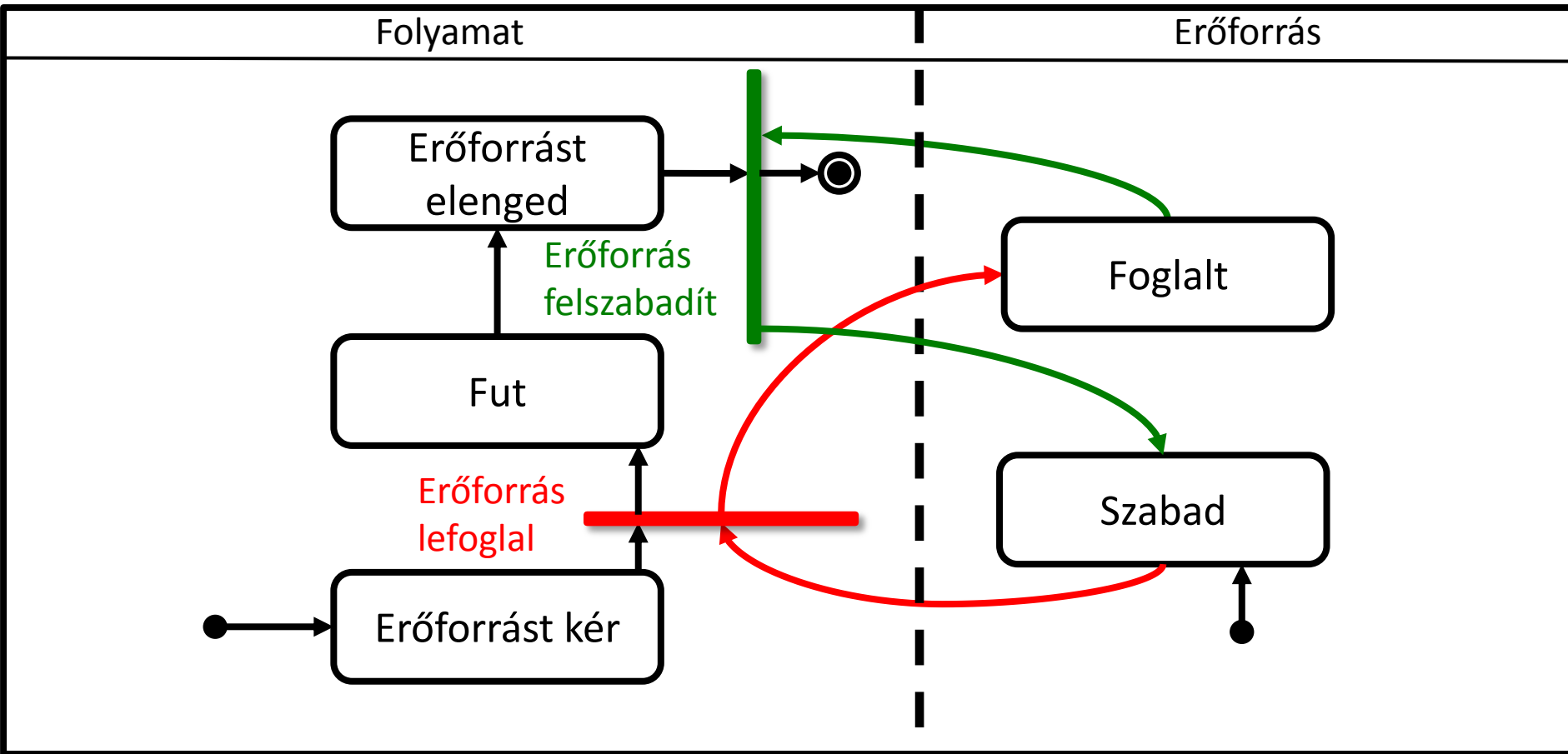
Erőforrások modellezése



Erőforrások modellezése



Erőforrások modellezése



SZIMULÁCIÓS ALGORITMUSOK

Kihívás

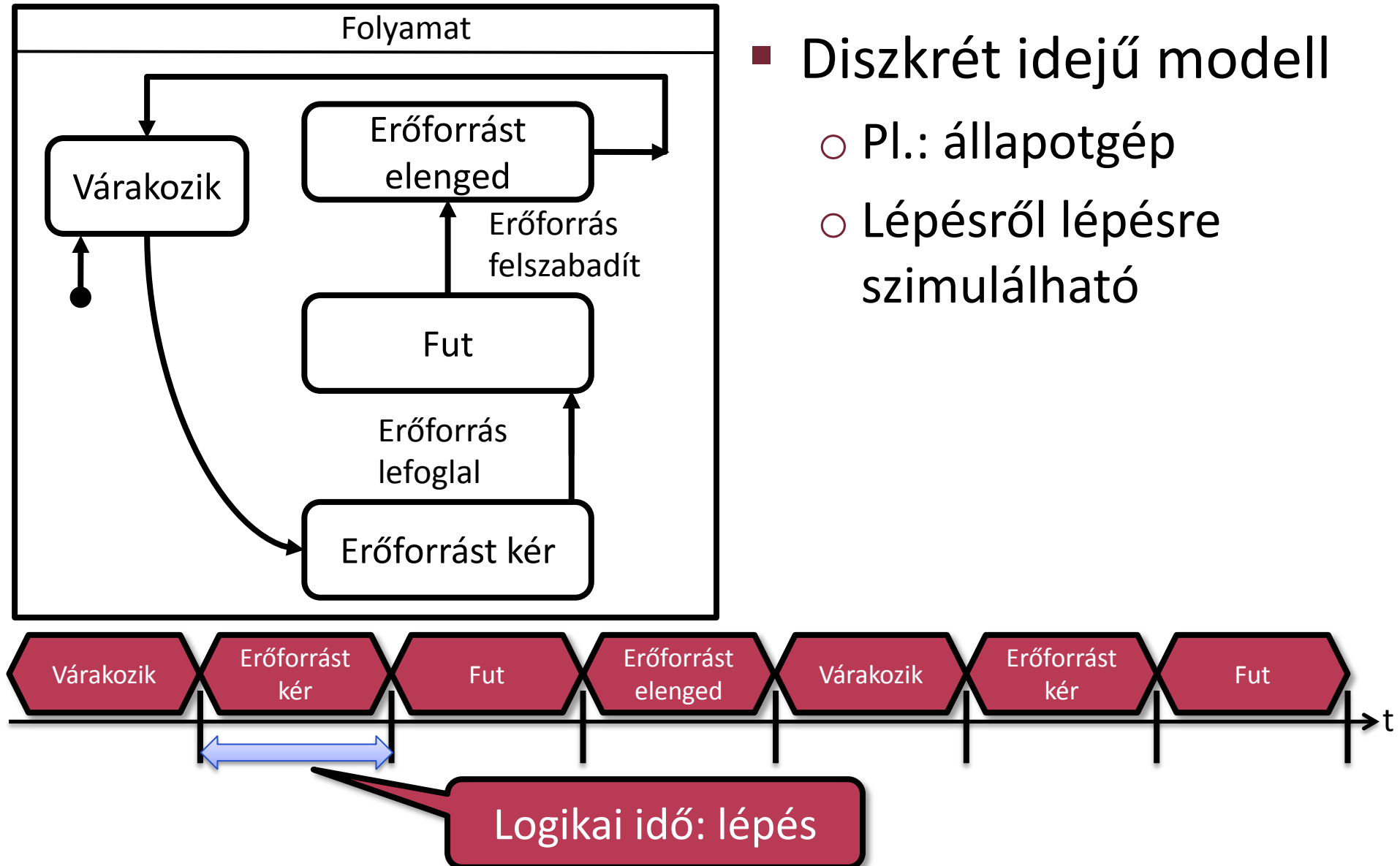
- Jó modellt is lehet rosszul szimulálni!
- Példamodel
- Az ajtó lehet nyitva és csukva:
 - Ha be van csukva, ember nem haladhat át rajta
- Ha egy ember csukott ajtóhoz ér:
 - Ha át szeretne menni, kinyitja, maga után becsukja
- Kinyitás ill. becsukás közben, ha valami útban van:
 - Könnyű holmi → arrébb tolja
 - Nehéz torlasz → megakad, nem nyitható / csukható

- <https://www.youtube.com/watch?v=7azNpid9rGQ>



Állapotgép szimuláció

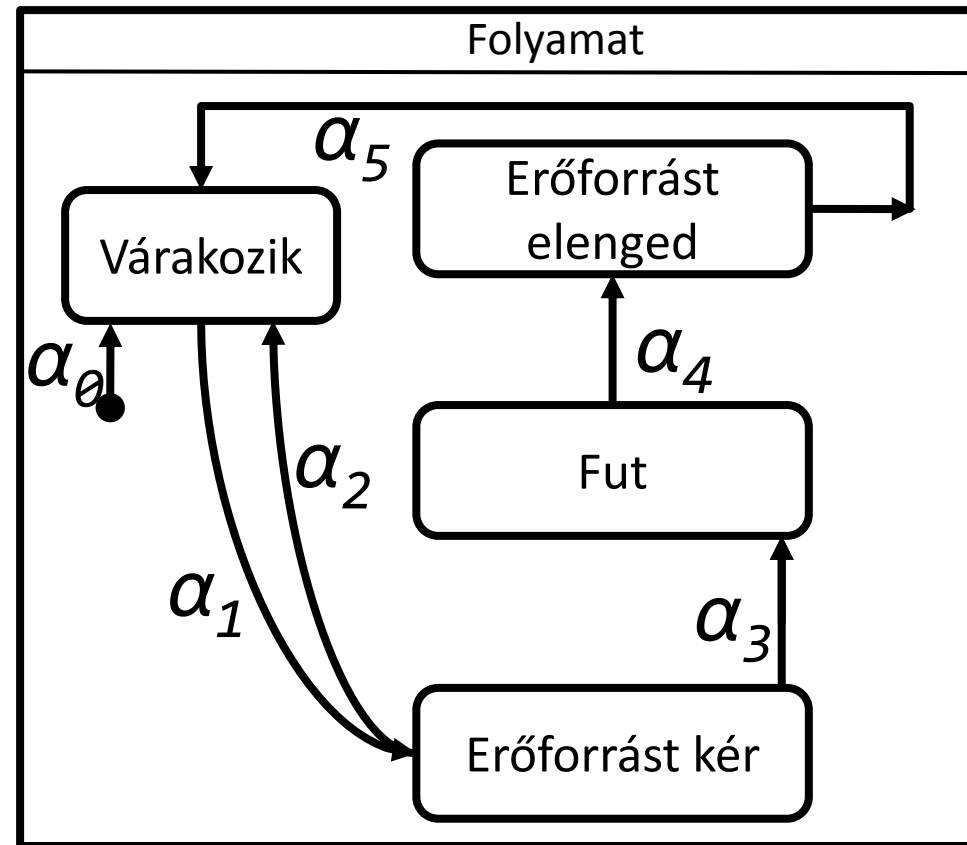
- Diszkrét idejű modell
 - Pl.: állapotgép
 - Lépésről lépésre szimulálható



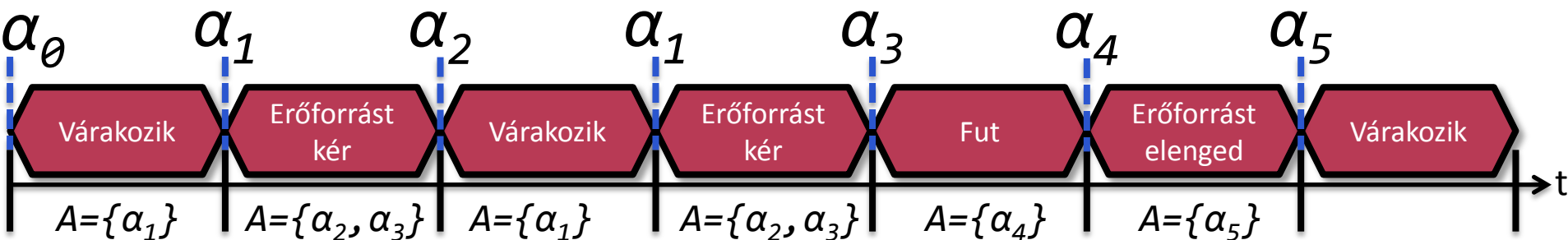
Diszkrét idejű modell szimulációja

1. ciklus {
2. meghatározzuk az aktív átmeneteket: A
3. választunk egy aktivációt: a
4. eltüzeljük
5. }

Állapotgép szimuláció



1. ciklus {
2. meghatározzuk az aktív átmeneteket: A
3. választunk egy aktivációt: α
4. eltüzeltjük
5. }



Szimuláció fajtái

- Diszkrét idejű modell
 - Pl.: állapotgép
 - Lépésről lépésre szimulálható
- Folytonos idejű modell
 - Pl.: teljesítménymodell
 - Pl.: fizikai modell
 - számítógépes játékhoz
 - Időjárás-előrejelzéshez
 - Baj: maga a szimulátor diszkrét idejű!
 - DES: Discrete event simulation
 - Time stepped dynamic model

Szimuláció fajtái

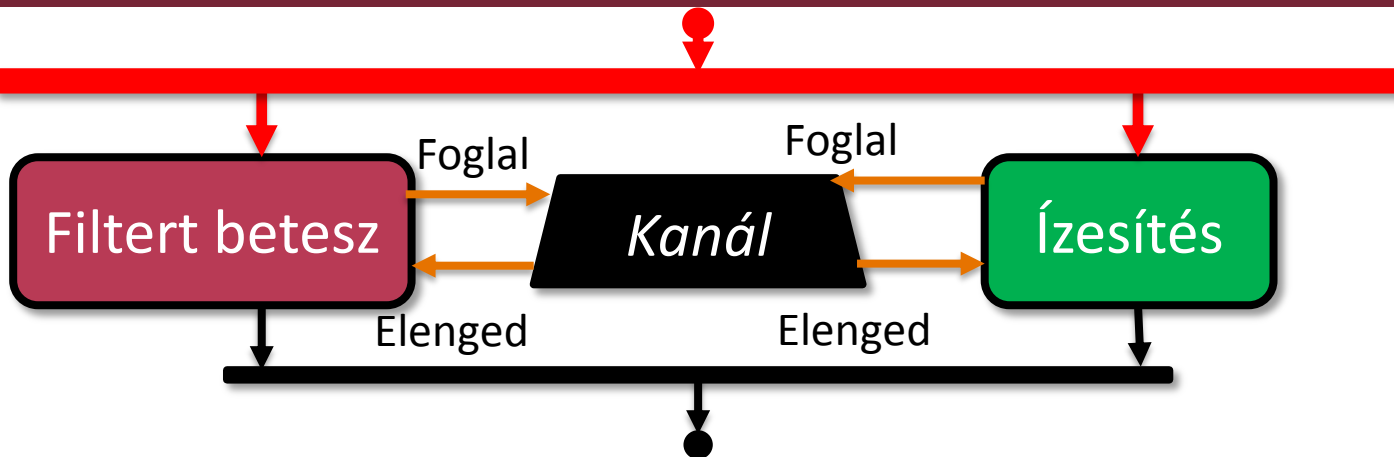
- DES: Discrete event simulation
 - Diszkrét esemény-szimuláció/Időzített diszkrét szimuláció
 - Események diszkrét időpillanatokban következnek be
 - Esemény: $\varepsilon = (\alpha_\varepsilon, t_\varepsilon)$
 - Akció és a hozzá tartozó időbélyeg
 - Eseménysor fogalma
- Time stepped dynamic model
 - Időlépéses szimuláció

Diszkrét esemény-szimuláció/Időzített diszkrét szimuláció

1. $t := 0$; // szimulációs óra inicializálás
2. Q globális eseménysor inicializálása a kezdeti eseményekkel; // Q eseményei időbélyeg szerint sorrendezve
3. ciklus{
4. legkorábbi esemény kiválasztása
 (időbélyeg: t_e)
5. $t := t_e$ // szimulációs óra növelése
6. e esemény végrehajtása: rendszerállapot frissítése, új események generálása, elavult események törlése
7. új események hozzáadása Q eseménysorhoz időbélyeg alapján sorrendezve
8. }

A teljes rendszerállapoton dolgozik,
kérdés: modularitás

Diszkrét esemény-szimuláció

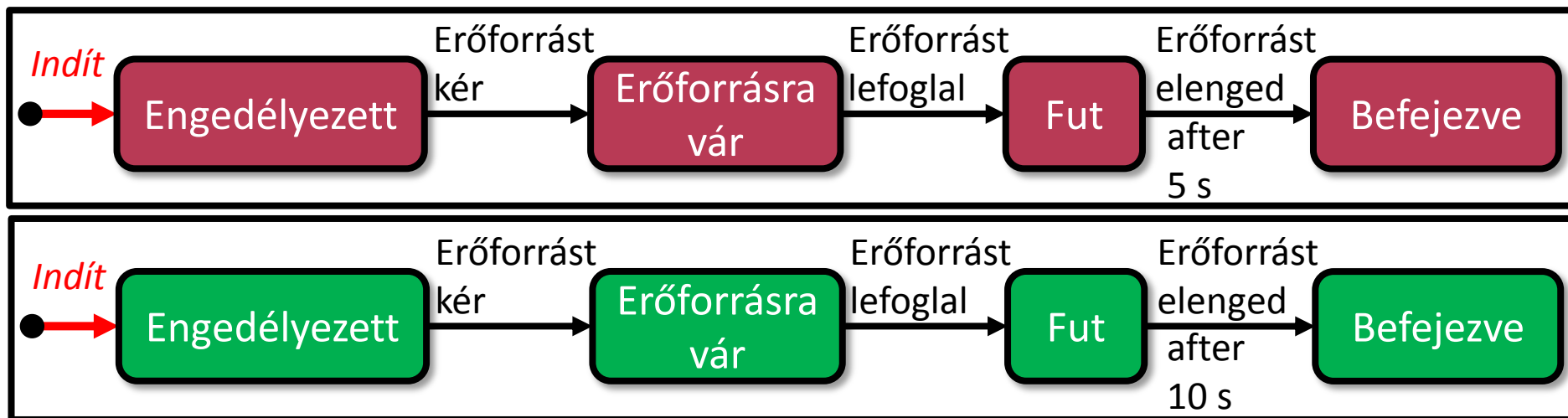


- Eseménysor (esemény formátuma $\varepsilon = (t_\varepsilon, \alpha_\varepsilon)$):

$Q_\theta = (\theta, \{\text{ízesítés taszk indítás, filtert betesz taszk indítás}\})$



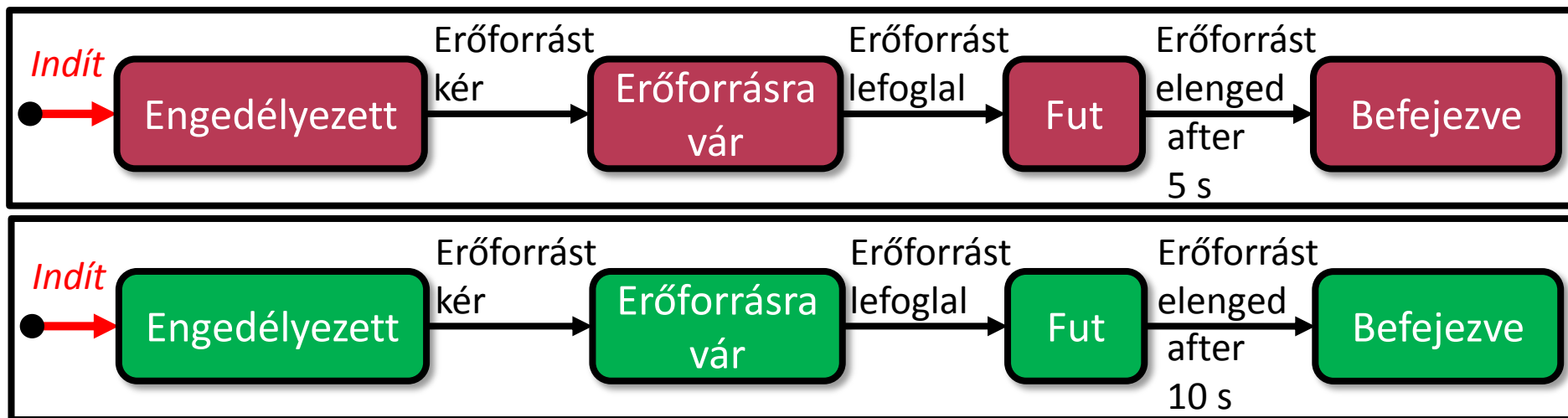
Diszkrét esemény-szimuláció



$$Q_\theta = (\theta, \{\text{Ízesítés.Indít}, \text{Filtert betesz.Indít}\})$$



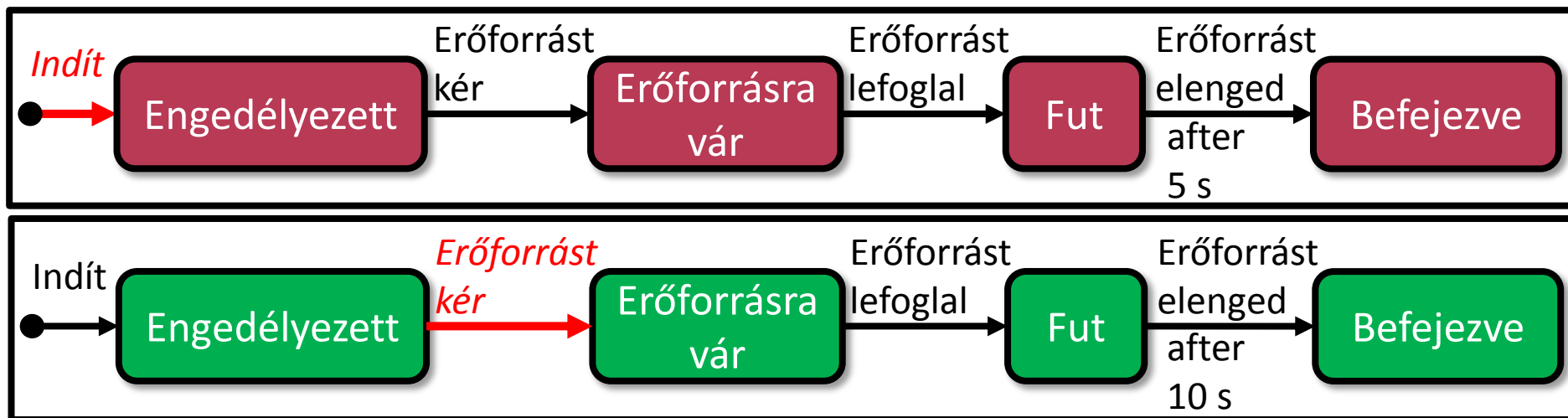
Diszkrét esemény-szimuláció



$$Q_{\theta} = (\theta, \{\text{Ízesítés.Indít}, \text{Filtert betesz.Indít}\})$$



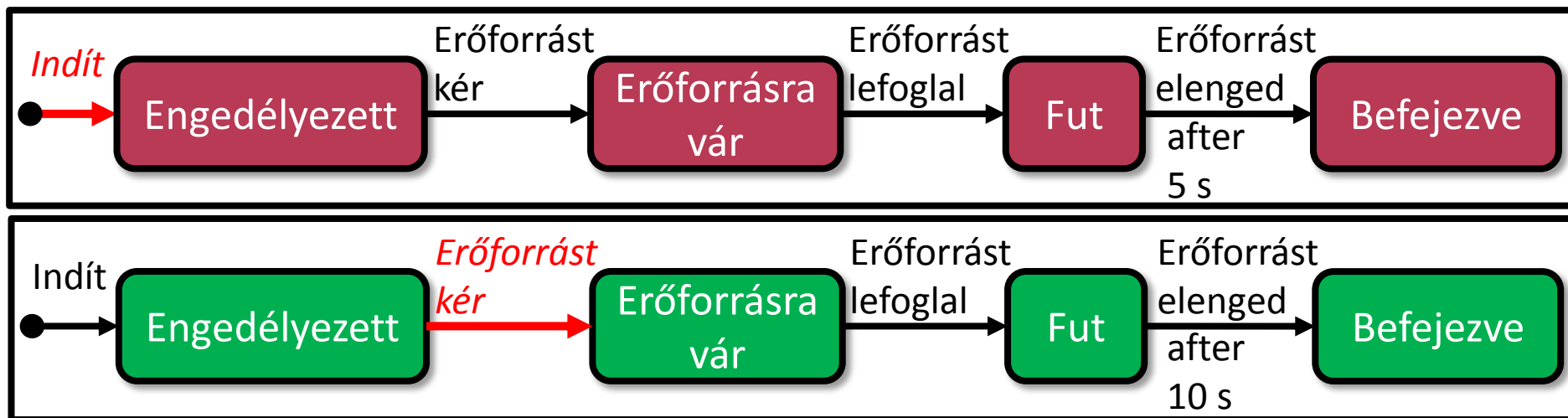
Diszkrét esemény-szimuláció



$Q_\theta = (\theta, \{ \text{Filtert betesz. Indít}, \text{Ízesítés. Erőforrást kér} \})$



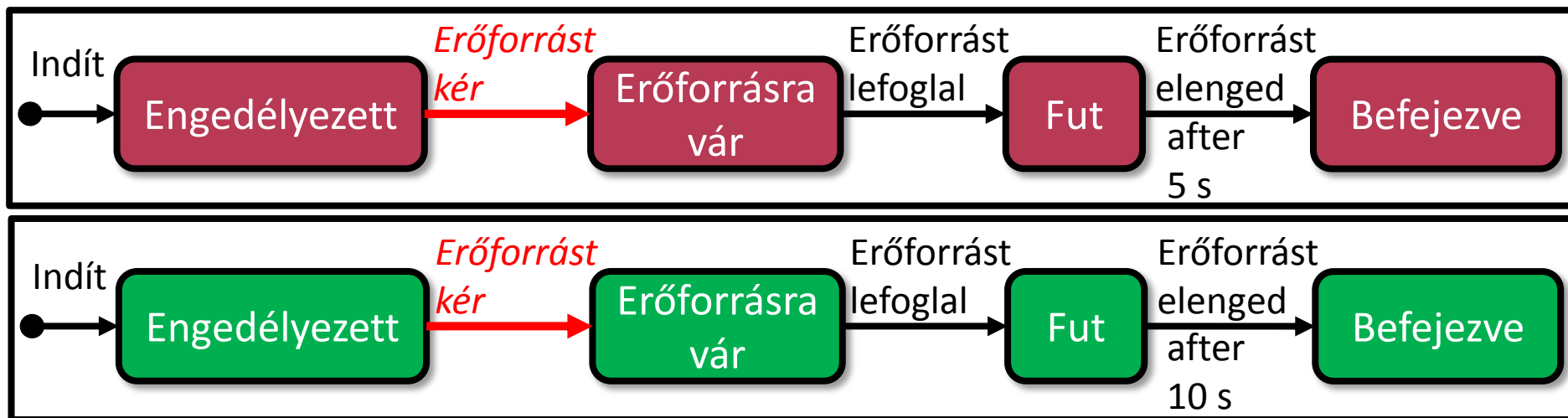
Diszkrét esemény-szimuláció



$$Q_\theta = (\theta, \{\text{Filtert betesz. Indít}, \text{Ízesítés. Erőforrást kér}\})$$



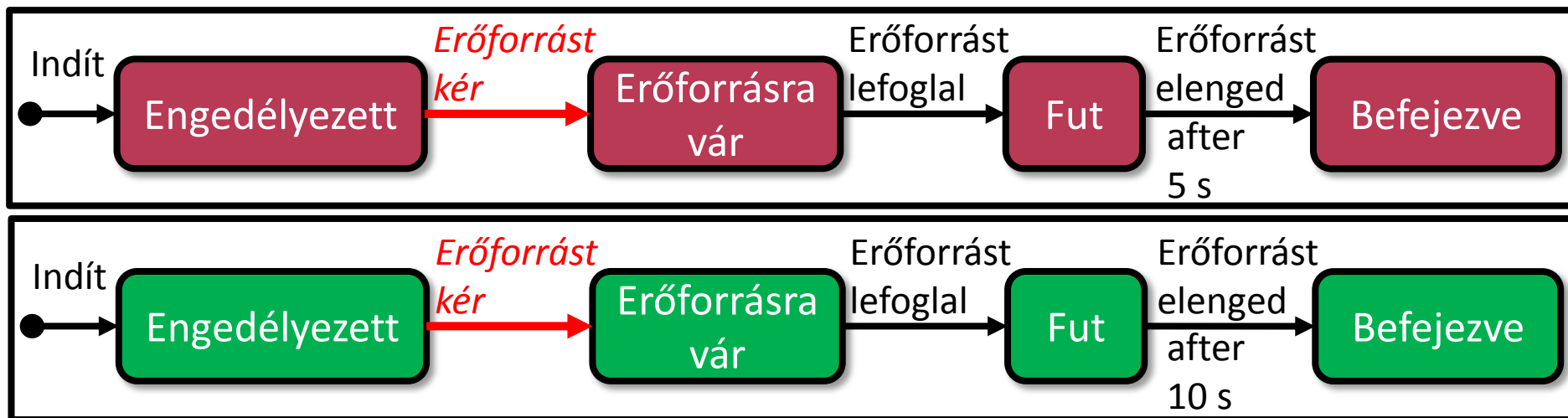
Diszkrét esemény-szimuláció



$Q_\theta = (\theta, \{ \text{Filtert betesz. Erőforrást kér}, \text{Ízesítés. Erőforrást kér} \})$



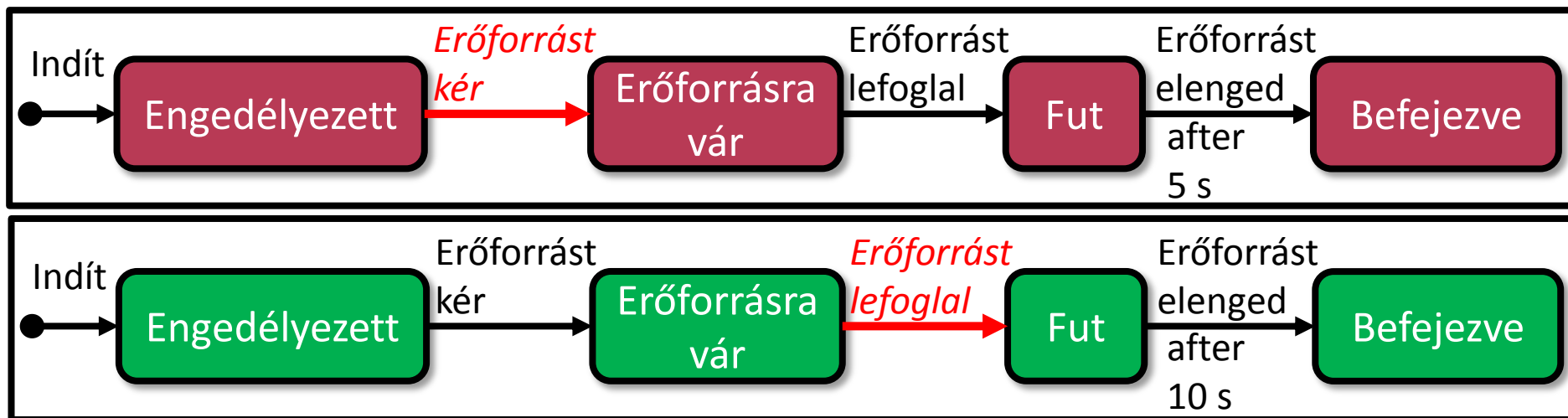
Diszkrét esemény-szimuláció



$Q_\theta = (\theta, \{ \text{Filtert betesz.Erőforrást kér}, \text{Ízesítés.Erőforrást kér} \})$



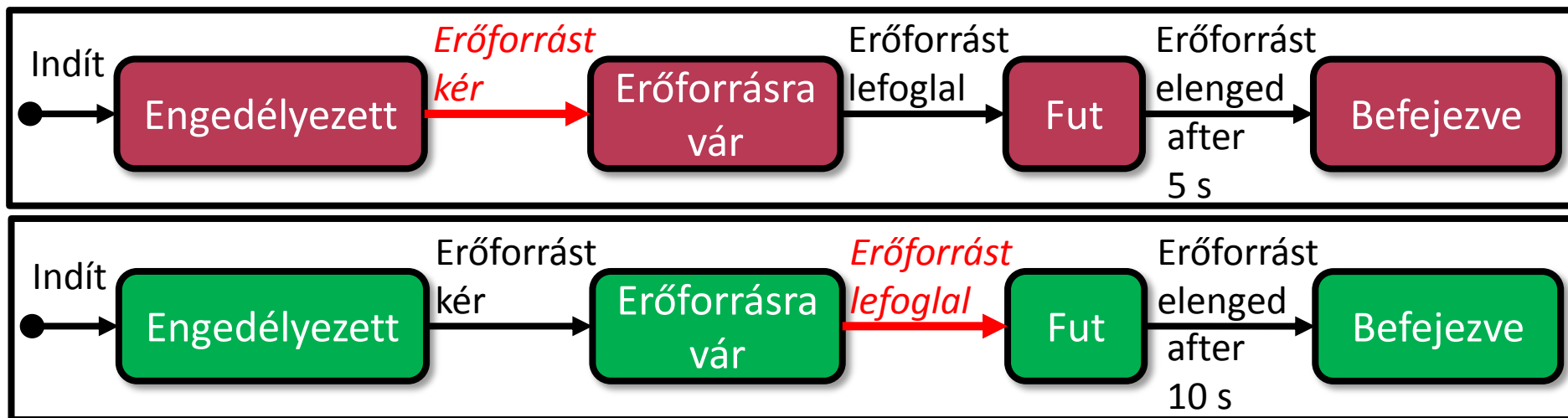
Diszkrét esemény-szimuláció



$Q_0 = (\theta, \{\text{Ízesítés.Erőforrást lefoglal}, \text{Filtert betesz.Erőforrást kér}\})$



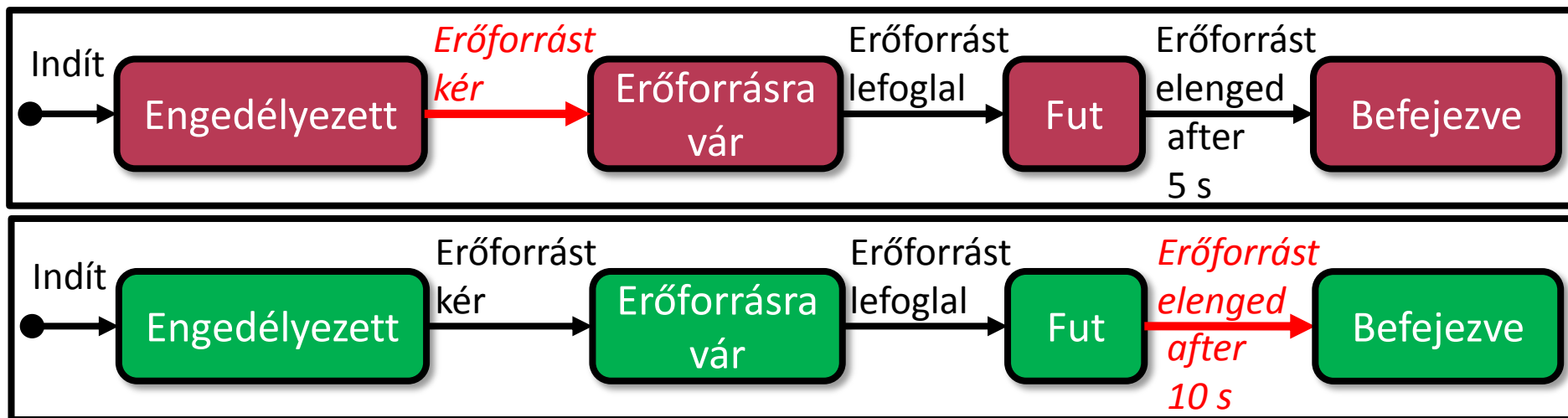
Diszkrét esemény-szimuláció



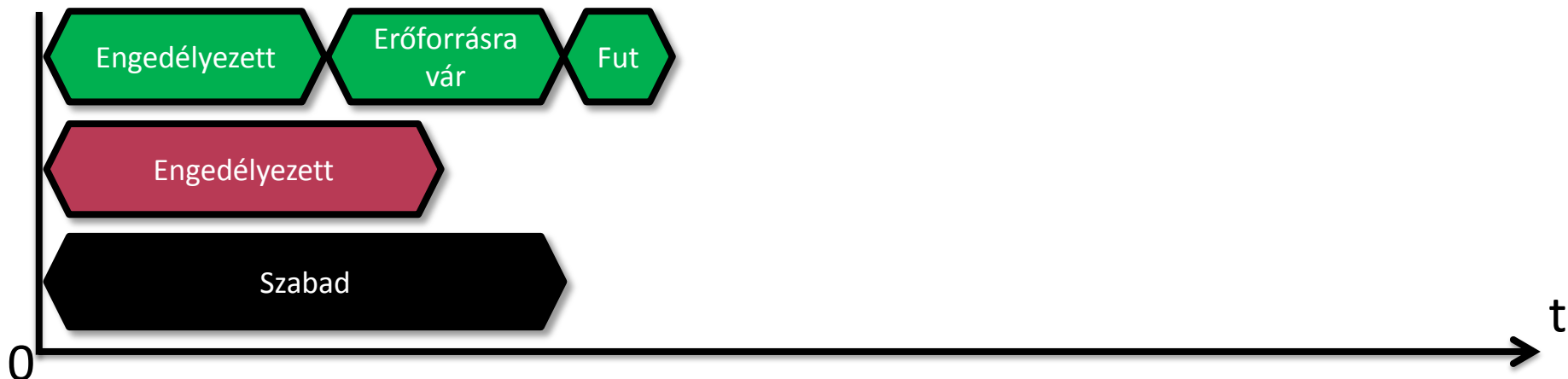
$Q_\theta = (\theta, \{\text{Ízesítés.Erőforrást lefoglal}, \text{Filtert betesz.Erőforrást kér}\})$



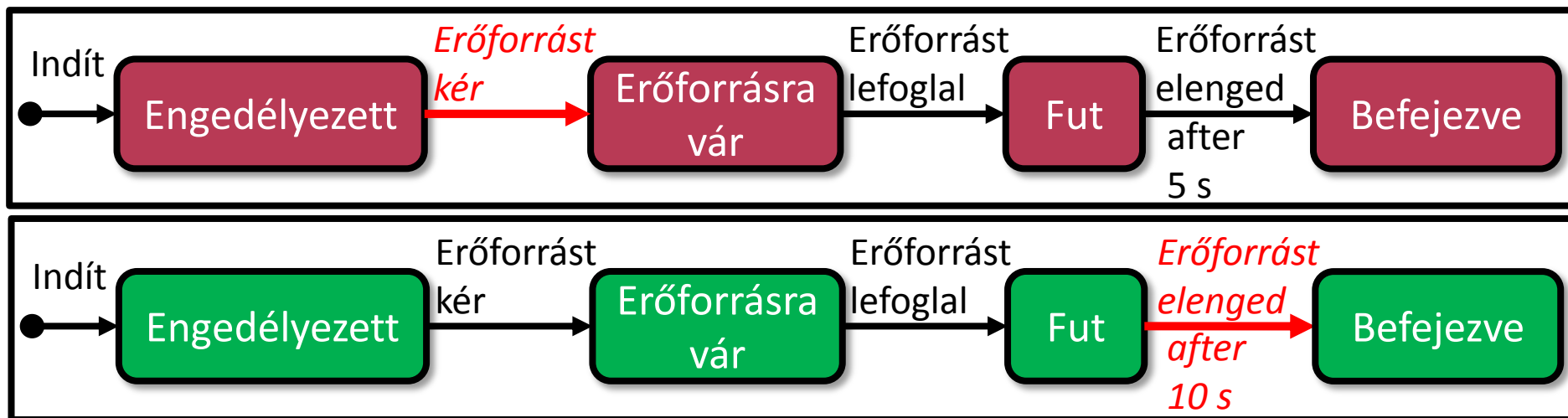
Diszkrét esemény-szimuláció



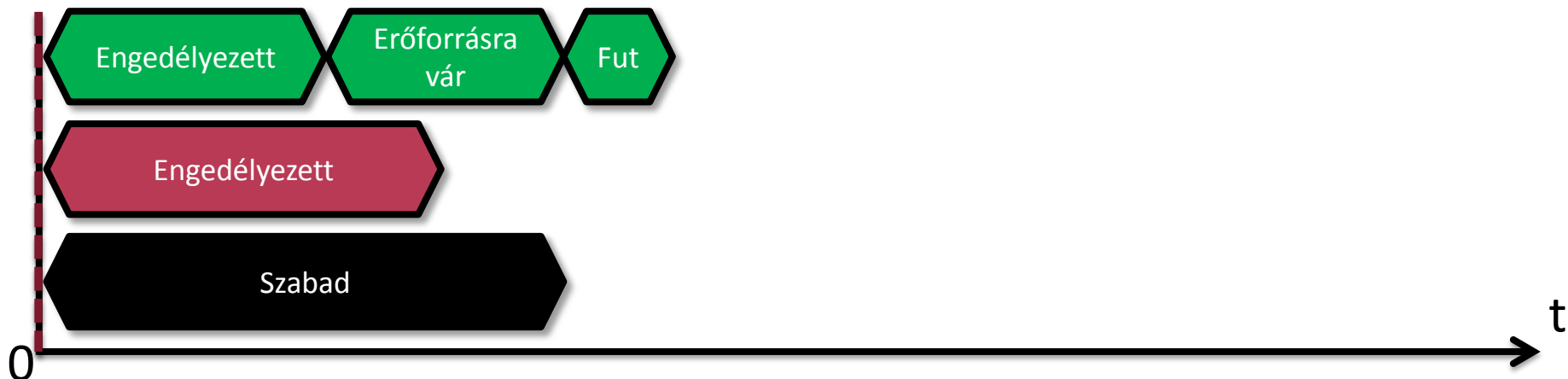
$Q_0 = (\emptyset, \{ \text{Filtert betesz. Erőforrást kér} \}),$
 $(10, \{ \text{Ízesítés. Erőforrást elenged} \})$



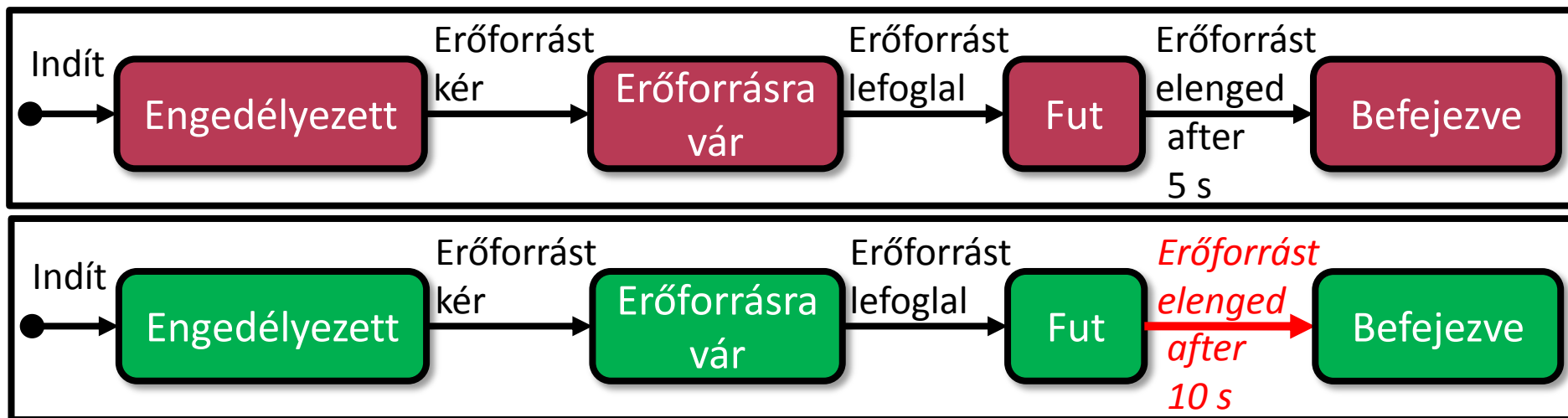
Diszkrét esemény-szimuláció



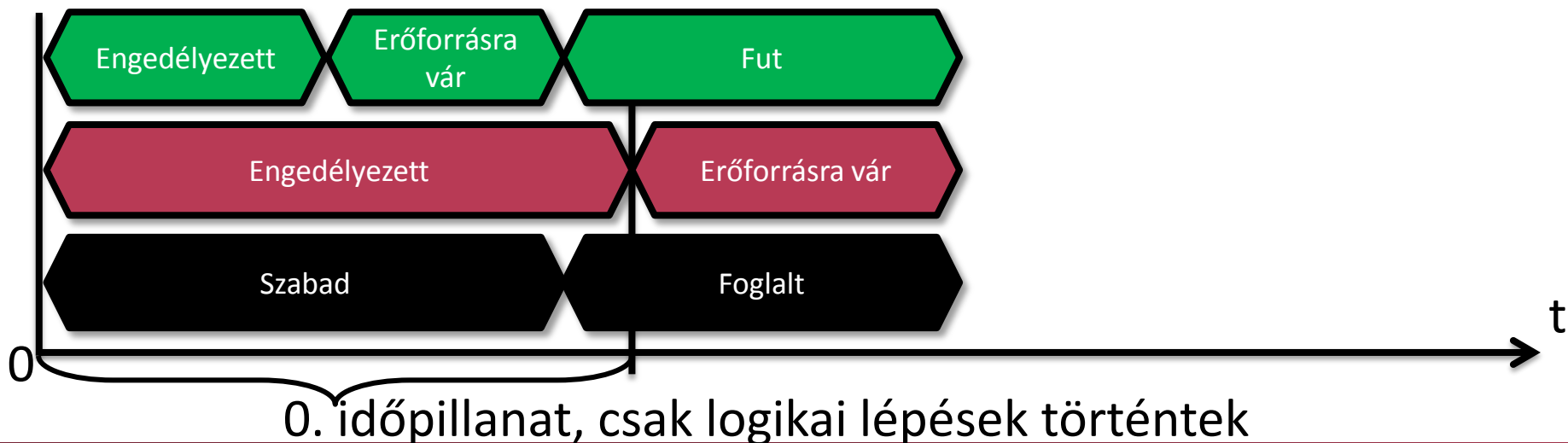
$$Q_\theta = (\emptyset, \{\text{Filtert betesz.Erőforrást kér}\}), \\ (10, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$$



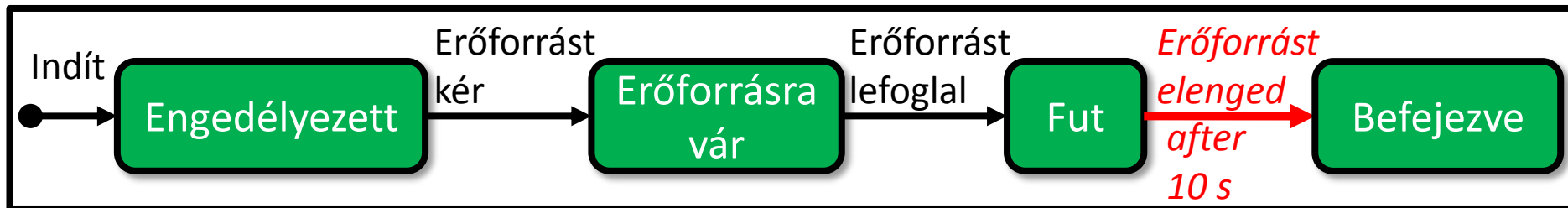
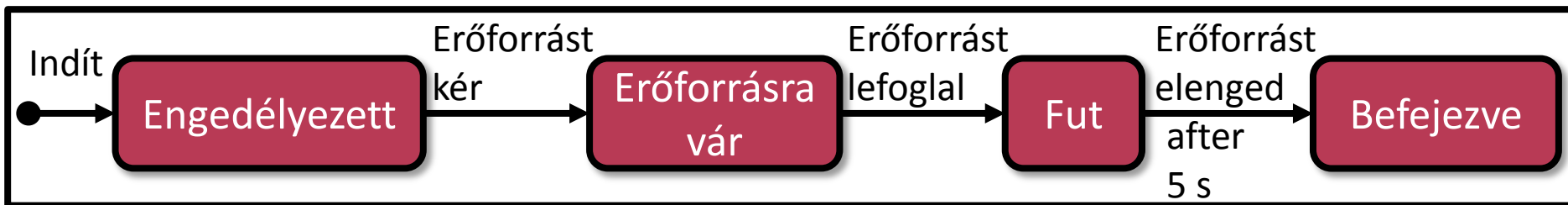
Diszkrét esemény-szimuláció



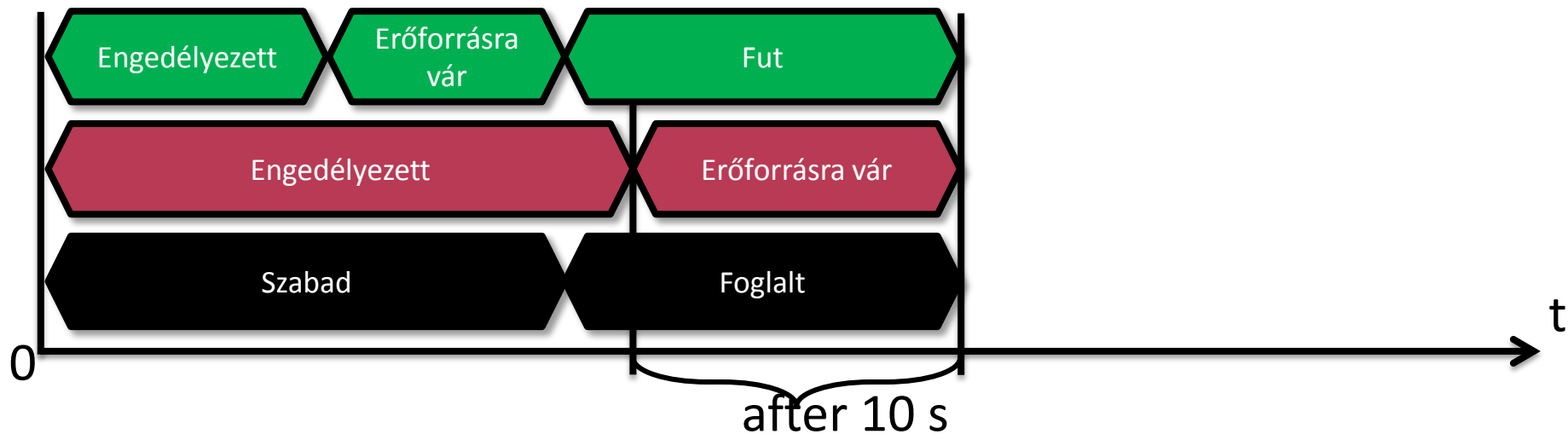
$Q_0 = (10, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$



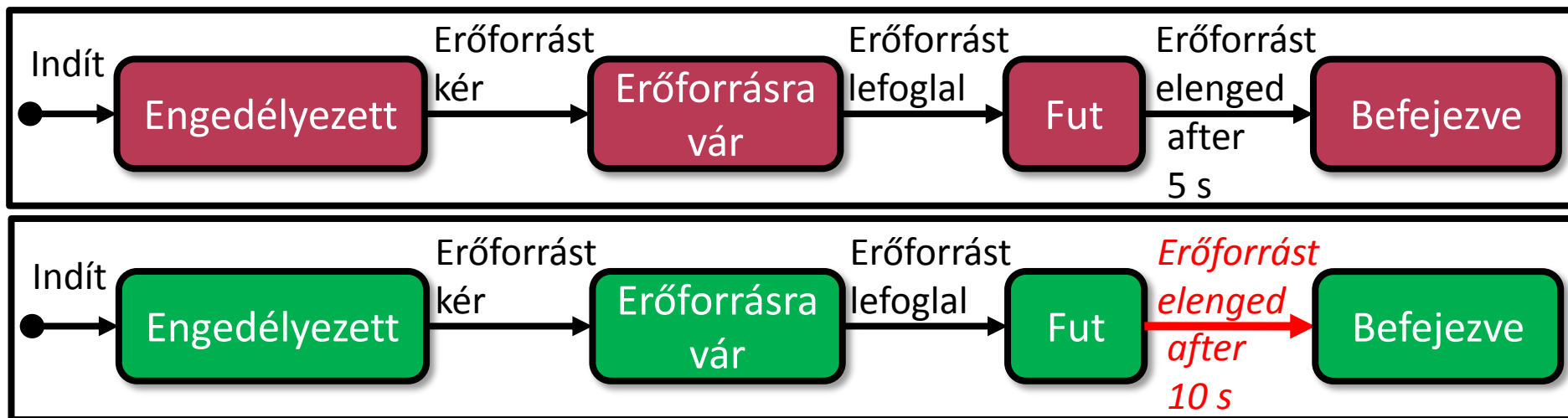
Diszkrét esemény-szimuláció



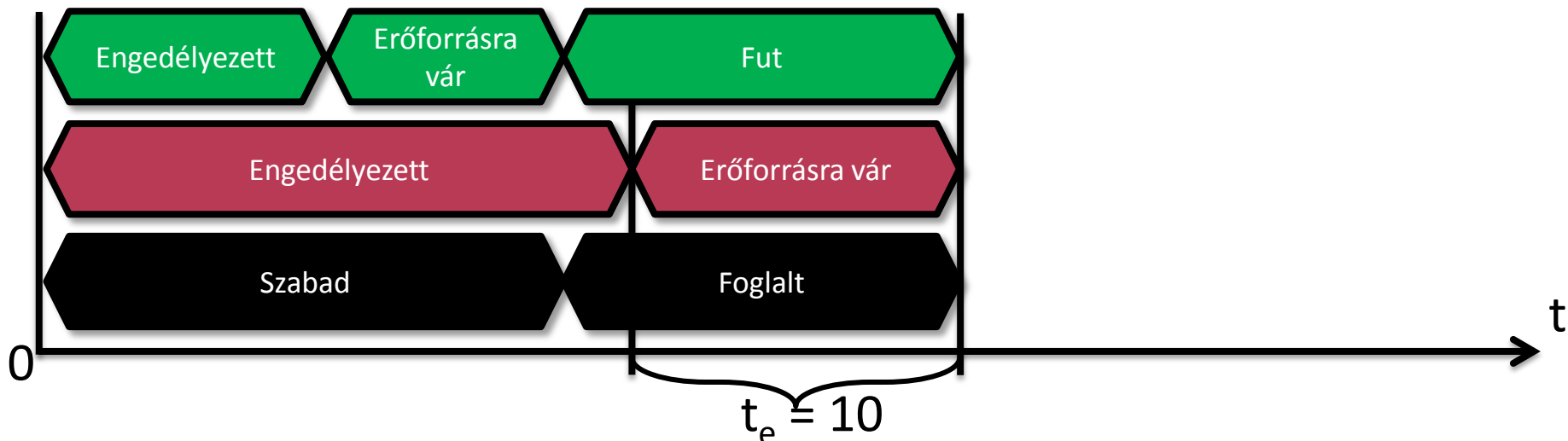
$Q_\theta = (10, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$



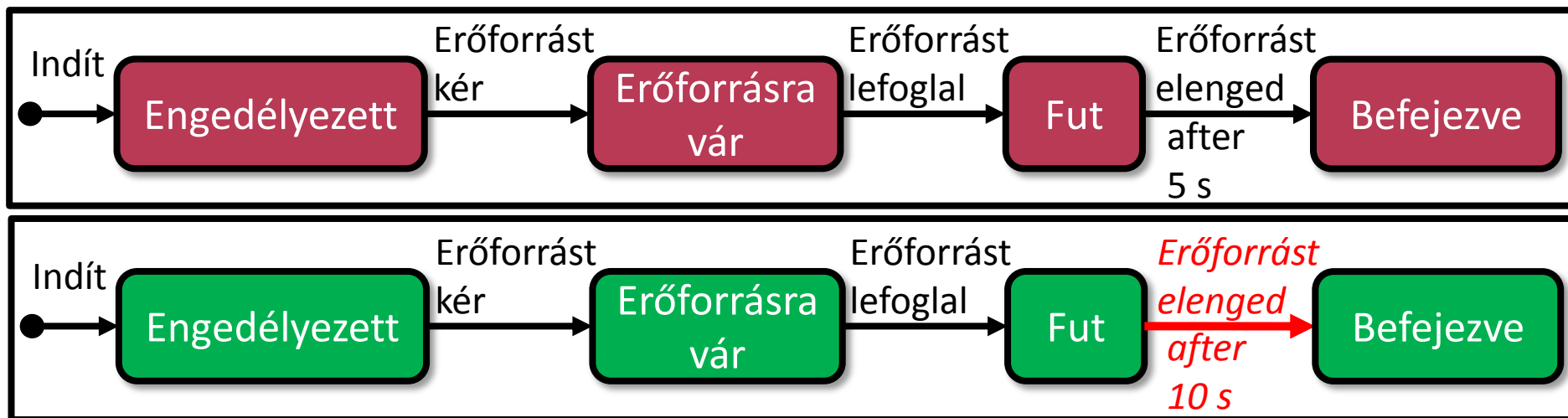
Diszkrét esemény-szimuláció



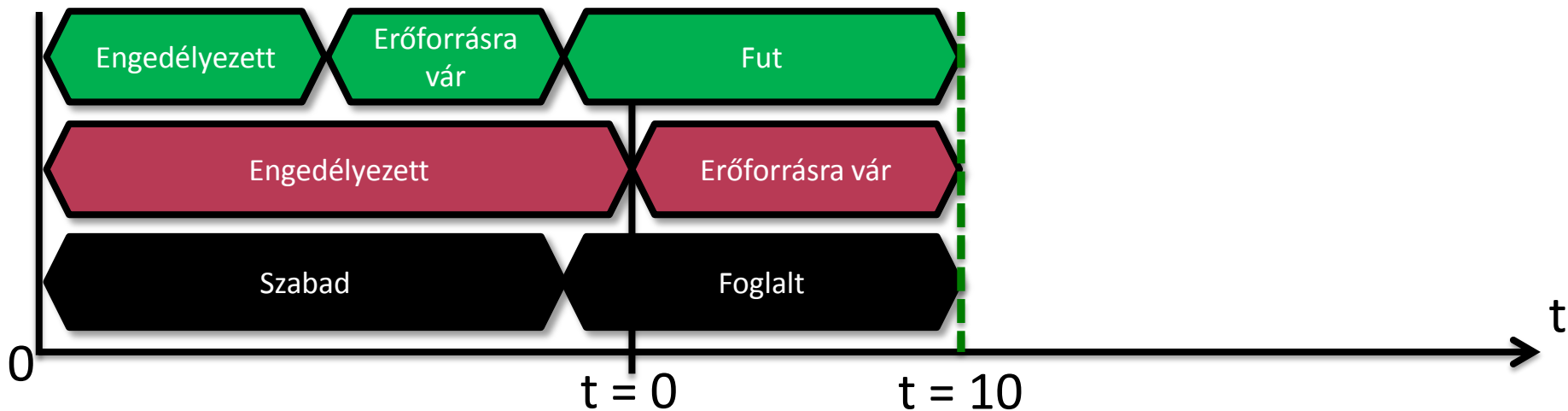
$Q_\theta = (10, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$



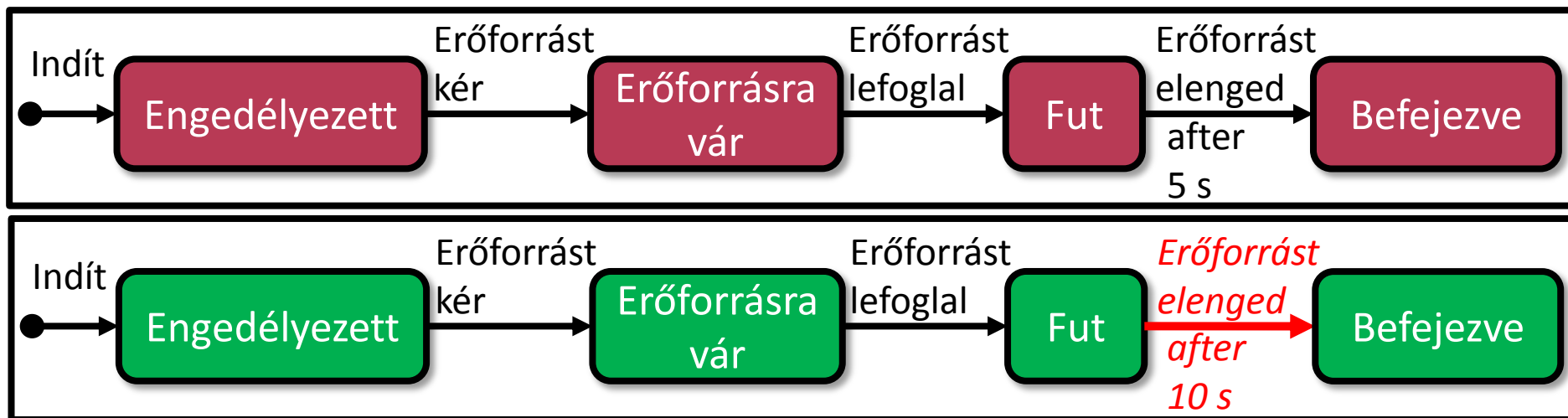
Diszkrét esemény-szimuláció



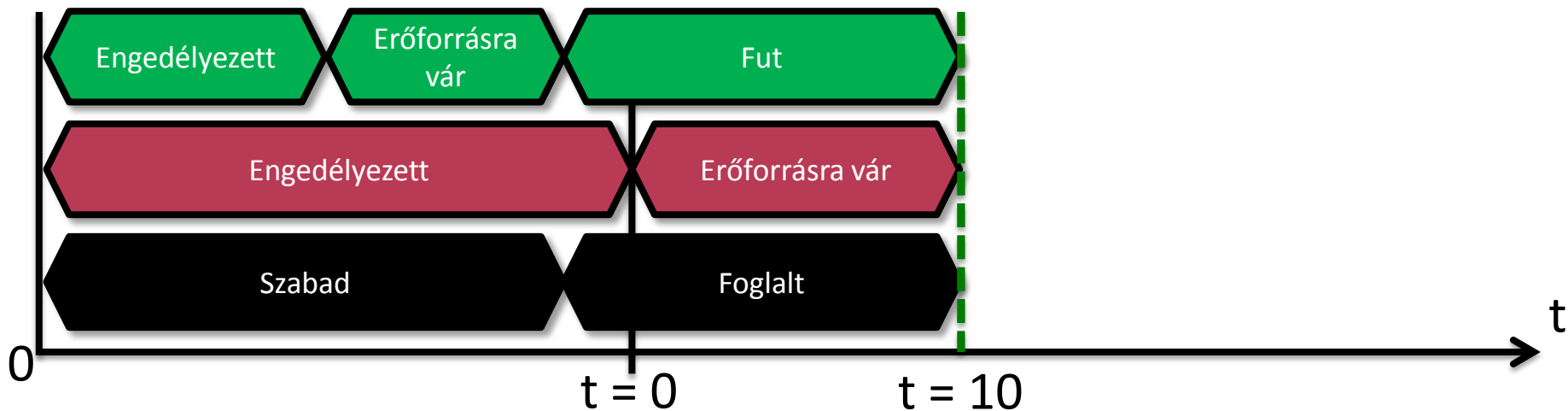
$Q_\theta = (10, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$



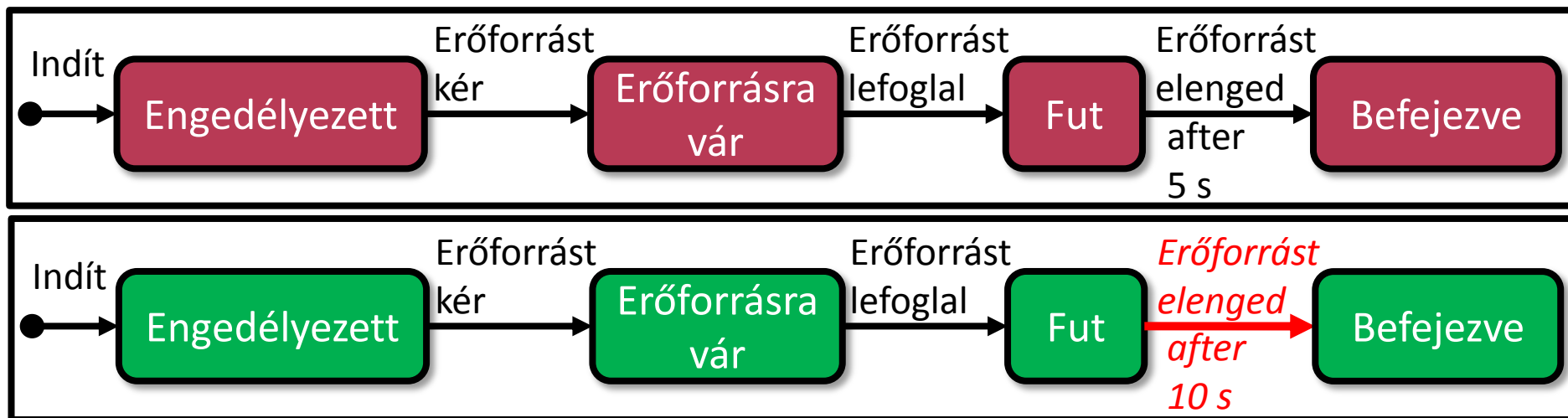
Diszkrét esemény-szimuláció



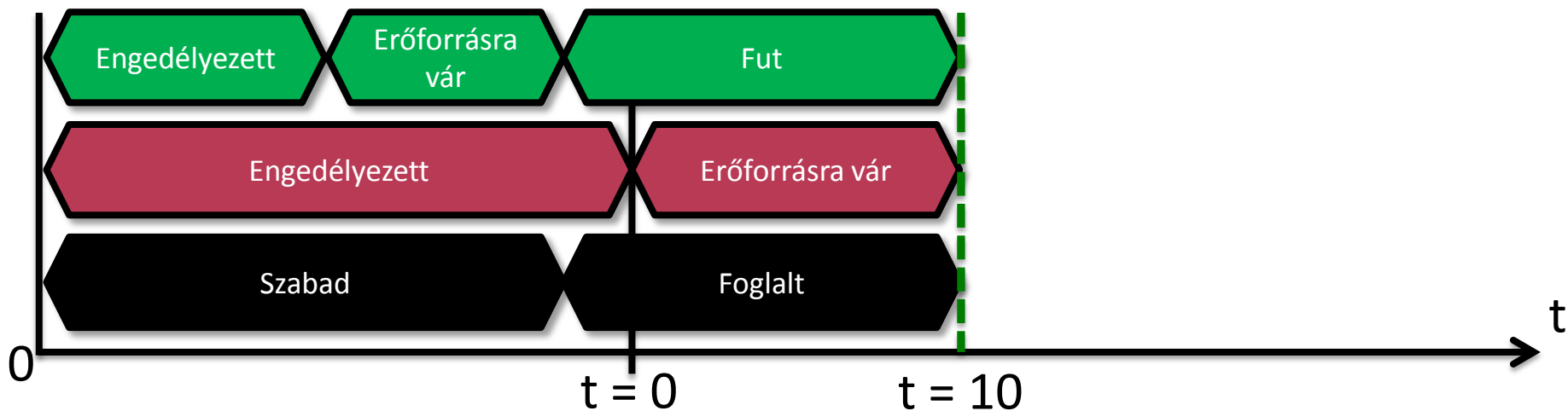
$$Q_{10} = (\emptyset, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$$



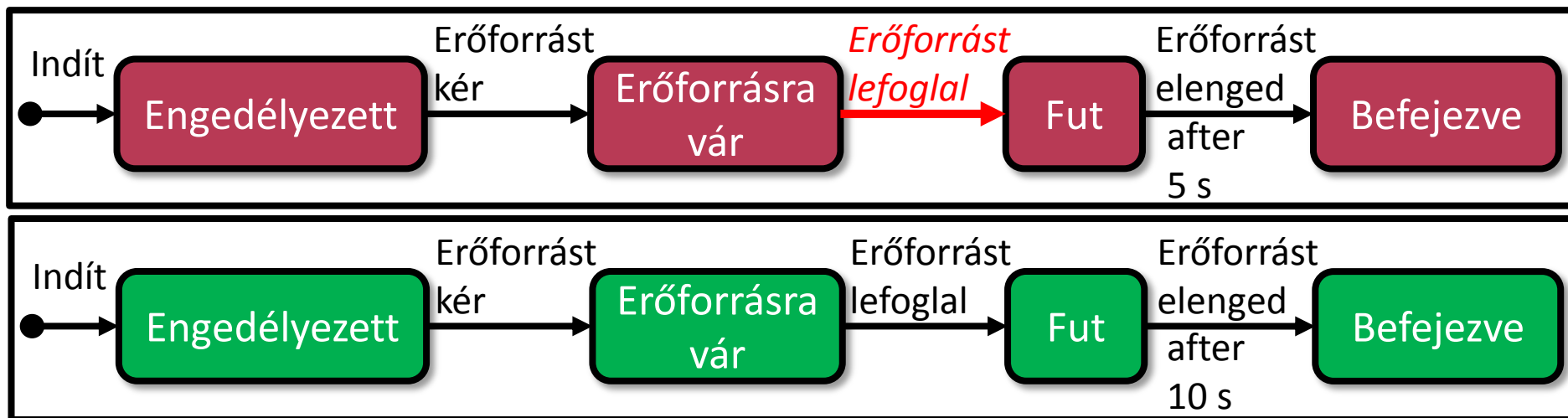
Diszkrét esemény-szimuláció



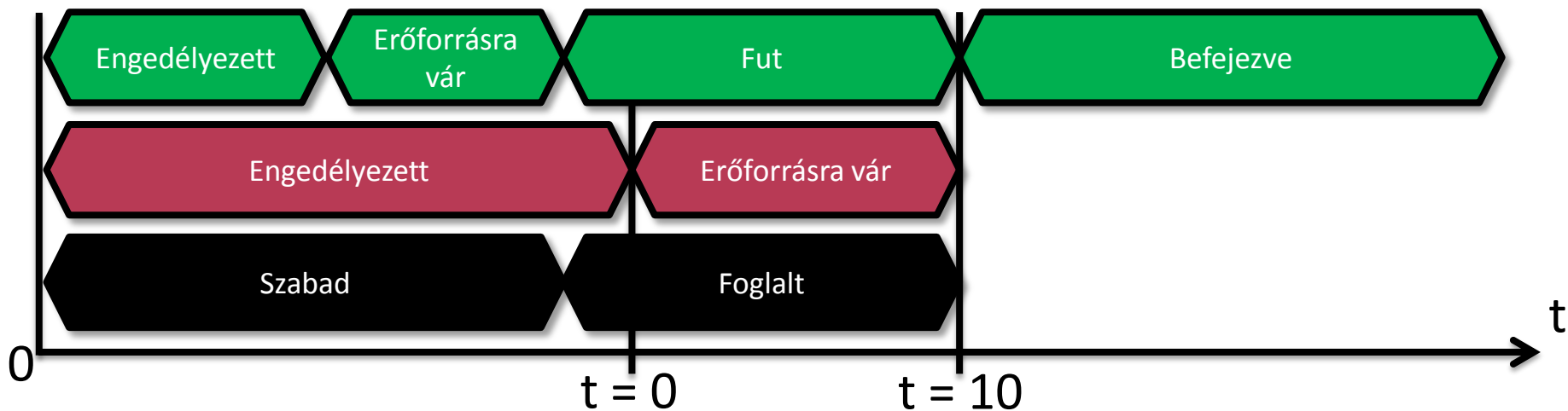
$$Q_{10} = (\emptyset, \{\text{Ízesítés.Erőforrást elenged}\})$$



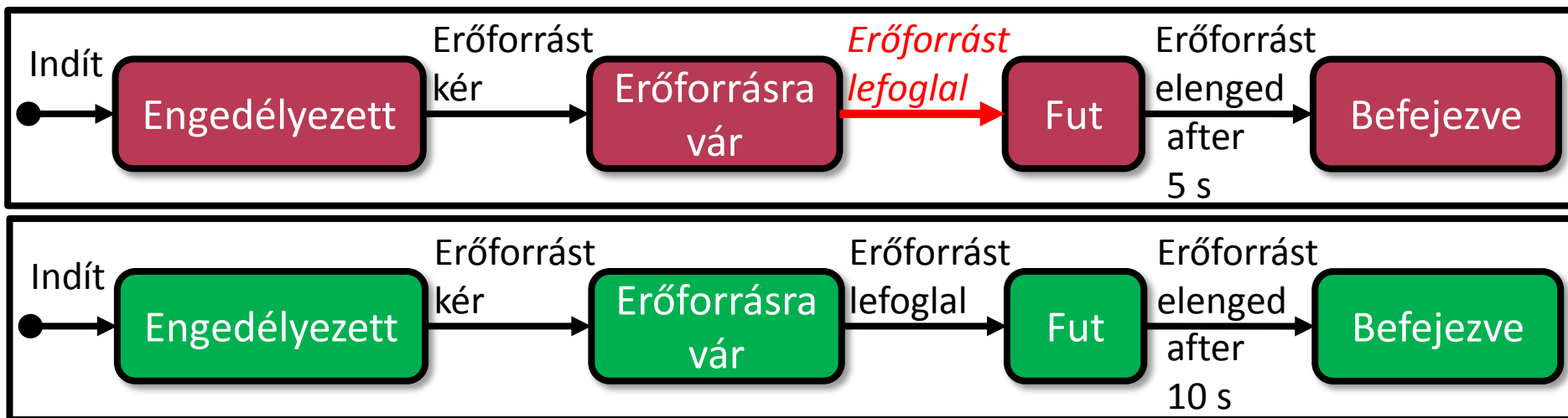
Diszkrét esemény-szimuláció



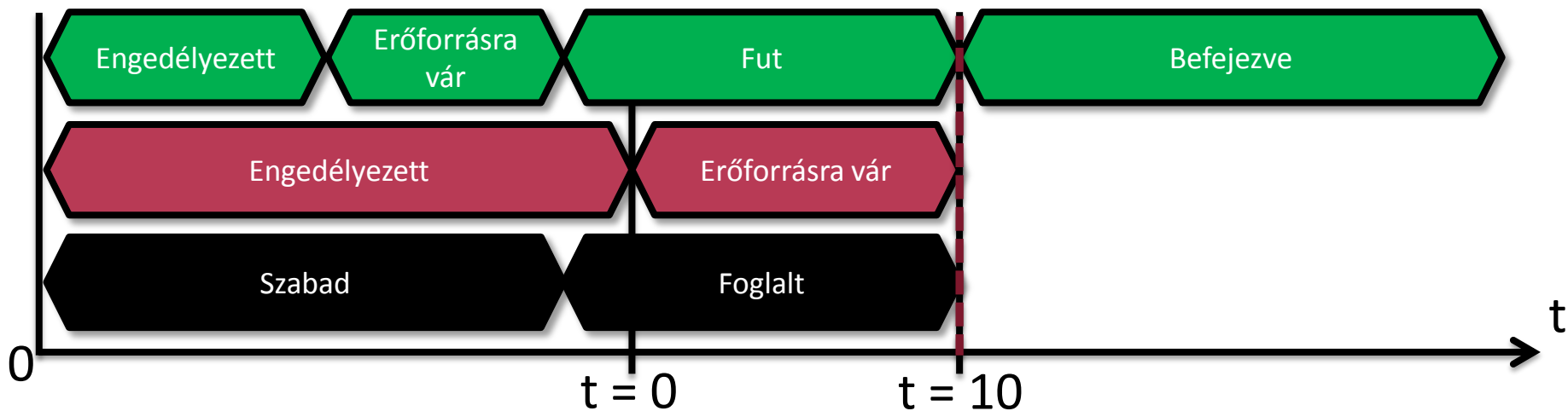
$$Q_{10} = (10, \{ \text{Filtert betesz. Erőforrást foglal} \})$$



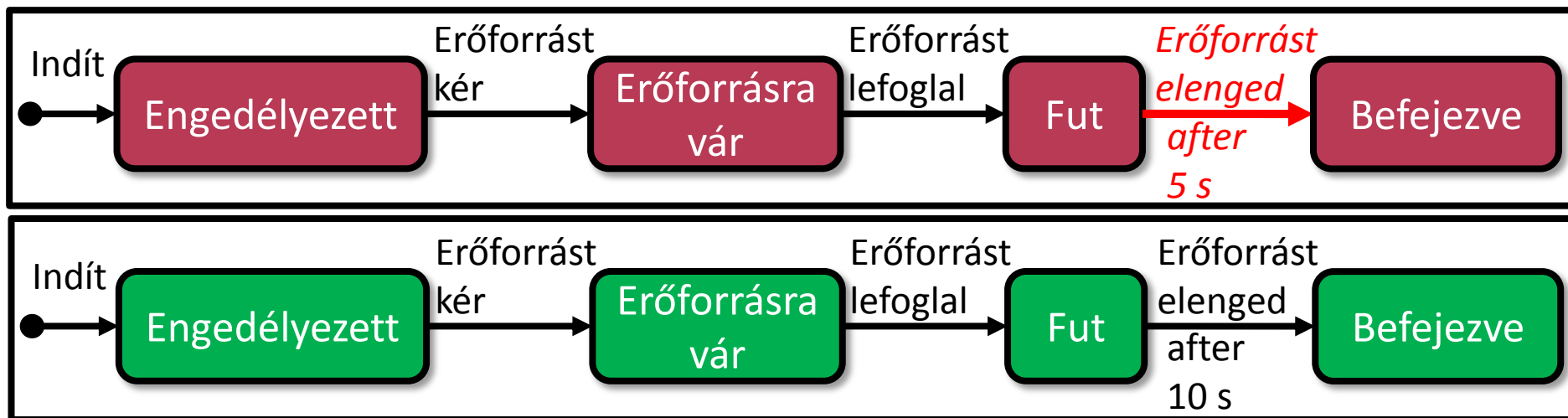
Diszkrét esemény-szimuláció



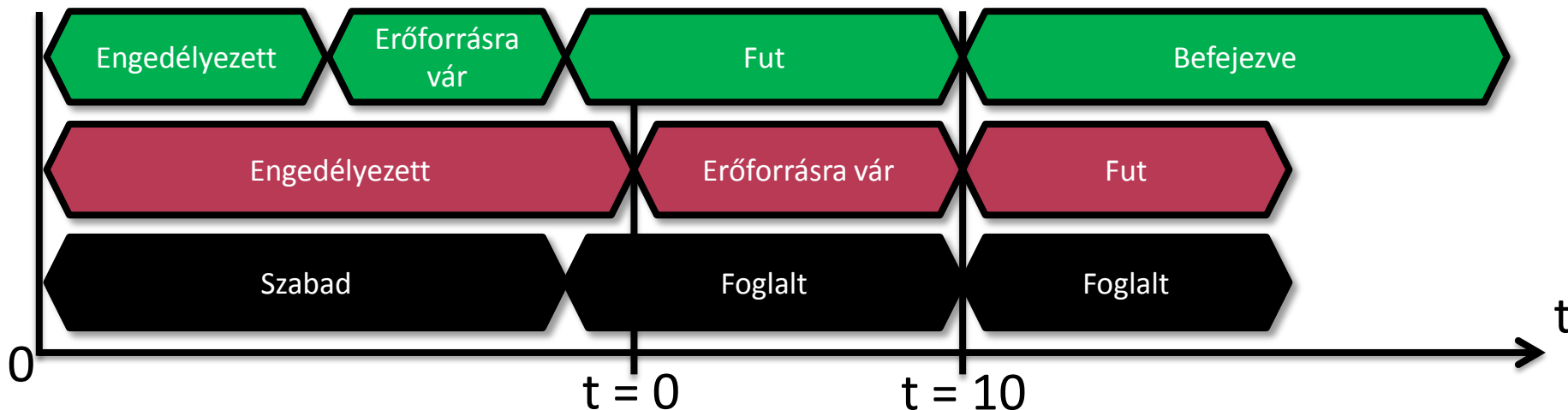
$$Q_{10} = (10, \{\text{Filtert betesz. Erőforrást foglal}\})$$



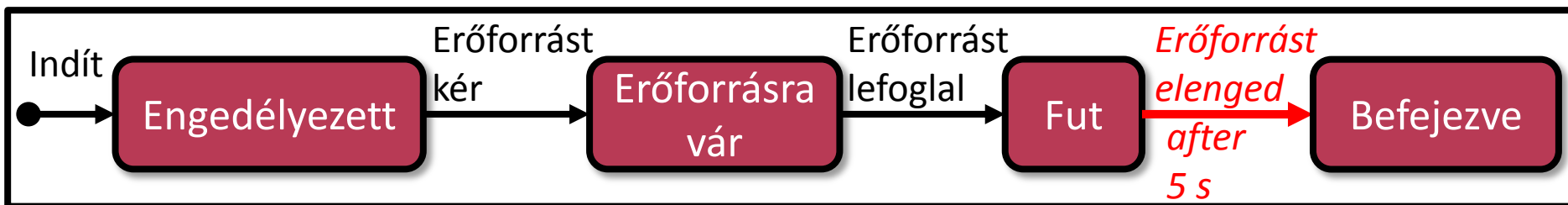
Diszkrét esemény-szimuláció



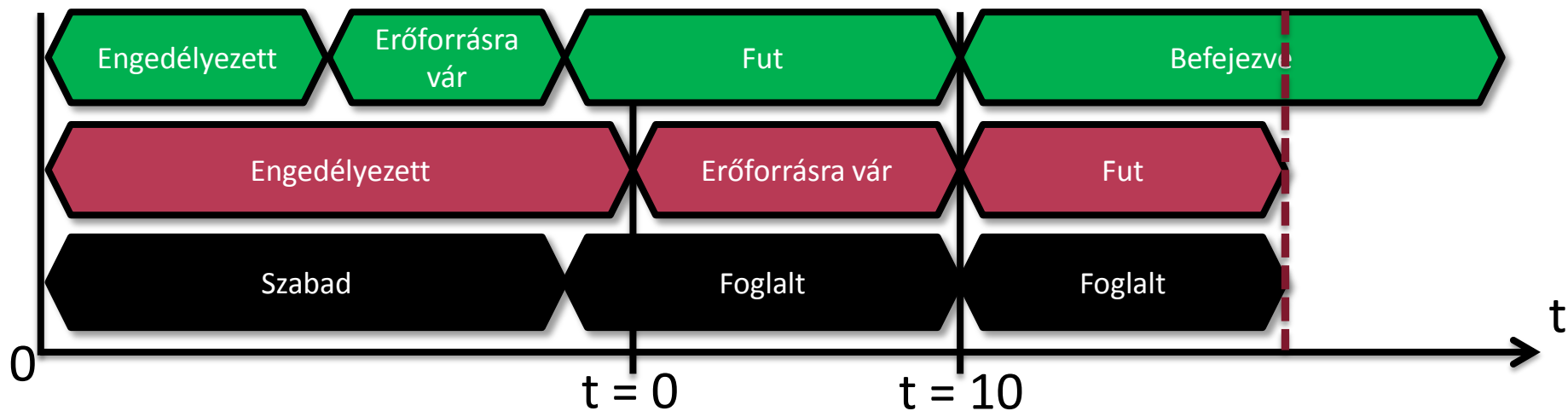
$$Q_{10} = (15, \{ \text{Filtert betesz. Erőforrást elenged} \})$$



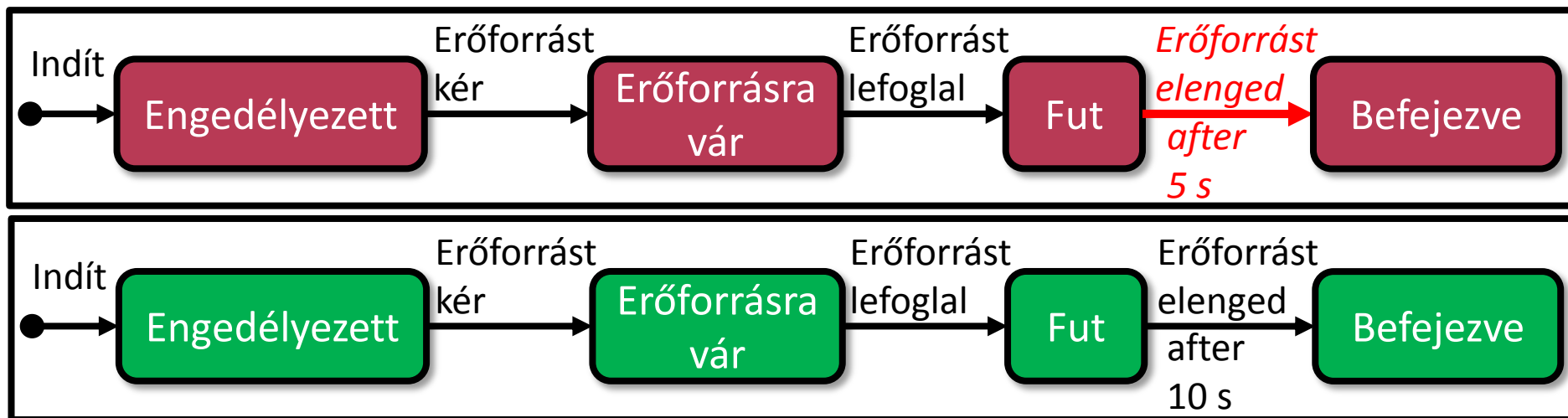
Diszkrét esemény-szimuláció



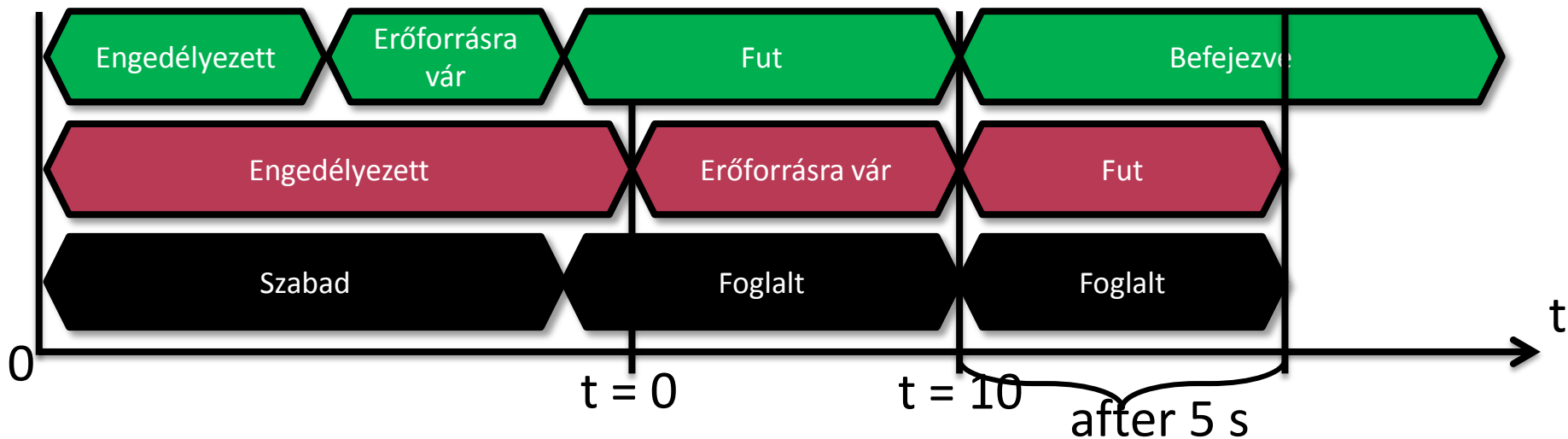
$$Q_{10} = (15, \{Filtered\ betesz.Erőforrást\ elenged\})$$



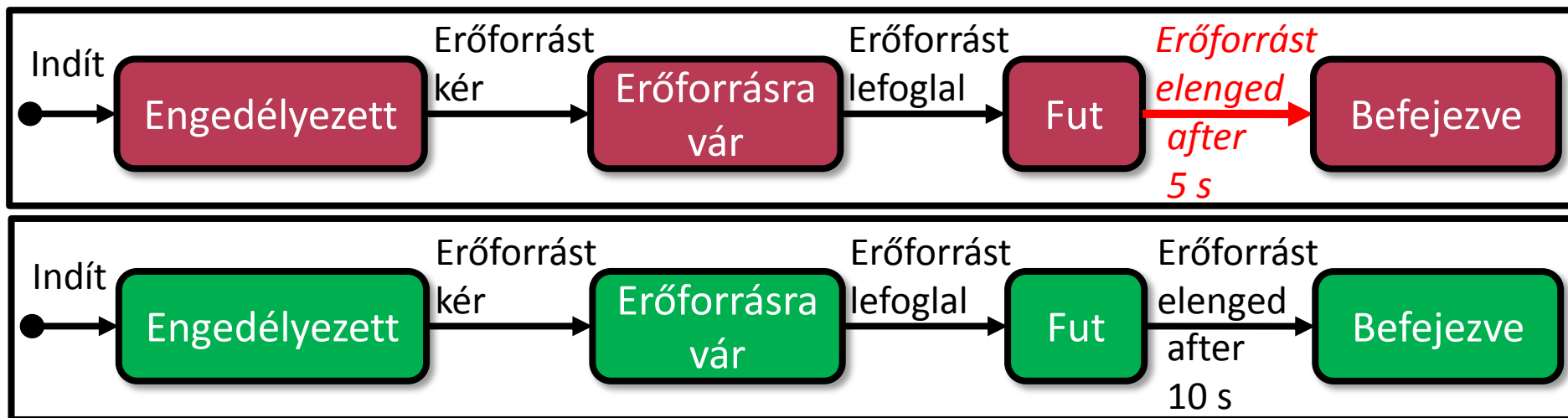
Diszkrét esemény-szimuláció



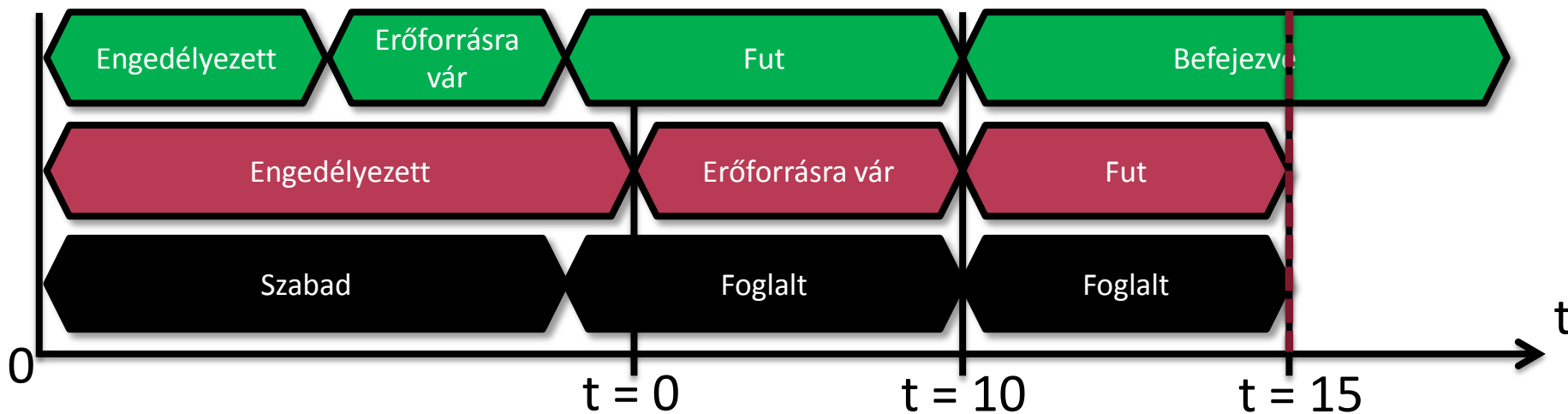
$$Q_{15} = (\emptyset, \{ \text{Filtert betesz. Erőforrást elenged} \})$$



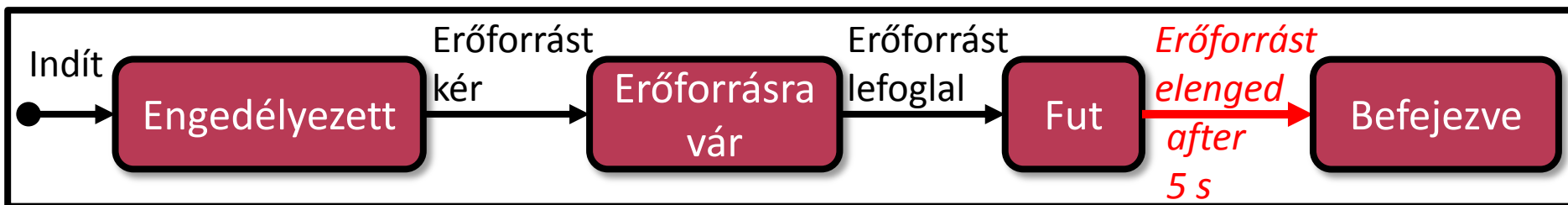
Diszkrét esemény-szimuláció



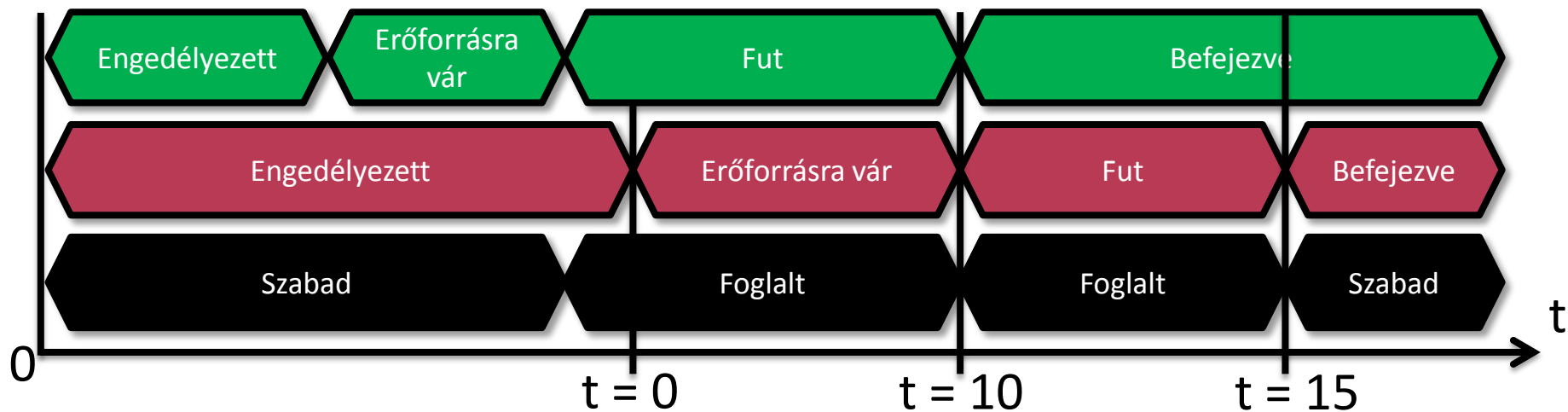
$$Q_{15} = (\emptyset, \{\text{Filtert betesz. Erőforrást elenged}\})$$



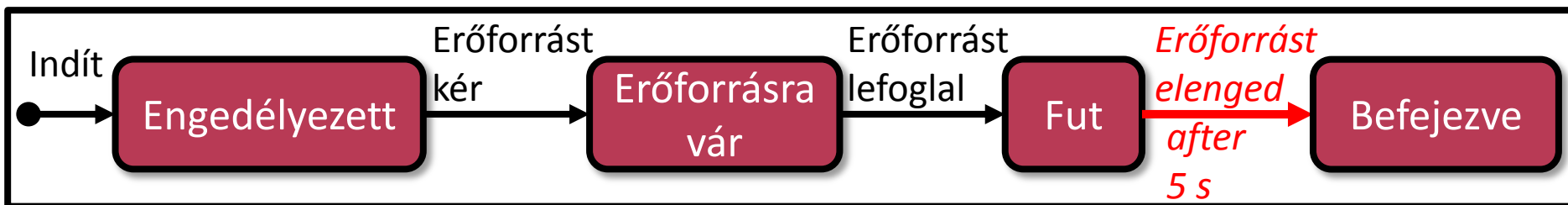
Diszkrét esemény-szimuláció



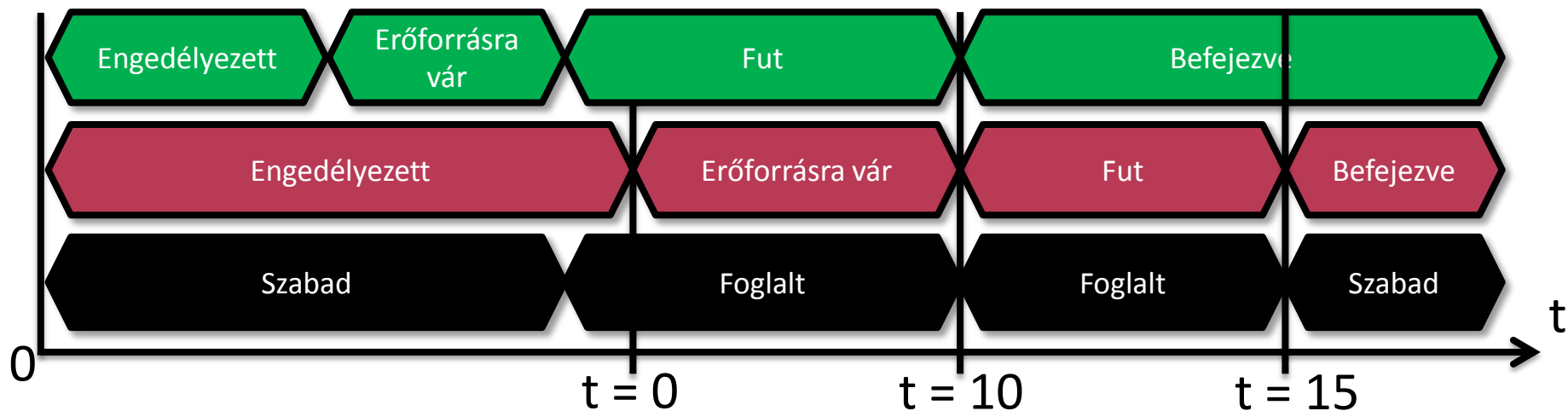
$Q_{15} = ()$



Diszkrét esemény-szimuláció



$Q_{15} = ()$

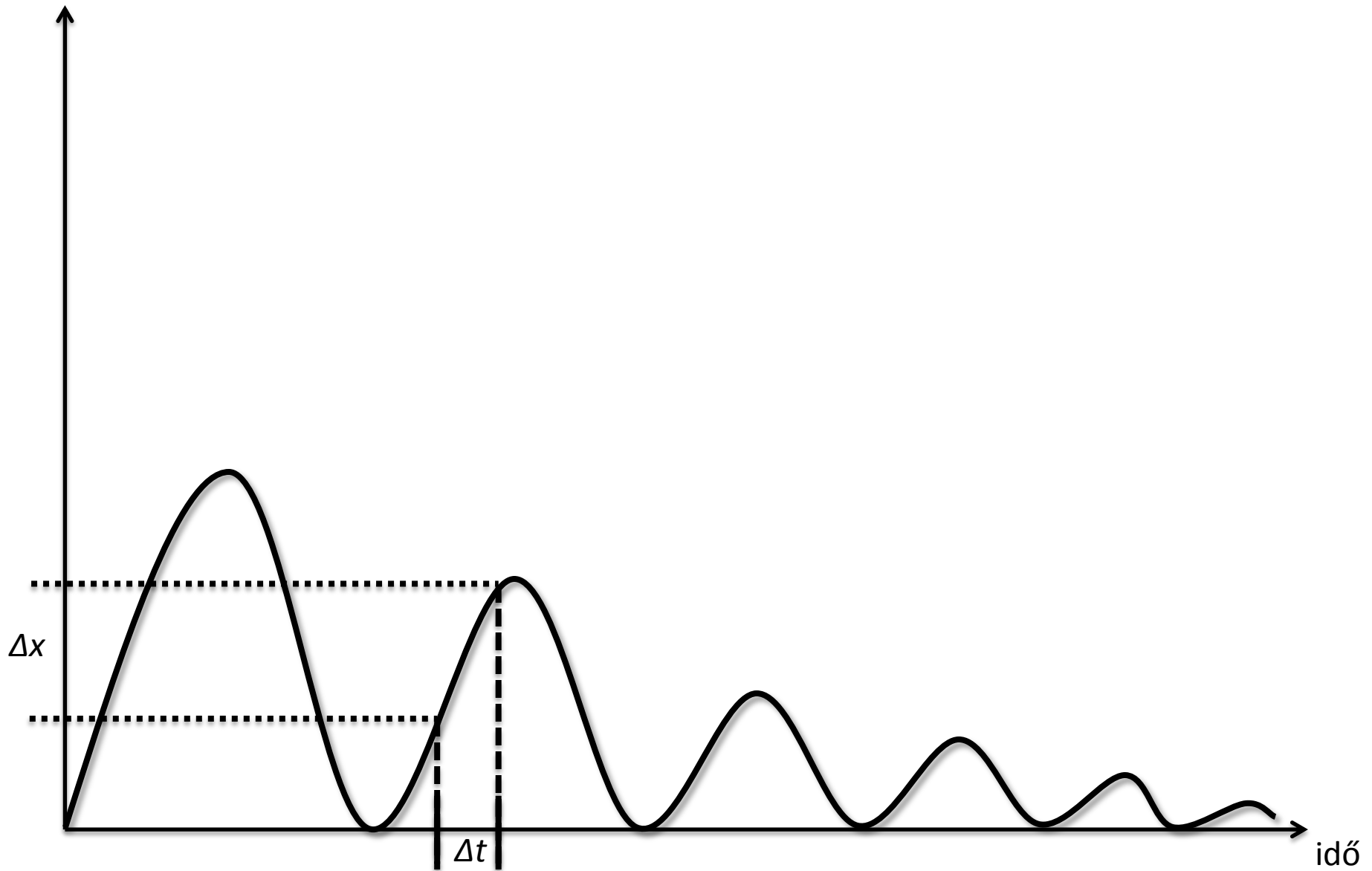


Időlépéses szimuláció

- Számítógépes játék, ahol pattog a labda, feladat:
 - Ki kell rajzolni, h hol van
- Hogyan teszem meg?
- Fizikai egyenletekből:
 - Sebesség, nehézségi erő
 - Eltelik Δt idő, a labda halad
 - Ciklusban ismételjük a számolást
- Valójában a fizikai egyenleteket egyszerűsítjük!



Folytonos idő-folytonos állapot

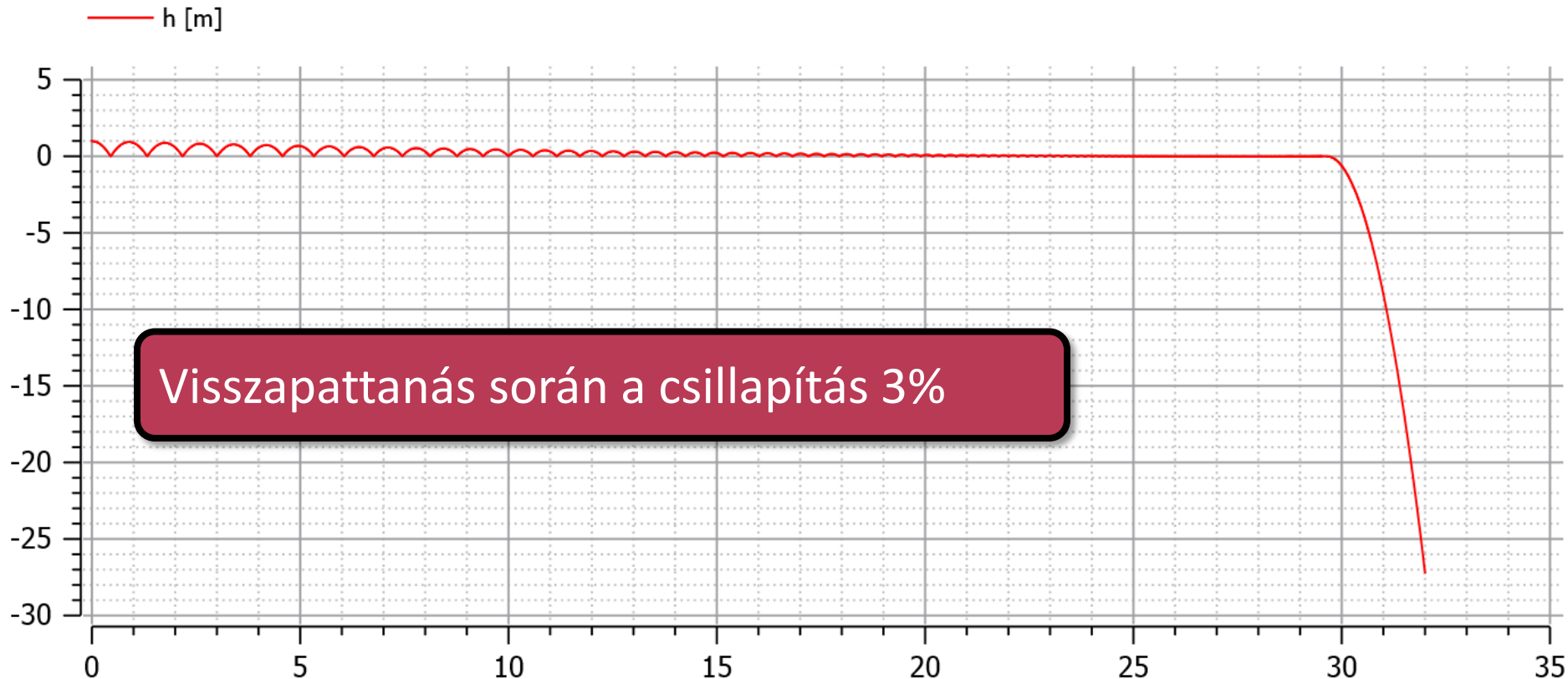


Időlépéses szimuláció

1. Kezdeti rendszerállapot beállítása
2. ciklus {
3. $t := t + \Delta t$
4. Δt alatt bekövetkezett változás kiszámítása
5. változók frissítése a kiszámolt változásokuk szerint
6. }

Folytonos idejű szimuláció - problémák

■ Pattogó labda (openmodelica)

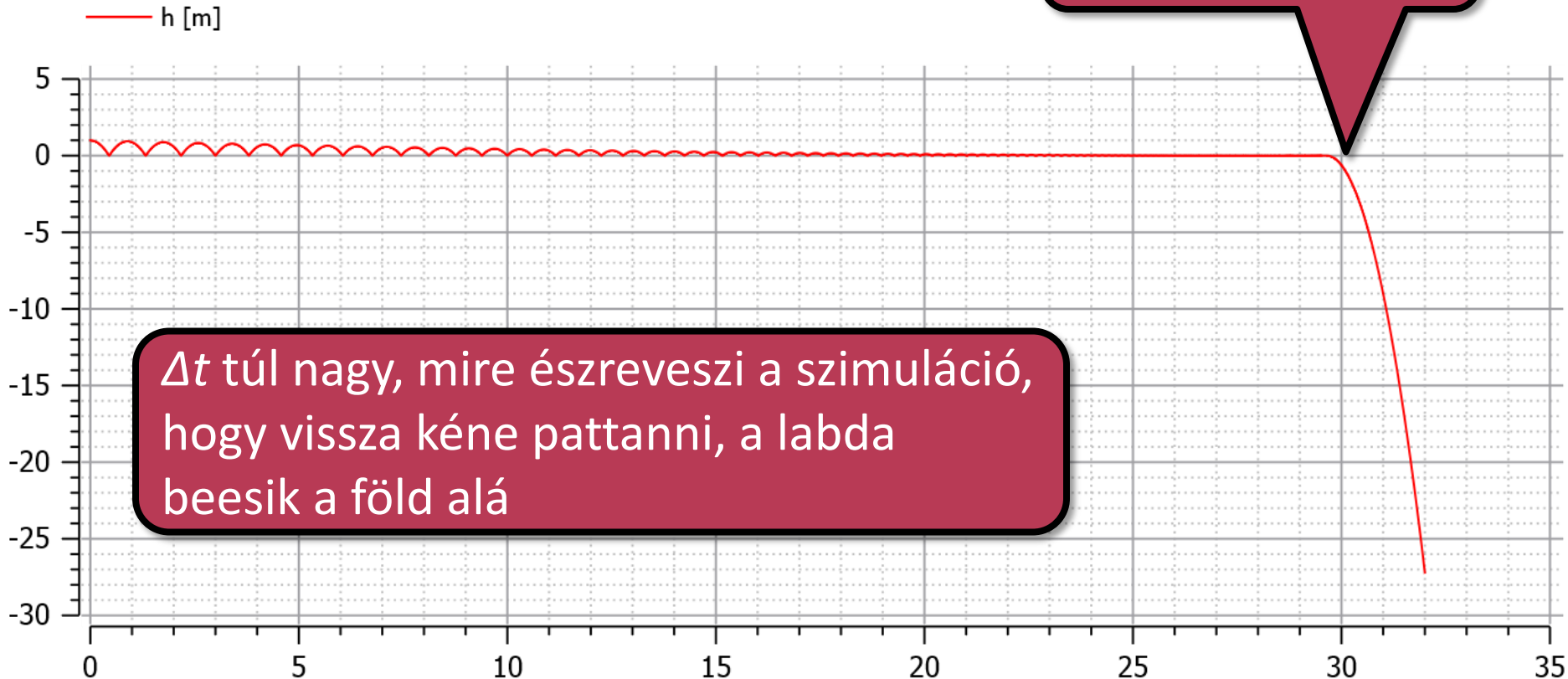


Folytonos idejű szimuláció - problémák

■ Pattogó labda (openmodelica)

A labda beesik a föld alá???

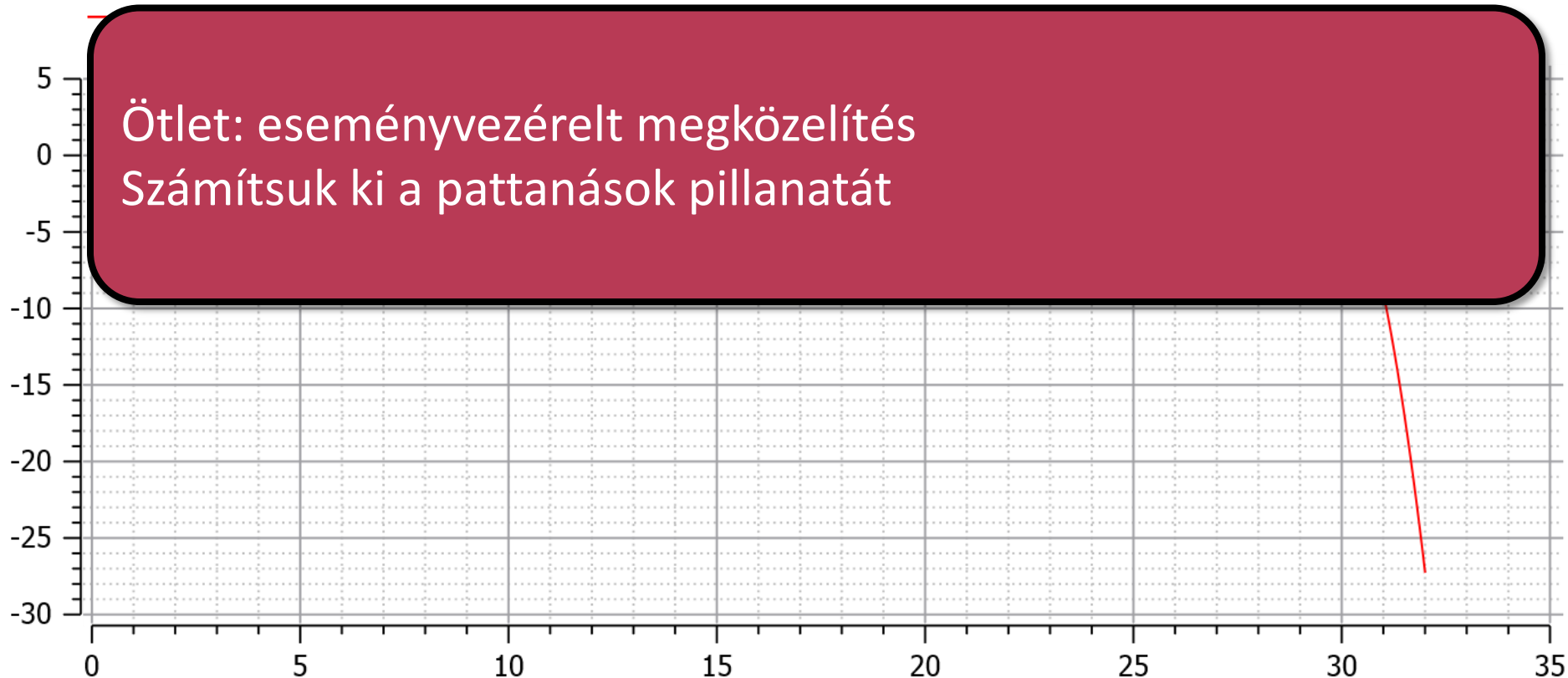
Δt túl nagy, mire észreveszi a szimuláció, hogy vissza kéne pattanni, a labda beesik a föld alá



Folytonos idejű szimuláció - problémák

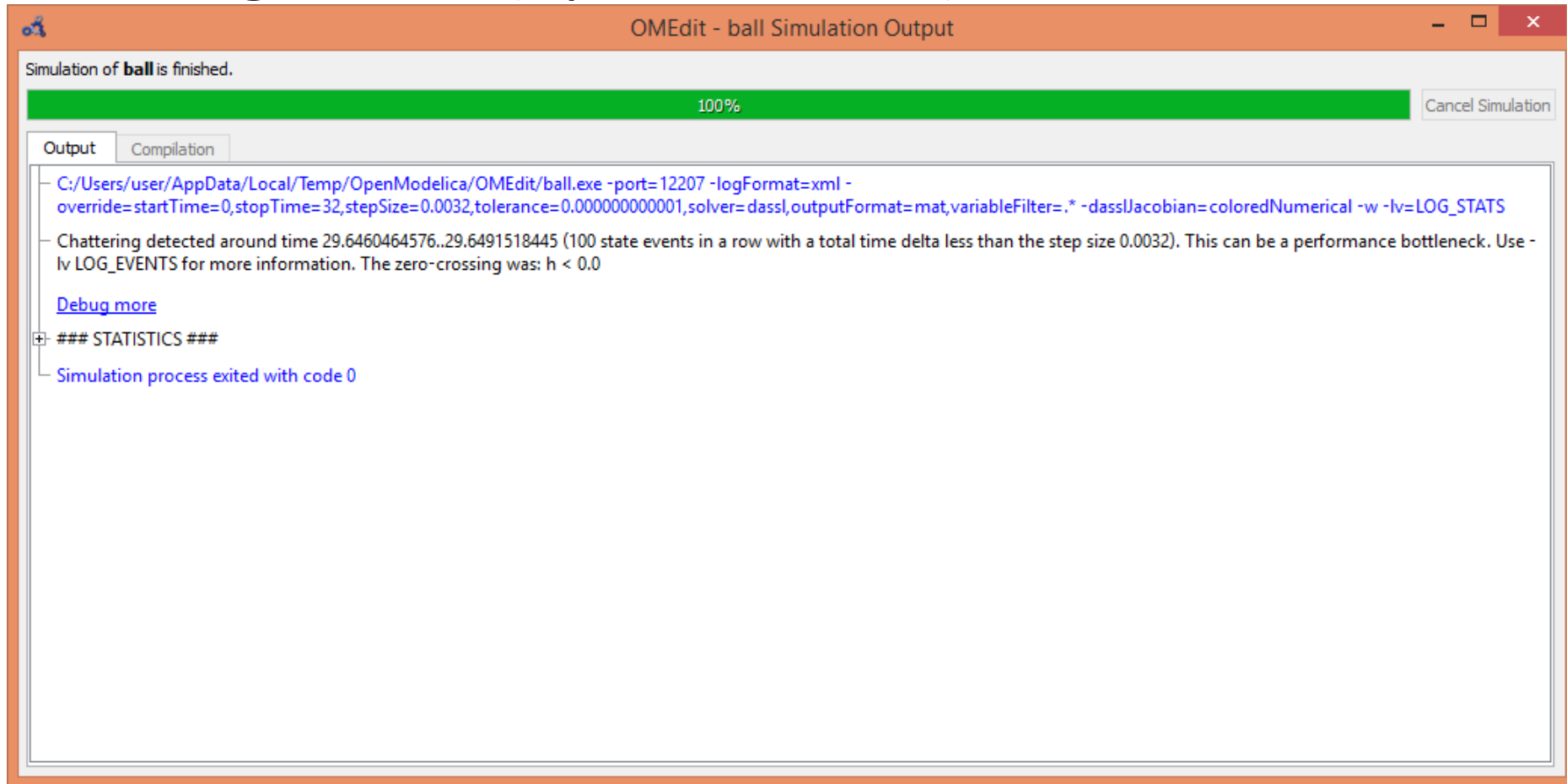
■ Pattogó labda (openmodelica)

Ötlet: eseményvezérelt megközelítés
Számítsuk ki a pattanások pillanatát



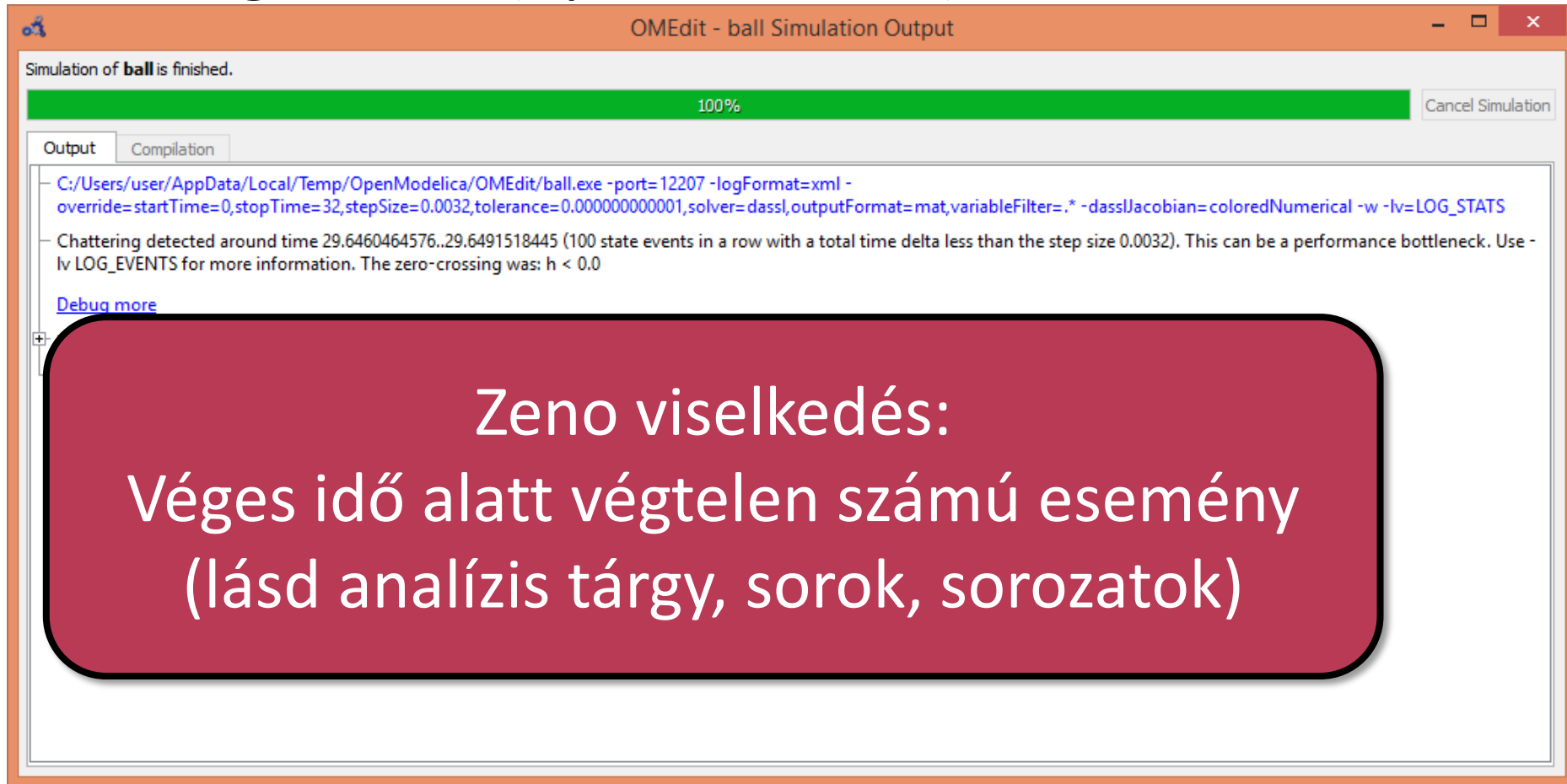
Folytonos idejű szimuláció - problémák

■ Pattogó labda (openmodelica)



Folytonos idejű szimuláció - problémák

■ Pattogó labda (openmodelica)



The screenshot shows the OMEdit - ball Simulation Output window. At the top, it says "Simulation of **ball** is finished." Below this is a green progress bar at 100%. To the right of the progress bar is a "Cancel Simulation" button. Below the progress bar are two tabs: "Output" and "Compilation". The "Output" tab is selected, showing the following text:

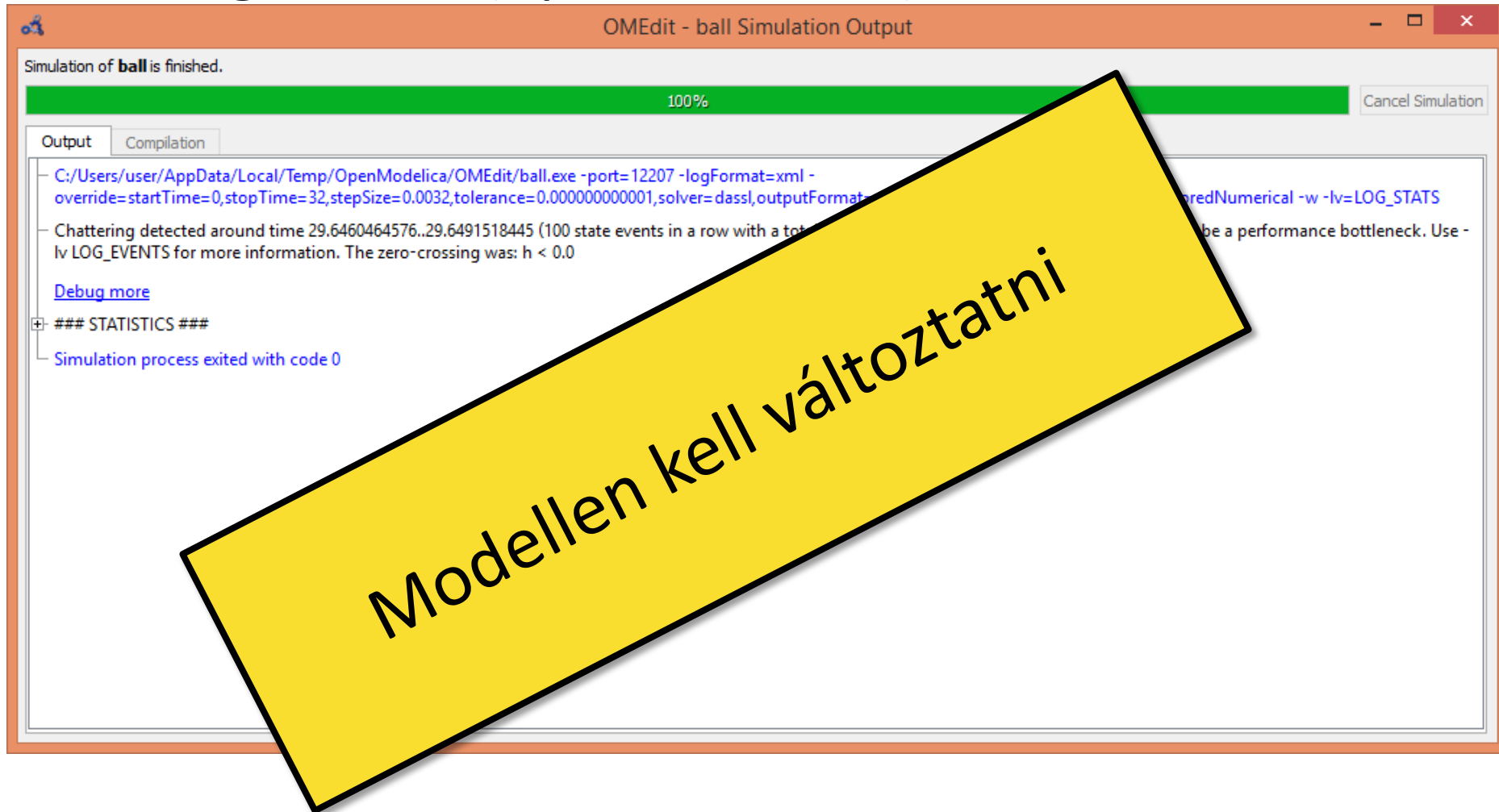
```
C:/Users/user/AppData/Local/Temp/OpenModelica/OMEdit/ball.exe -port=12207 -logFormat=xml -  
override=startTime=0,stopTime=32,stepSize=0.0032,tolerance=0.000000000001,solver=dassl,outputFormat=mat,variableFilter=.* -dasslJacobian=coloredNumerical -w -lv=LOG_STATS  
Chattering detected around time 29.6460464576..29.6491518445 (100 state events in a row with a total time delta less than the step size 0.0032). This can be a performance bottleneck. Use -  
lv LOG_EVENTS for more information. The zero-crossing was: h < 0.0
```

Below the text is a blue link that says "Debug more".

Zeno viselkedés:
Véges idő alatt végtelen számú esemény
(lásd analízis tárgy, sorok, sorozatok)

Folytonos idejű szimuláció - problémák

■ Pattogó labda (openmodelica)



Tanulság

- A szimuláció során, ha az idő felbontás nem elég finom (Δt túl nagy), számolási pontatlanság
- Zeno viselkedés: végtelen számú esemény következik be egy időpont előtt $\rightarrow$ az idő nem tud haladni
- Megoldás:
 - Ha a labda már nem pattan elég nagyra, azt mondjuk, hogy megállt
 - Modellt módosítottuk