

Teljesítménymodellezés

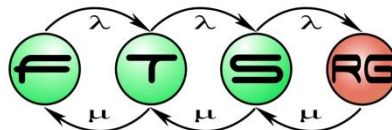
Rendszermodellezés

Molnár Vince, Dr. Pataricza András

Gönczy László

Budapest University of Technology and Economics

Fault Tolerant Systems Research Group



Egy ismerős példa...

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem



Hallgatói BME_W2K8H_02(168)

Nyelv:    

Azonosító:

Jelszó:

Bejelentkezés >



Build: 430 (2014.11.11.) P20150304

Támogatott böngészők:

Microsoft Internet Explorer 9.0+ ; Mozilla Firefox ; Google Chrome

Friss hírek


[KTH hallgatói hírlevél 2014/15/1 félévzárásról 1. – vizsgajelentkezés, vizsgaidőszak](#)

(2014.11.27.
8:56:21)

Kedves Hallgató!

2014. december 1-jén 18 órakor indul a vizsgajelentkezés. Milyen egyéb határidőkre kell figyelnie a félév végén? Melyek az ebben az időszakban aktuális Neptun kérvények? Mit

Letölthető dokumentumok

 Tantárgyfelvétel: eddig a legsimábban.pdf
(2015.02.07. 14:28:14)

 Tantárgyfelvétel: nem és nem.pdf
(2014.08.28. 21:19:50)

 Vizsgajelentkezés: szokványosan.pdf
(2014.05.06. 21:14:04)

Egy ismerős példa...

Kiszolgálóhiba történt az alkalmazásban: „/hallgato”.

Futásidejű hiba

Leírás: Alkalmazáshiba történt a kiszolgálón. Az alkalmazás jelenlegi egyéni hibakezelési beállításai (biztonsági okok miatt) nem engedik meg az adatok távoli megjelenítését. A böngészőben azonban megtekinthetők.

Részletek: Ha távoli gépeken is meg szeretné jeleníteni a hibaüzenet részletes adatait, hozzon létre a konfigurációs fájlban elhelyezett „web.config” címke „mode” attribútumát állítsa „Off” értékre.

```
<!-- Web.Config konfigurációs fájl -->
```

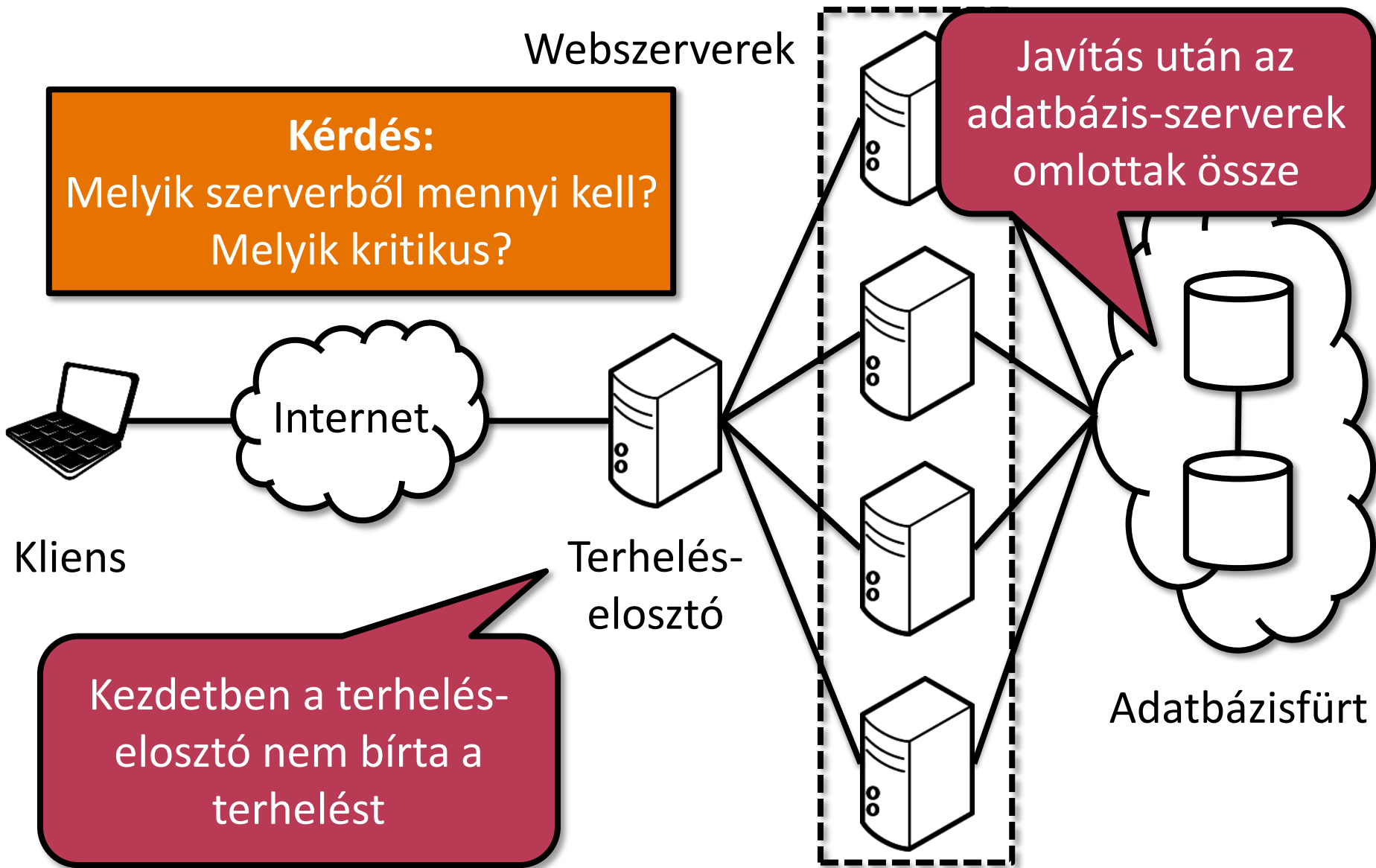
```
<configuration>  
  <system.web>  
    <customErrors mode="Off"/>  
  </system.web>  
</configuration>
```

Megjegyzések: A konfigurációs fájlban elhelyezett „web.config” címke „mode” attribútumát úgy módosítja, hogy az e...

```
<!-- Web.Config konfigurációs fájl -->  
<configuration>  
  <system.web>  
    <customErrors mode="Off"/>  
  </system.web>  
</configuration>
```

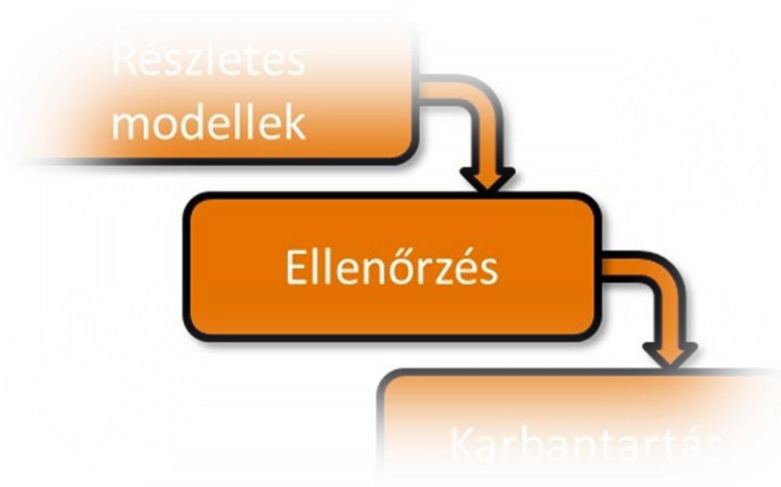
**Motiváció:
Már tervezési időben
készüljünk a terhelésre!**

A Neptun vázlatos felépítése



Terhelésmodellezés

- Emlékeztető: nemfunkcionális követelmények
 - Teljesítmény, átbecsátóképeség, stb.
 - Hogyan ellenőrizzük őket a rendszer megépítése nélkül?
- **Terhelésmodellezés:**
 - Az eddigi modellek kiegészítése időzítéssel, erőforrásokkal, kapacitáskorlátokkal
 - Célja:
 - A rendszer teljesítményének értékelése a tervezési fázisban
 - Kritikus részek azonosítása
 - Skálázás, méretezés



Tartalom

Alapfogalmak

Terhelési diagram

Erőforrásmodellezés

Folyamatmodellek elemzése

A Little-törvény

Alapfogalmak

Terhelési diagram

Erőforrásmodellezés

Folyamatmodellek elemzése

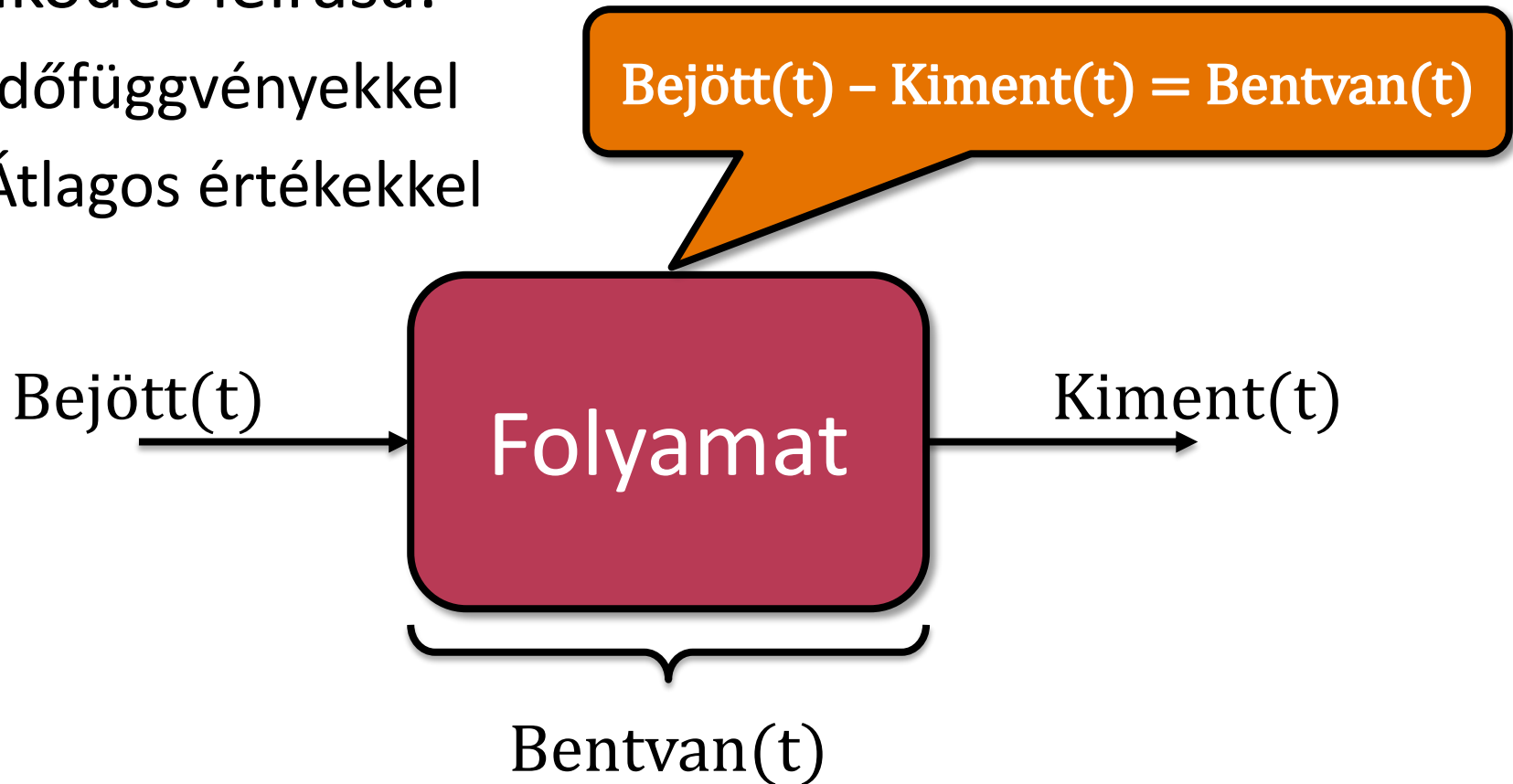
A Little-törvény

ALAPFOGALMAK

Érkezési ráta, átbocsátás

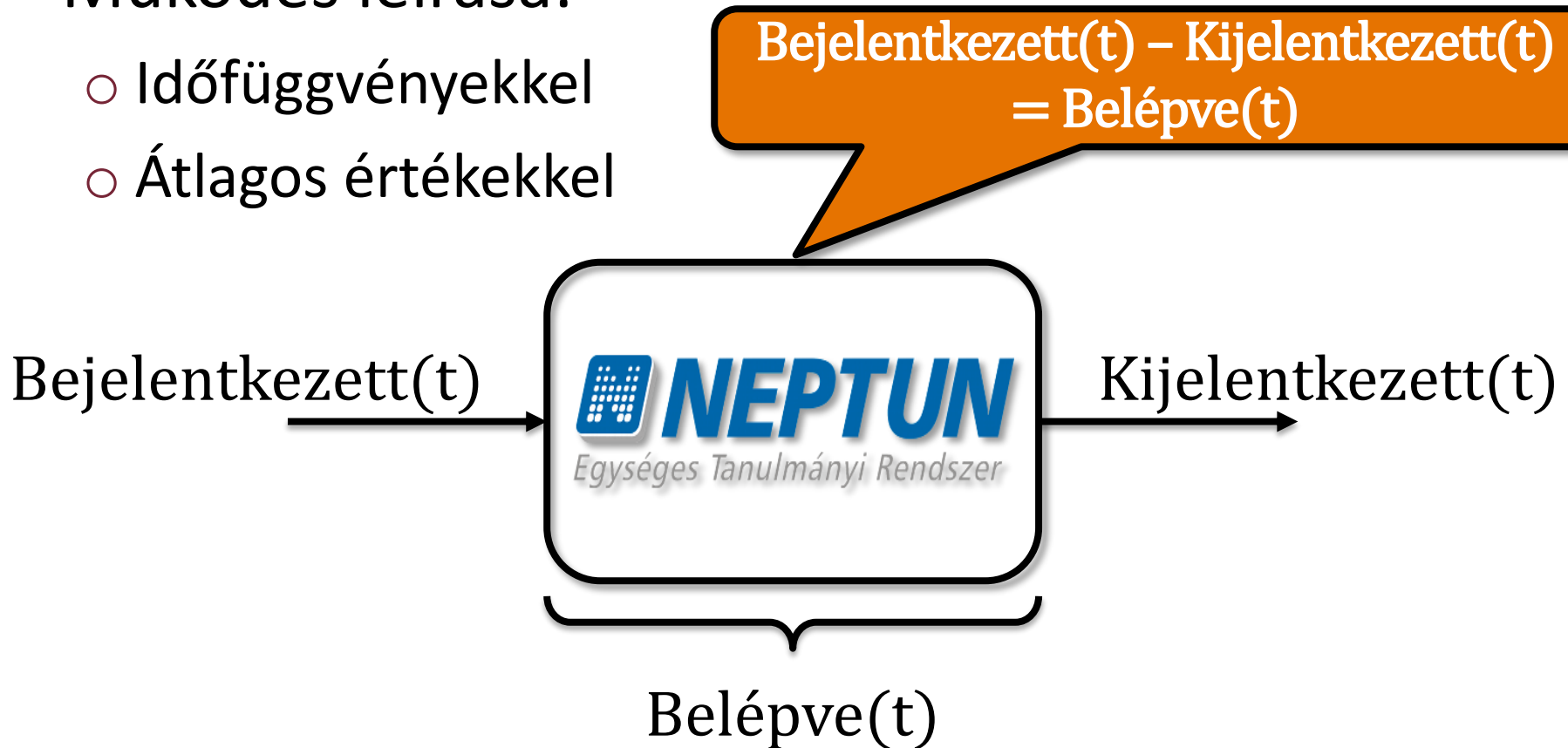
Alapmodell

- Folyamatmodell végrehajtása sok kérésre
 - Vizsgálat tárgya: időfüggő viselkedés
- Működés leírása:
 - Időfüggvényekkel
 - Átlagos értékekkel



Alapmodell

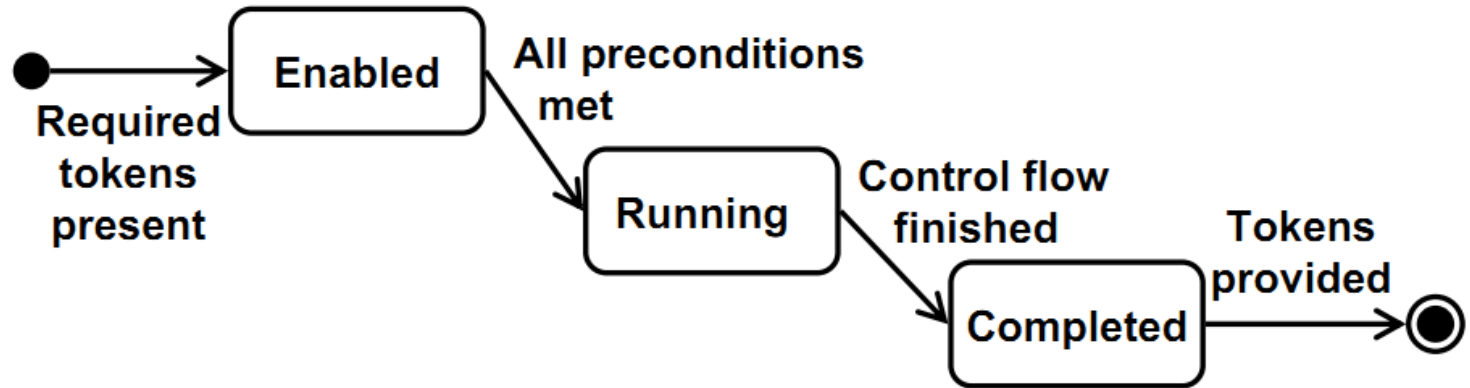
- Folyamatmodell végrehajtása sok kérésre
 - Vizsgálat tárgya: időfüggő viselkedés
- Működés leírása:
 - Időfüggvényekkel
 - Átlagos értékekkel



Emlékeztető: végrehajtási állapotok

- Folyamat/tevékenység végrehajtásának állapota:

State Machine



- Bejött(t): „*Enabled*” állapotig eljutó tokenek
- Bentvan(t): „*Enabled*” v. „*Running*” tokenek
- Kiment(t): „*Completed*” állapotig eljutó tokenek

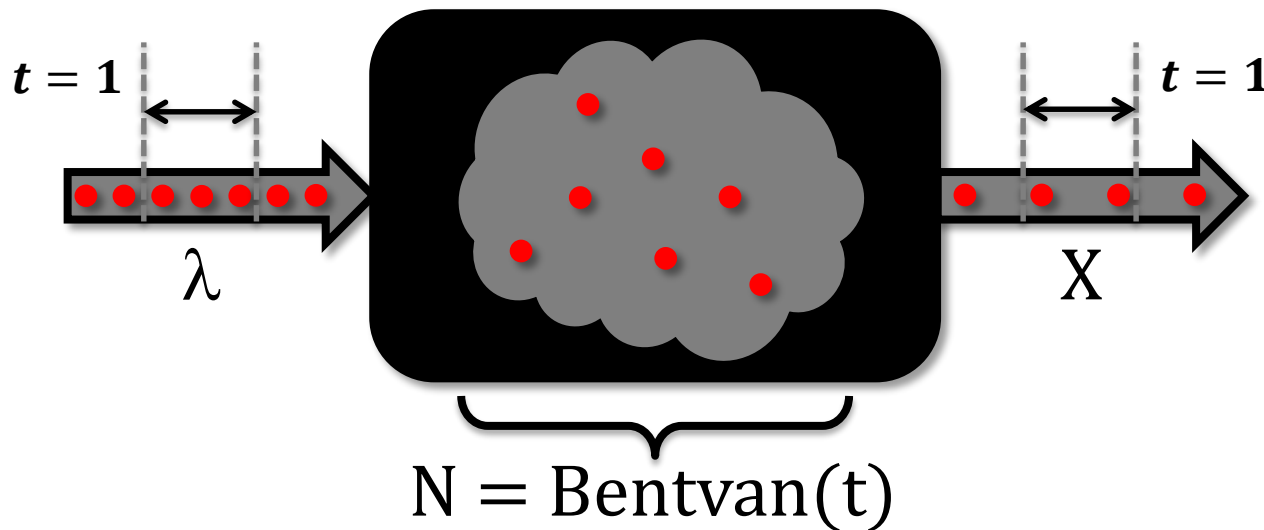
Ráták

Érkezési ráta: egységnyi idő alatt érkező kérések

$$\lambda = \frac{Bejött(t)}{t} \quad [\lambda] = \frac{1}{s}$$

Átbocsátás: egységnyi idő alatt feldolgozott kérések

$$X = \frac{Kiment(t)}{t} \quad [X] = \frac{1}{s}$$

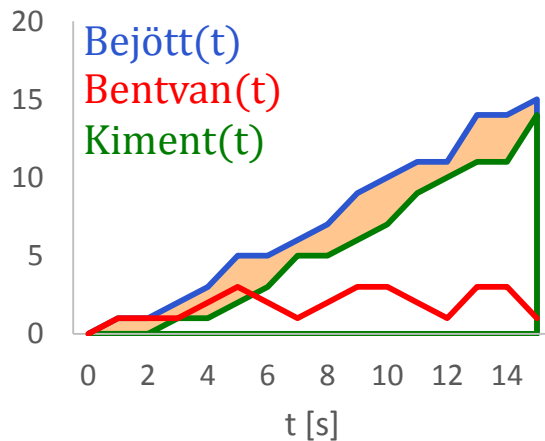


Egyensúlyi állapot

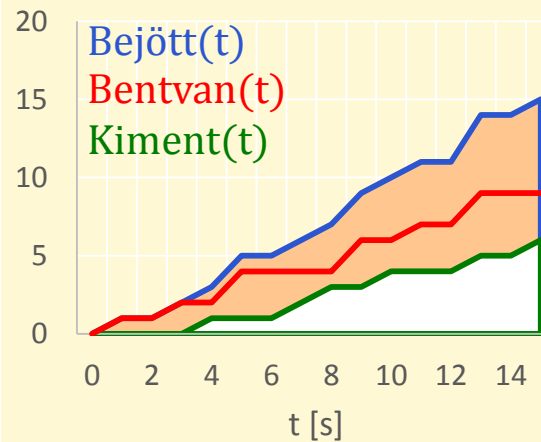
- **Egyensúlyi állapot:** $Bentvan(t)$ közel állandó
 - Átlagos értékek csak ilyenkor használhatók!
 - Ilyenkor:

$$\lambda = X$$

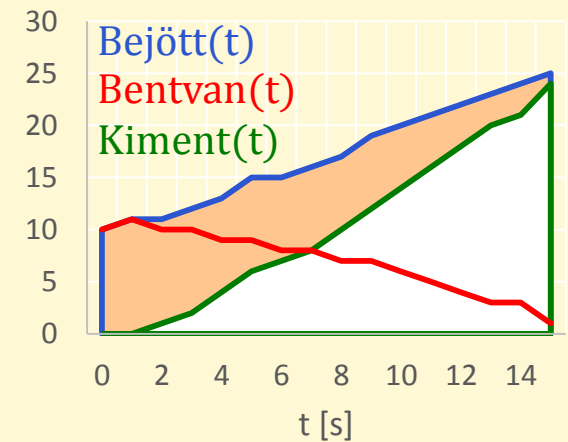
$$\lambda = X$$



$$\lambda > X$$



$$\lambda < X$$



Egyensúlyi állapot

- **Egyensúlyi állapot:** $Bentvan(t)$ közel állandó
 - Átlagos értékek csak ilyenkor használhatók!
 - Ilyenkor:

$$\lambda = X$$

Egyensúlyi állapotban:
Percenként ugyanannyian lépnek be, mint ki



$$N = \text{Belépve}(t)$$

Korlátos kapacitás – DDoS

- Idáig N akár végtelen is lehetett
- Mi van, ha véges?

Denial of Service Attack

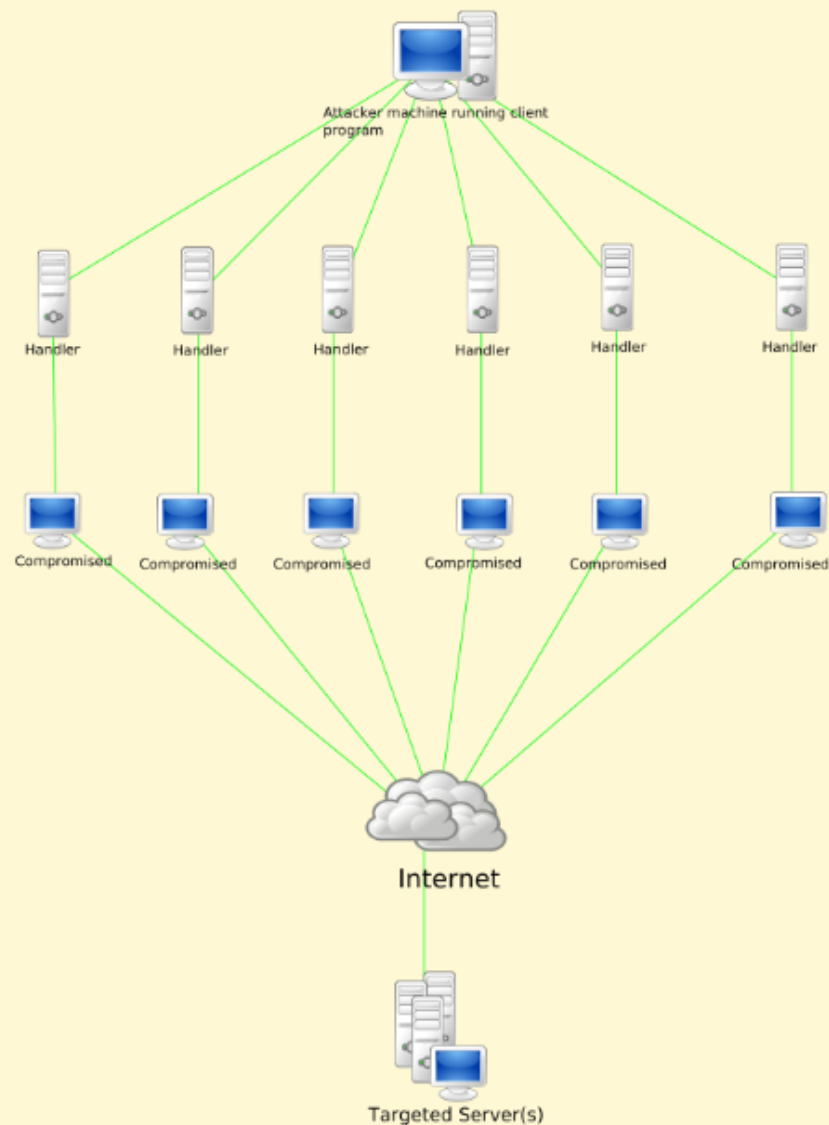
Thursday, August 6, 2009 | By Biz Stone (@biz) 08/06/2009 - 15:00

Tweet

On this otherwise happy Thursday morning, Twitter is the target of a [denial of service attack](#). Attacks such as this are malicious efforts orchestrated to disrupt and make unavailable services such as online banks, credit card payment gateways, and in this case, Twitter for intended customers or users. We are defending against this attack now and will continue to update our [status blog](#) as we continue to defend and later investigate.

Distributed Denial of Service (DDoS)

- Tömeges kéresgenerál
→ rendszer lefoglalása
- A leterhelt rendszert
könnyebb támadni
- Teljes szolgáltatások
leállíthatóak
- Az Anonymous kedvelt
módszere



Alapfogalmak

Terhelési diagram

Erőforrásmodellezés

Folyamatmodellek elemzése

A Little-törvény

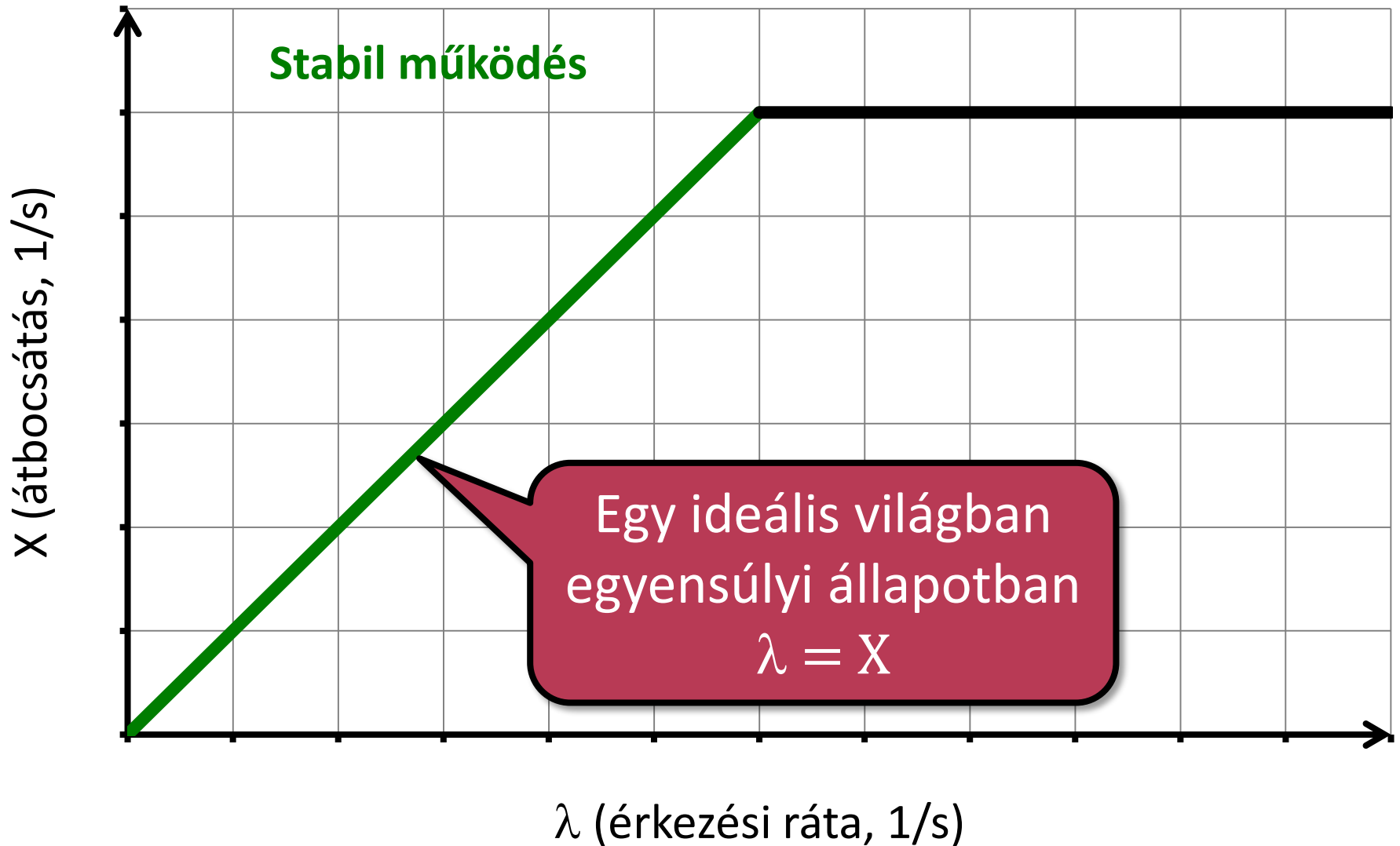
TERHELÉSI DIAGRAM

Az érkezési ráta és az átbocsátás kapcsolata,
átbocsátókéesség

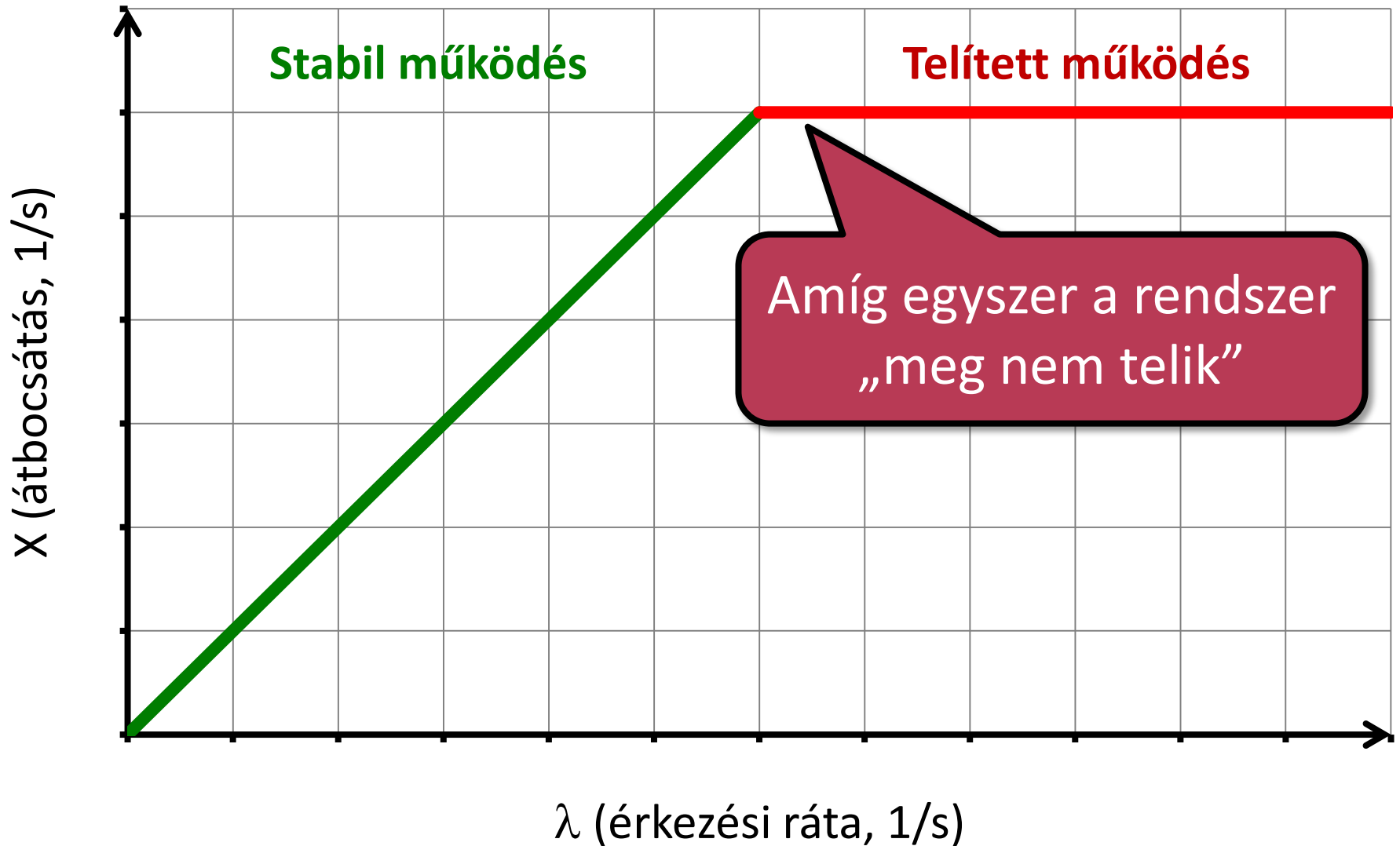
Terhelési diagram



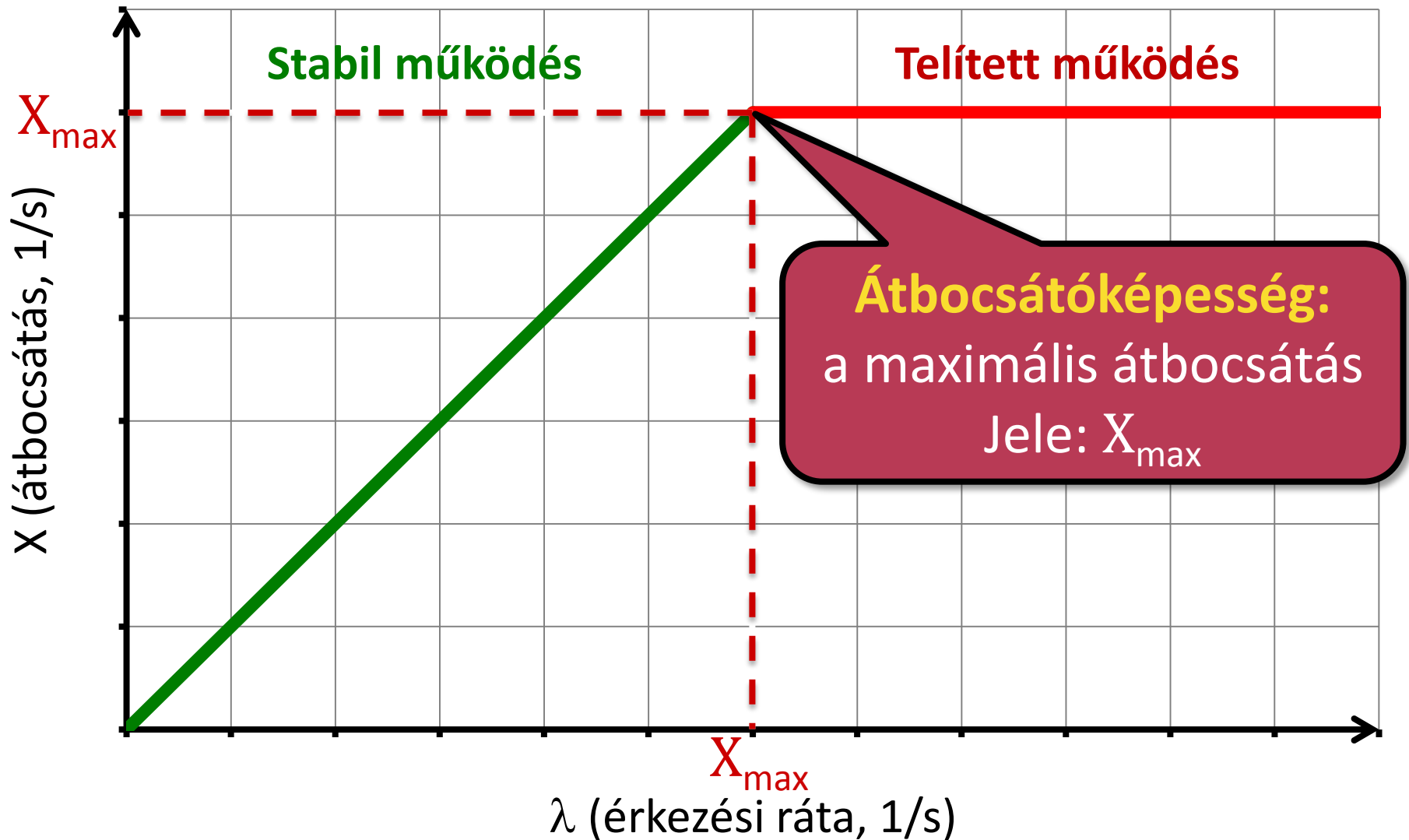
Terhelési diagram



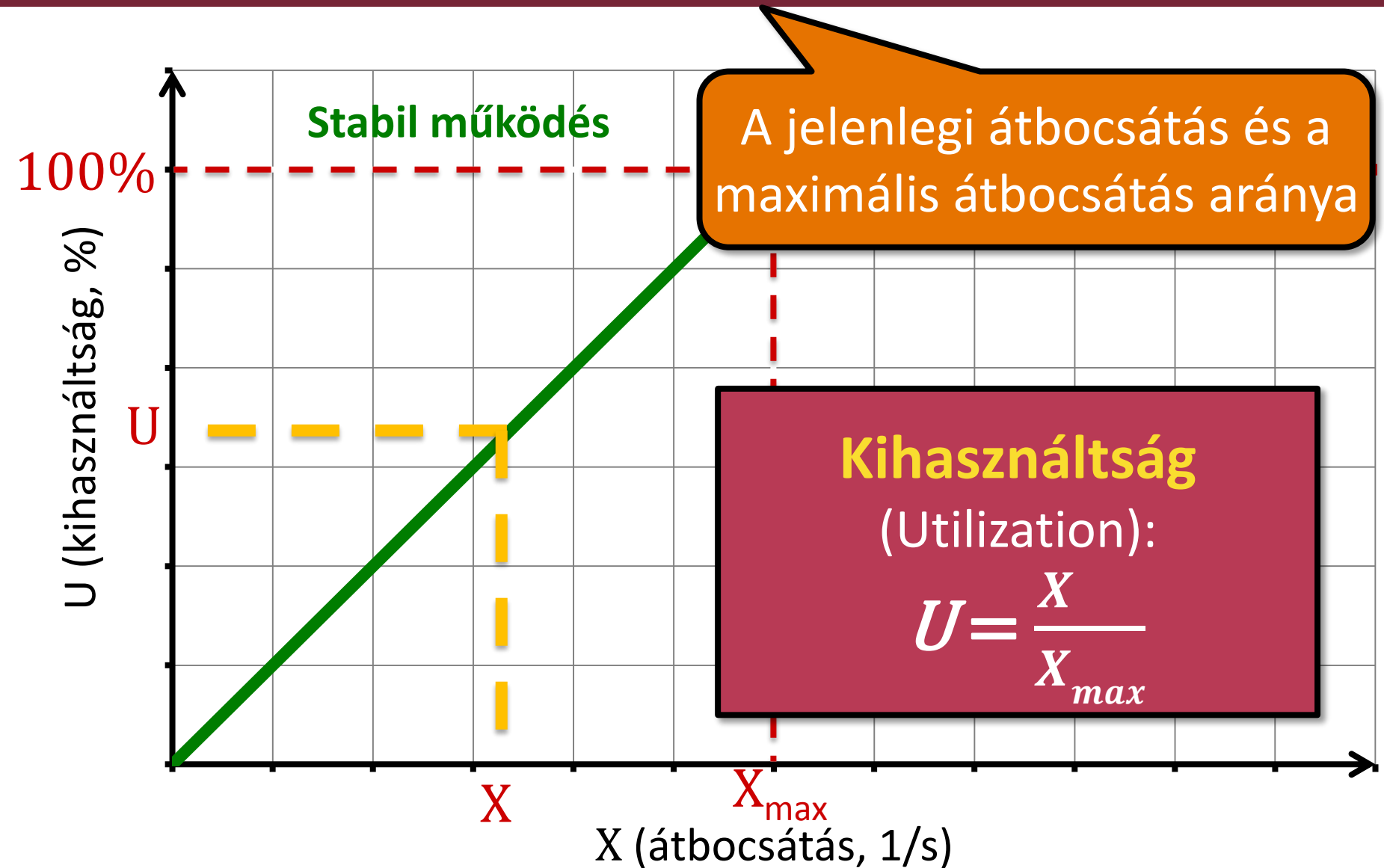
Terhelési diagram



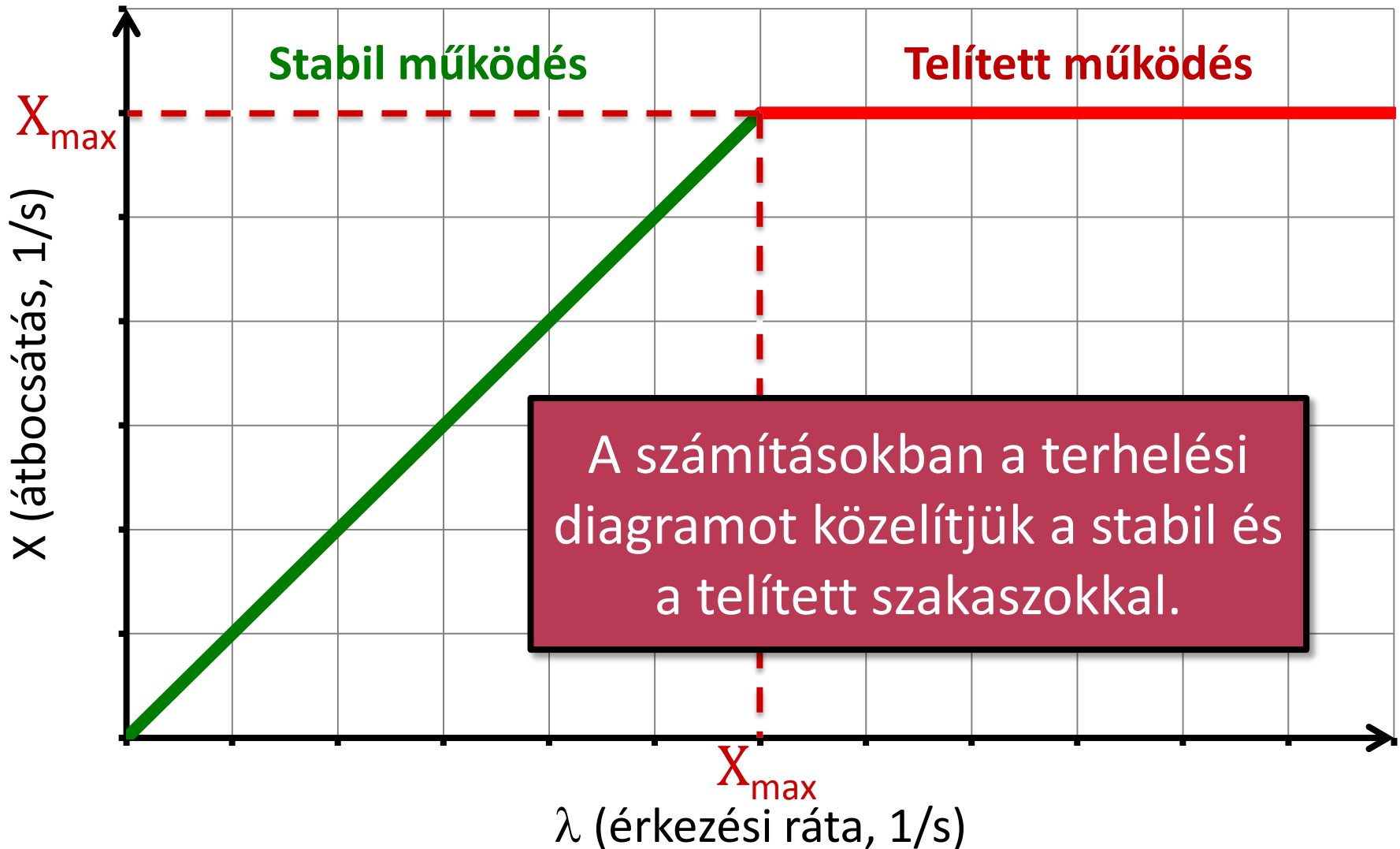
Átbocsátóképesség



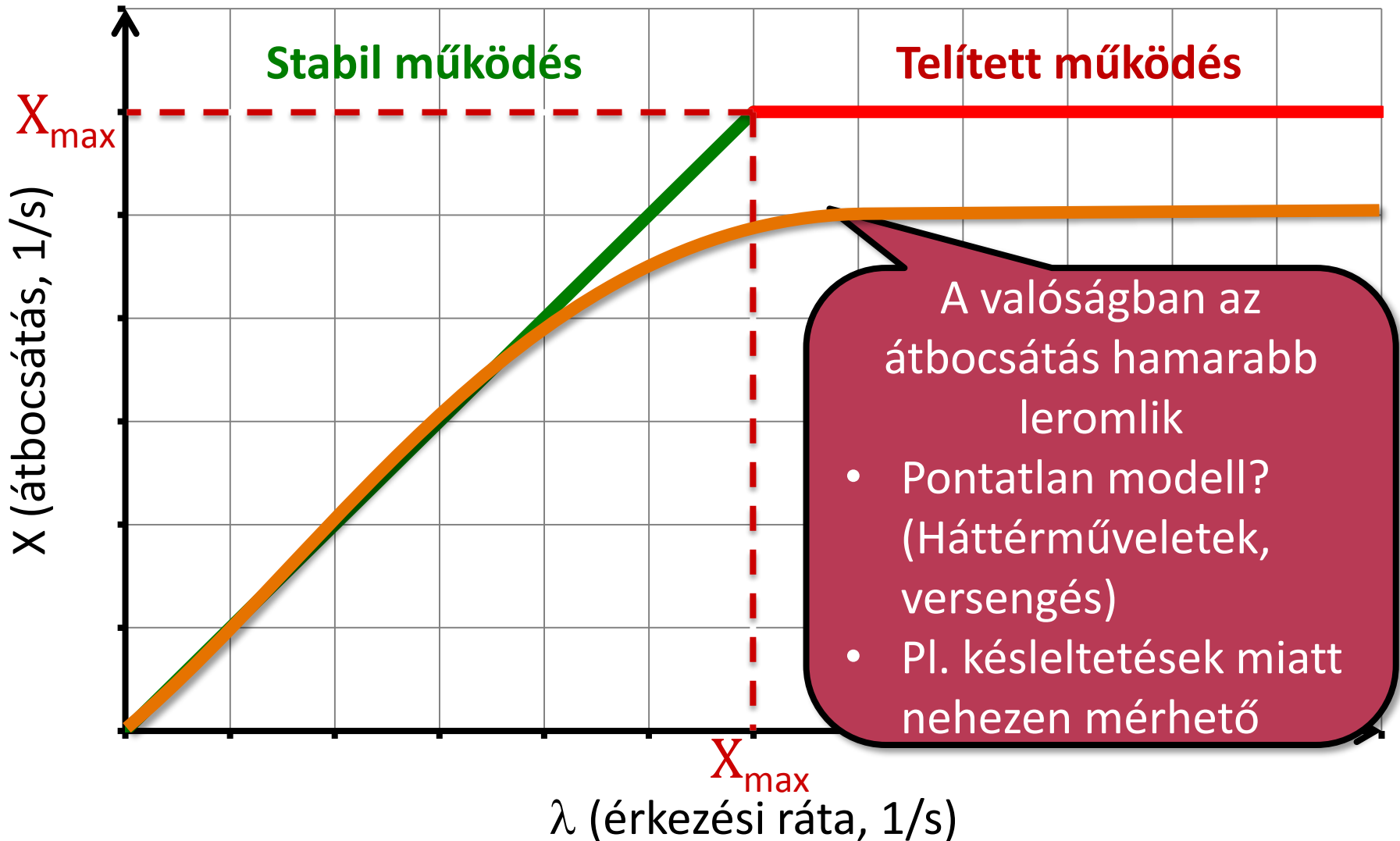
Kihasználtság



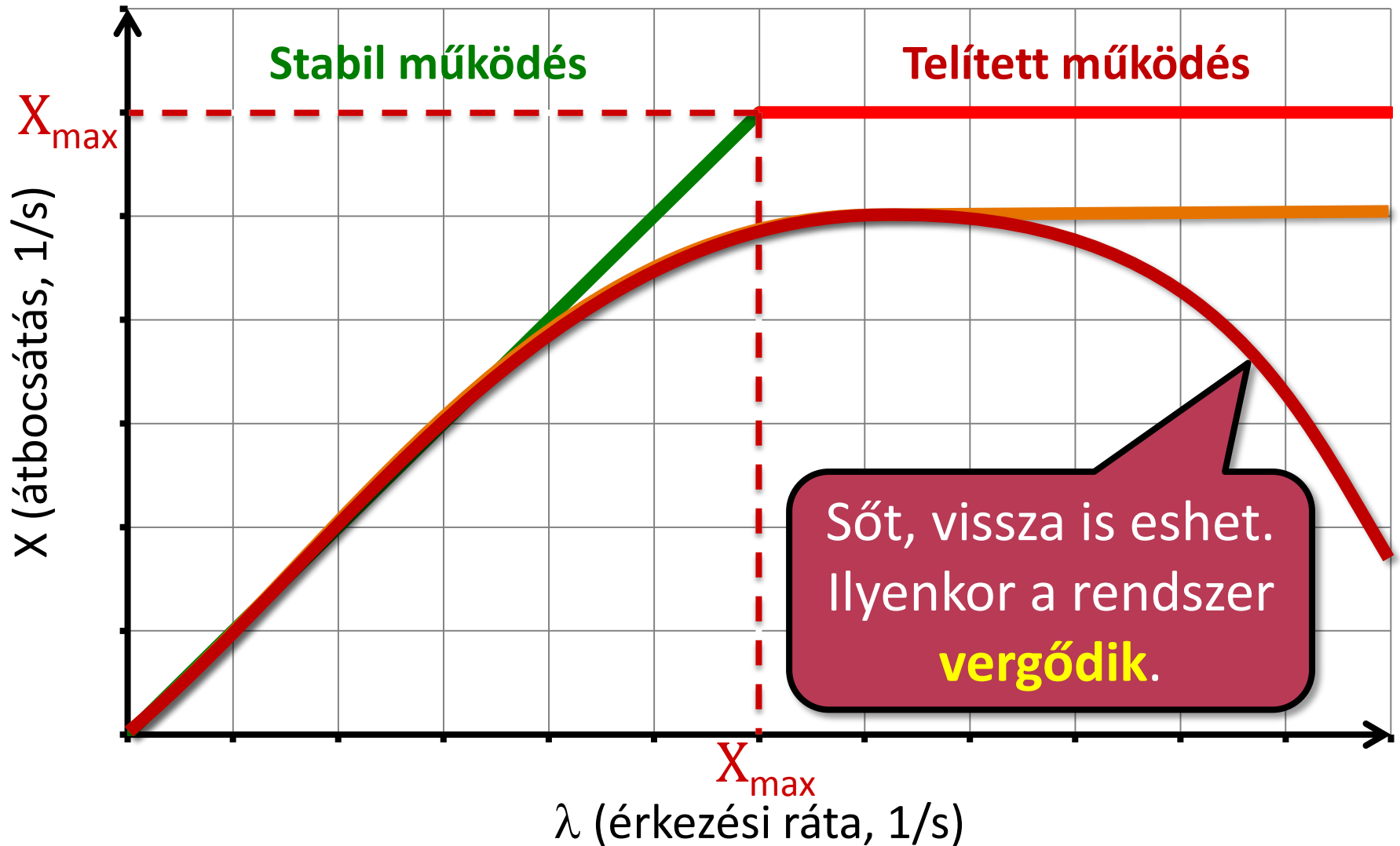
Közelítő terhelési függvény



Valós terhelési diagram

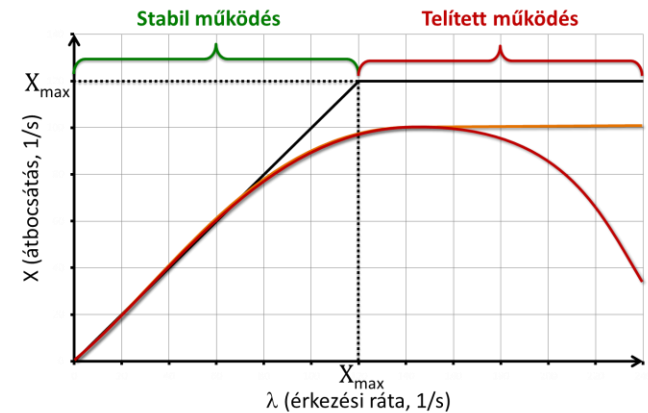


Valós terhelési diagram



A modellben elhanyagolt hatások

- Taszkváltások számításigénye
 - Takarítás az előző után
 - Előkészítés a következőhöz
- Erőforrásváltás számításigénye
- Többszörös telítés
 - Egyszerre több erőforrás (pl. szerver) is telített
 - Pl. ha az M7-esen baleset van, bedugul a 70-es út is



Elriasztott kérések esete

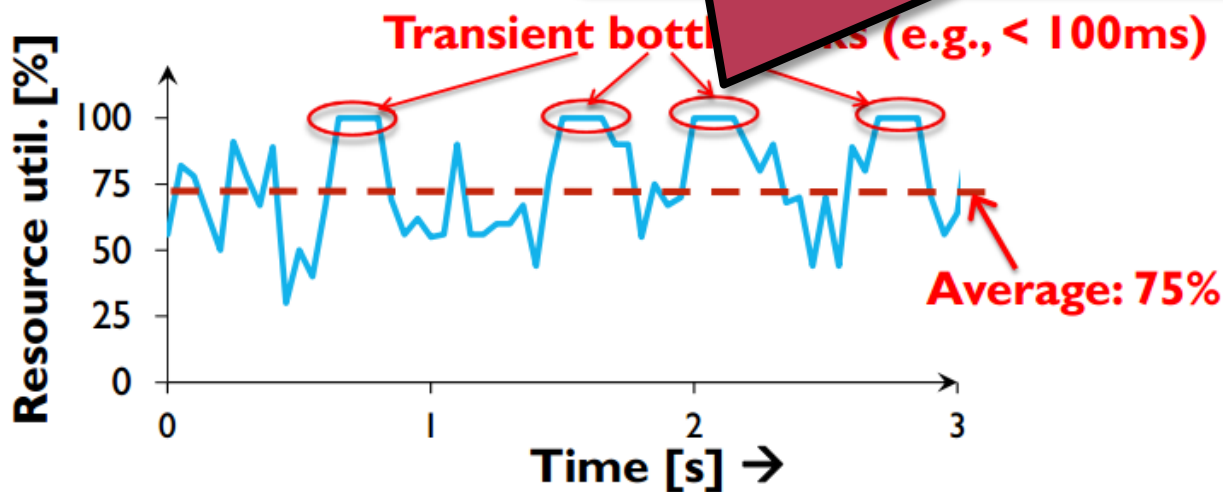
- Az igények csak a fanatikus klienseknél függetlenek a sor hosszától....



A terhelésingadozás hatása

■ Átlagos értékek vs. Valós terhelés

Telített rendszerben a válaszidő **2-3 nagyságrenddel** nagyobb is lehet!



A terhelésingadozás hatása

- **Átlagos értékek vs. Valós terhelés**

Nem érdemes 40-60%-nál nagyobb kihasználtságra tervezni!

Telít... en a
v... renddel

[%]

Average: 75%

Time [s] →

Neptun tárgyfelvétel



Max. egyidejű
felhasználó

Max. egyidejű felhasználó
optimális működés mellett

Az elmúlt időkből előfordultak a következők:

Dátum	Jelleg	Max. felhasználó	Op. felhasználó
2010.11.29 18:00	vizsga	7303	4623
2010.12.22 06:00	tárgy (EO)	831	831
2011.01.10 18:00	tárgy	12062	4837
2011.01.12 18:00	tárgy (EP)	1765	1765
2011.01.31 16:00	tárgy	1519	1519
2011.05.02 18:00	vizsga	2761	2761
2011.06.07 18:00	tárgy	6095	6095
2011.11.28 18:00	vizsga	4897	4897
2012.01.16 18:00	tárgy	8120	5328
2012.01.30 16:00	tárgy	1703	1703
2012.05.02 18:00	vizsga	2603	2603

Neptun tárgyfelvétel



≈ Érkezési ráta (λ)

≈ Átbocsátóképesség (X_{\max})

Az elmúlt időkből előfordultak a következők:

Dátum	Jelleg	Max. felhasználó	Op. felhasználó
2010.11.29 18:00	vizsga	7303	4623
2010.12.22 06:00	tárgy (EO)	831	831
2011.01.10 18:00	tárgy	12062	4837
2011.01.12 18:00	tárgy (EP)	1765	1765
2011.01.31 16:00	tárgy	8333	8333
2011.05.02 18:00	tárgy	8333	8333
2011.06.07 18:00	tárgy	8333	8333
2011.11.28 18:00	vizsga	4897	4897
2012.01.16 18:00	tárgy	8120	5328
2012.01.30 16:00	tárgy	1703	1703
2012.05.02 18:00	vizsga	2603	2603

Nehezen összehasonlítható értékek
(Rendszerfrissítések, kérések intenzitása, ...)

Mikor volt telített (túlterhelt) a Neptun?

Neptun tárgyfelvétel



≈ Érkezési ráta (λ)

≈ Átlagos várakozási idő (X_{max})

Az elmúlt időkből előfordultak a következők:

Dátum	Jelleg		
2010.11.29 18:00	vizsga		
2010.12.22 06:00	tárgy felvétel		
2011.01.10 18:00			
2011.01.12 18:00			
2011.01.31 18:00			
2011.02.02 18:00			2761
2011.02.04 18:00			6095
2011.11.29 18:00			4897
2012.01.31 18:00			5328
2012.01.30 18:00		1703	1703
2012.05.02 18:00		2603	2603

A túlterhelt rendszer teljesítménye drasztikusan leeshet, akár össze is omolhat!

Mikor volt túlterhelt (túlterhelt) a Neptun?

Neptun tárgyfelvétel



≈ Érkezési ráta (λ)

≈ Átbocsátóképesség (X_{\max})

Az elmúlt időkből előfordultak a következők:

Dátum	Jelleg	Max. felhasználó	Op. felhasználó
2010.11.29 18:00	vizsga	7303	4623
2010.12.22 06:00	tárgy (EO)	831	831
2011.01.10 18:00	tárgy	12062	4837
2011.01.12 18:00	tárgy (EP)	1765	1765
2011.01.31 16:00	tárgy	1519	1519
2011.05.02 18:00	vizsga	2761	2761
2011.06.07 18:00	tárgy	6095	6095
2011.11.28 18:00	vizsga	4897	4897
2012.01.16 18:00	tárgy	8120	5328
2012.01.30 16:00	tárgy	17	
2012.05.02 18:00	vizsga	26	

Jól konfigurált
szerverek, megfelelő
terhelésméretezés!

Neptun tárgyfelvétel

NEPTUN

Ugyanez az alapja
a DDoS elleni
védekezésnek is

Átlag (λ)

≈ Átlag

terheltség (X_{max})

Az

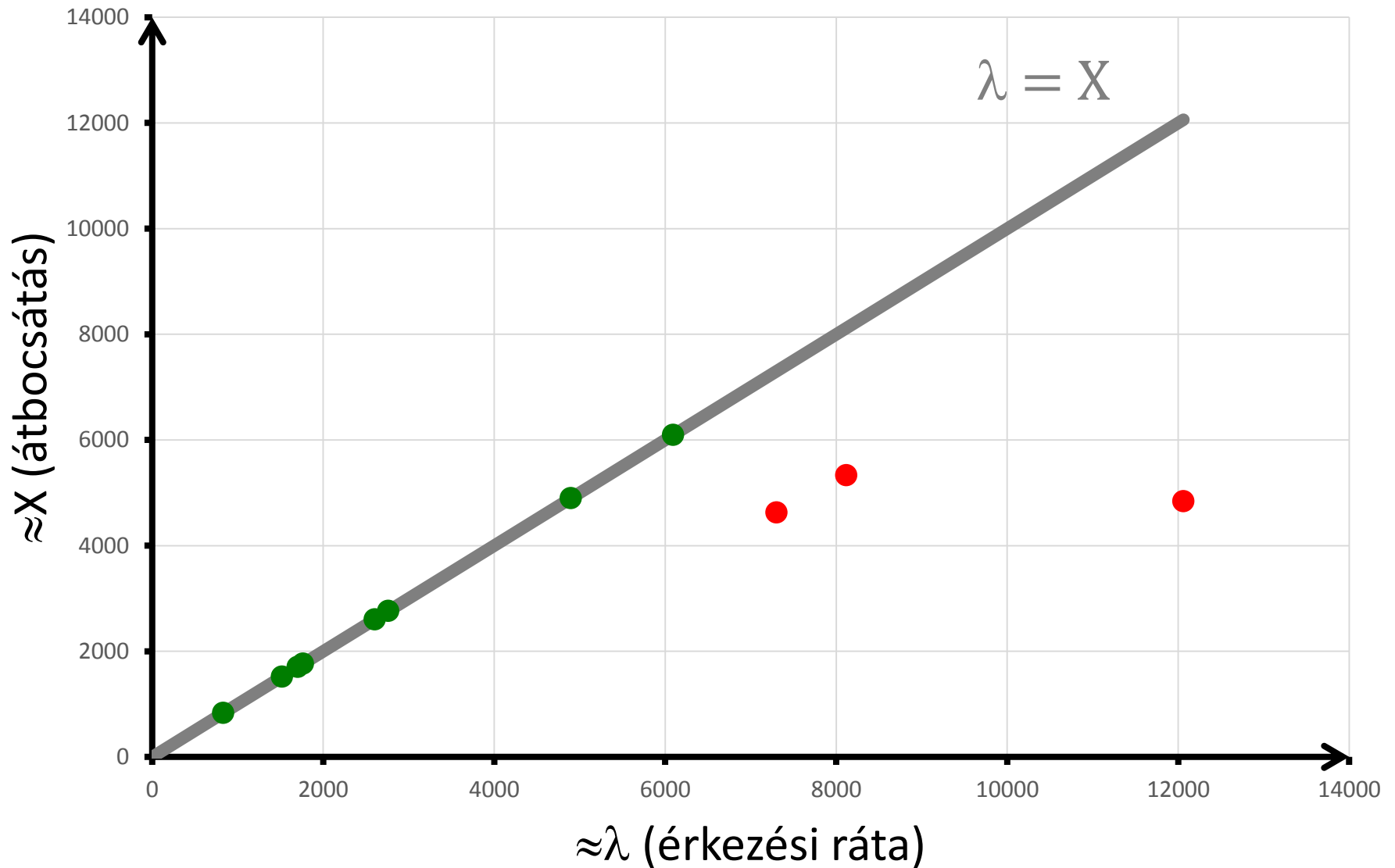
ma

Dátum
2010.11.29 18:00	vizsga		
2010.12.22 06:00	tárgy /		
2011.01.10 18:00			
2011.01.12 18:00			
2011.01.31 18:00			
2011.05.02 18:00			2761
2011.06.02 18:00			6095
2011.11.28 18:00			4897
2012.01.16 18:00			5328
2012.01.30 16:00		17	
2012.05.02 18:00		26	

**A létszámkorlátos megoldás
célja egyensúlyi állapotban
tartani a rendszert**

Jól konfigurált
szerverek, megfelelő
terhelésméretezés!

Előzetes: Adatvizualizáció



Alapfogalmak

Terhelési diagram

Erőforrásmodellezés

Folyamatmodellek elemzése

A Little-törvény

ERŐFORRÁSMODELLEZÉS

Miből származik az átbocsátás korlátja?

Példa: ZH javítás

- Egy hallgató dolgozatának kijavítása **15 perc**
- **Egy** javító óránként hány dolgozattal végez?

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1 \text{ ZH}}{15 \text{ perc}} = 4 \frac{\text{ZH}}{h}$$

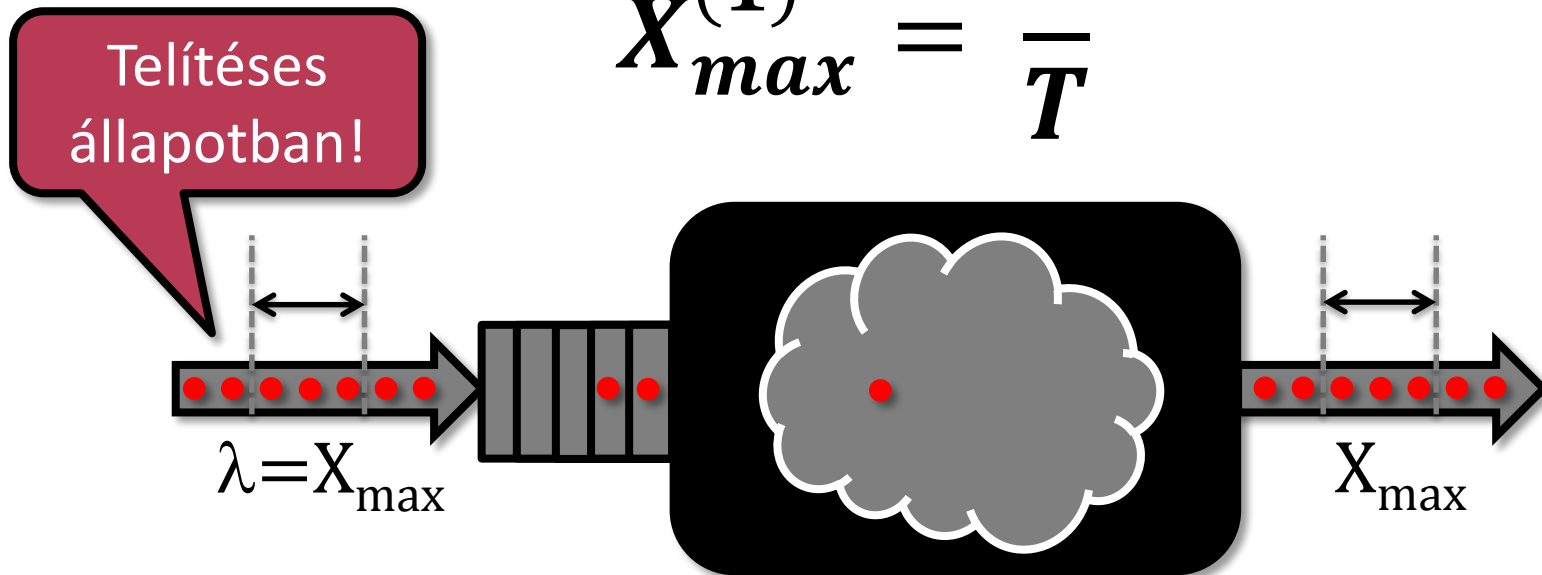
- És **nyolc** javító?

$$X_{max}^{(8)} = 8 \times X_{max}^{(1)} = 8 \times \frac{1 \text{ ZH}}{15 \text{ perc}} = 32 \frac{\text{ZH}}{h}$$

Kizárólagos erőforrás törvénye

- Ha a kérések közül egyszerre **legfeljebb egy** futhat
 - Pl. egyetlen szerver futtatja őket, azonos változót írnak
 - A többi kérés **sorban áll**
- Ekkor T az **átlagos végrehajtási idő** mellett:

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1}{T}$$



Kizárólagos erőforrás törvénye

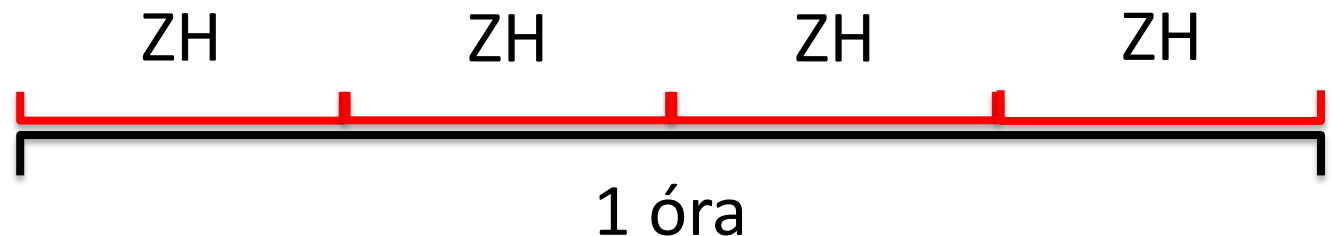
- Ha a kérések közül egyszerre **legfeljebb egy** futhat
 - Pl. egyetlen szerver futtatja őket, azonos változót írnak
 - A többi kérés **sorban áll**
- Ekkor T az **átlagos végrehajtási idő** mellett:

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1}{T}$$

„Hány végrehajtás fér bele egy egységnyi időbe?”

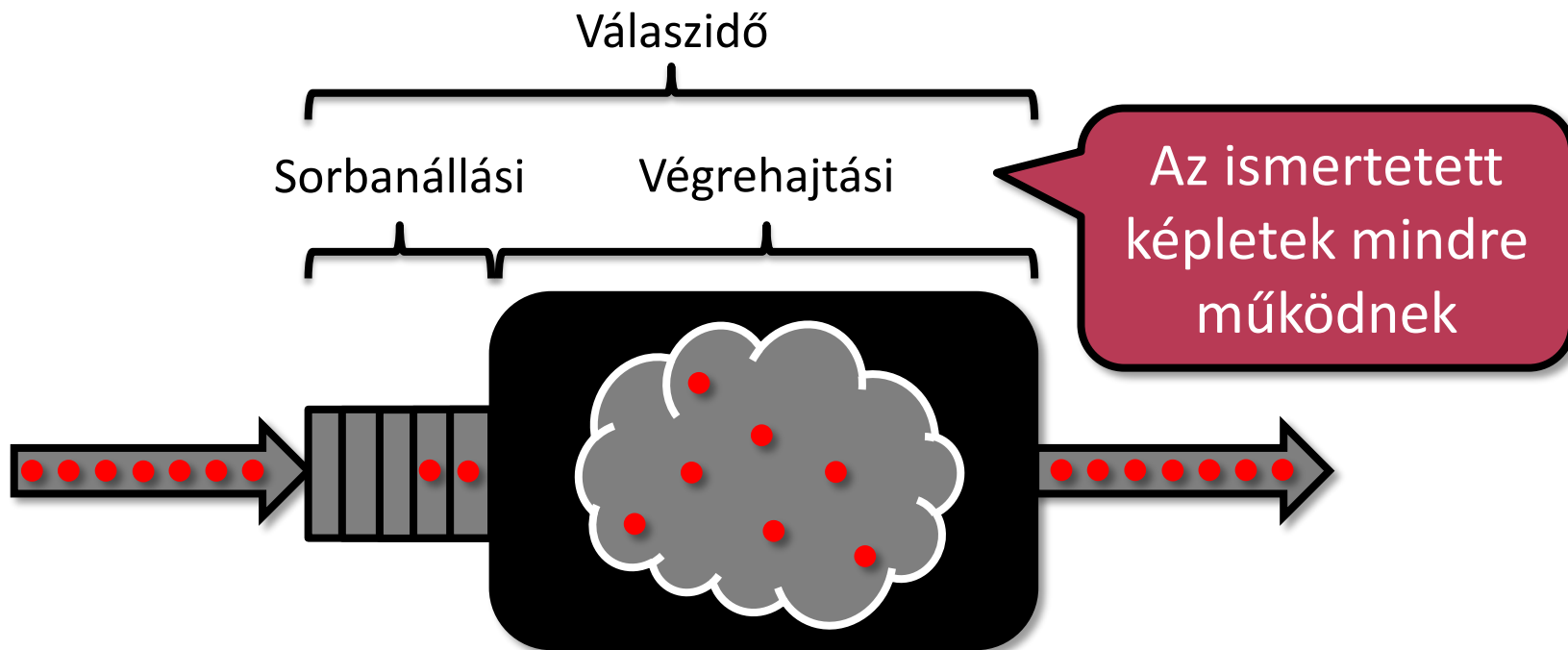
$$T_{ZH} = 15 \text{ perc}$$

$$X_{max} = 4 \frac{1}{h}$$



Mérhető idők

- **Sorbanállási idő:** várakozás erőforrásra
- **Végrehajtási idő:** kérés feldolgozása
- **Válaszidő:** Sorbanállási + végrehajtási



Kizárólagos erőforrás kihasználtsága

- Kihasználtság:

„Az átbocsátás és az átbocsátóképeség aránya”

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1}{T} \Rightarrow X_{max}^{(1)} \times T = \mathbf{1}$$

Kizárólagos erőforrás kihasználtsága

- Kihasználtság:

„Az átbocsátás és az átbocsátóképesség aránya”

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1}{T} \Rightarrow U = X / X_{max}^{(1)} = X \times T$$

- A kihasználtság képlete tehát:

$$U = X \times T$$

- Intuitíven:

„Az egységnyi idő alatt beérkező X taszk végrehajtása T végrehajtási idővel az egységnyi idő hányadrészét teszi ki?”

Kizárólagos erőforrás kihasználtsága

- Kihasználtság:

„Az átbocsátás és az átbocsátókéesség aránya”

$$X_{max}^{(1)} = \frac{1}{T} \Rightarrow U = X / X_{max}^{(1)} = X \times T$$

- A kihasználtság képlete tehát:

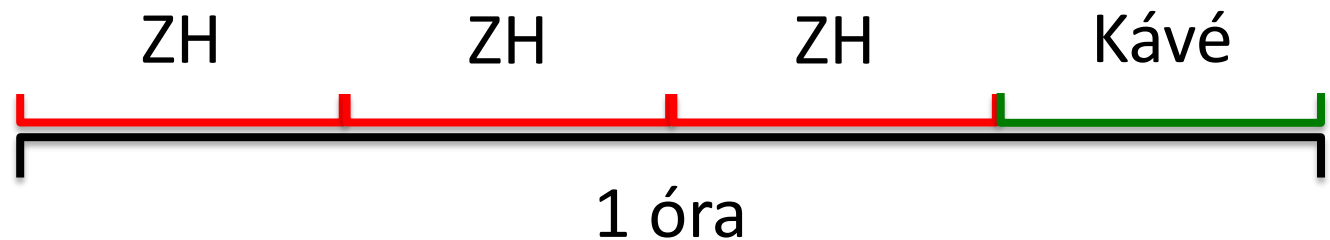
$$U = X \times T$$

- Intuitíven:

$$X = 3 \frac{1}{h}$$

$$T_{ZH} = 15 \text{ perc}$$

$$U = 75\%$$



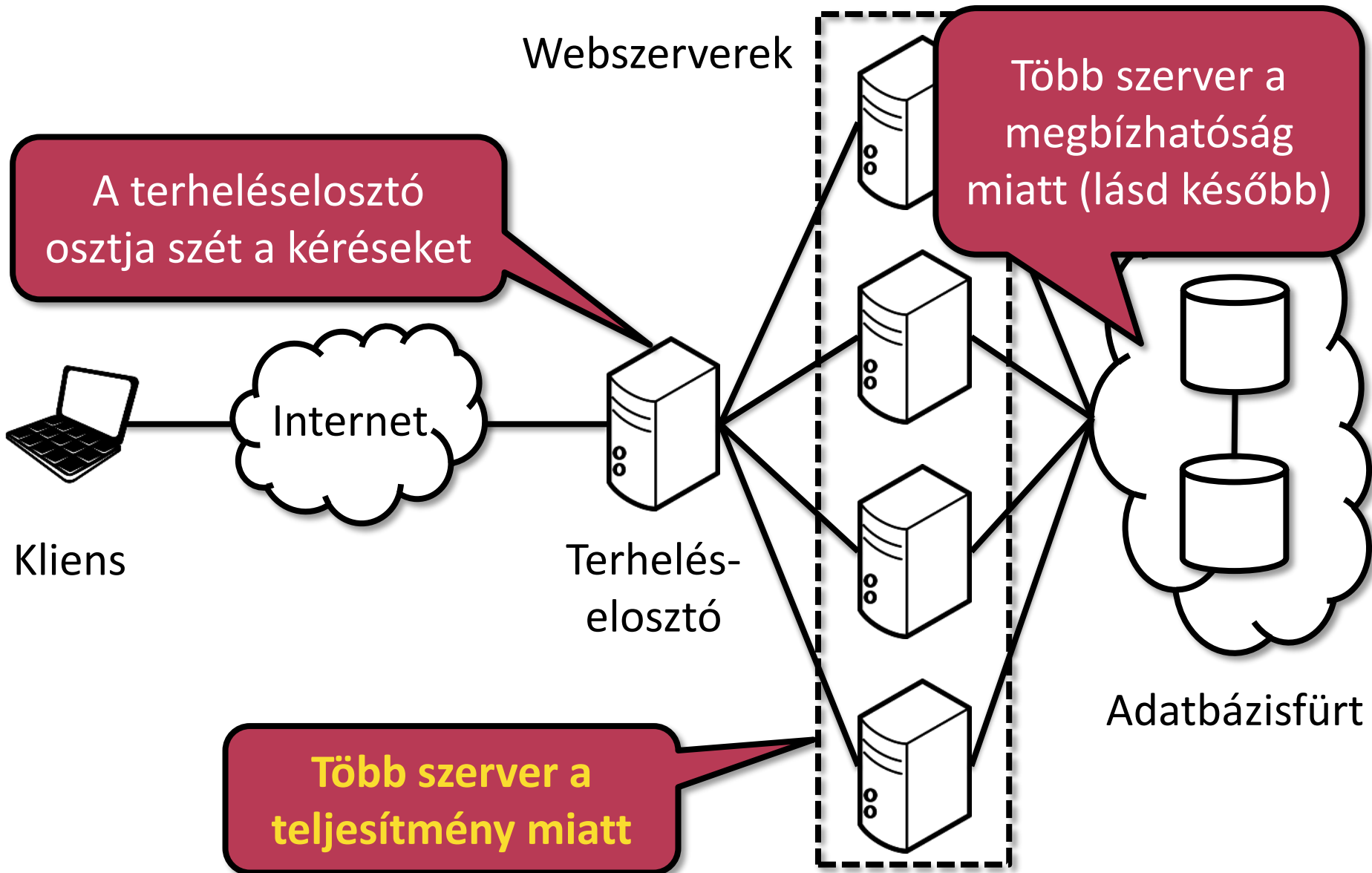
Kitekintés: skálázás

- **Vertikális skálázás** (Scale-up):
 - A feldolgozóegység **teljesítményét** növeljük
 - Pl. erősebb CPU, több RAM
 - Egyszerű és nagyszerű 😊
 - Technológiai korlátok ☹️
- **Horizontális skálázás** (Scale-out):
 - A feldolgozóegységek **számát** növeljük
 - Pl. több CPU mag, több szerver
 - Elvileg korlátlanul növelhető 😊
 - Plusz bonyolultság ☹️

Slace-out a hétköznapiakban



Scale-out a Neptunban



K erőforráspéldány használata

- Ha az összes kérés közül egyszerre **legfeljebb K** futhat
 - Pl. K darab fürtözött szerver futtathatja őket
 - A többi folyamatpéldány **sorban áll**
- Ekkor:
 - Legyen T az **átlagos végrehajtási idő**

$$X_{max}^{(K)} = K \times X_{max}^{(1)} = \frac{K}{T}$$

K erőforráspéldány használata

- Ha az összes kérés közül egyszerre **legfeljebb K** futhat
 - Pl. K darab fürtözött szerver futtathatja őket
 - A többi folyamat
- Ekkor:
 - Legyen T az átlag

Több erőforráspéldánnyal és párhuzamosítással a rendszer **skálázható**.

$$X_{max}^{(K)} = K \times X_{max}^{(1)} = \frac{K}{T}$$

Vízvezeték analógia

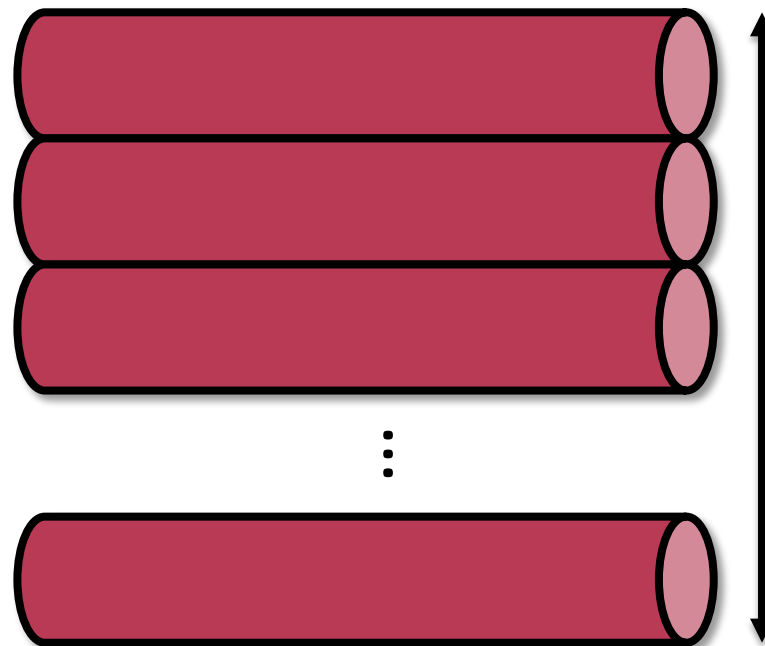
Egyetlen kizárólagos erőforráspéldány



Átbocsátóképesség:

$$X_{max}^{(1)}$$

K szabadon választható erőforráspéldány



Átbocsátóképesség:

$$X_{max}^{(K)} = K \times X_{max}^{(1)}$$

K erőforráspéldány kihasználtsága

- Az előző gondolatmenet analógiájára:

$$X_{max}^{(K)} = \frac{K}{T} \Rightarrow X_{max}^{(K)} \times T = \textcircled{K} ?$$

K erőforráspéldány kihasználtsága

- Az előző gondolatmenet analógiájára:

$$X_{max}^{(K)} = \frac{K}{T} \Rightarrow U = X / X_{max}^{(K)} = \frac{X \times T}{K}$$

- A kihasználtság képlete ebben az esetben:

$$U = \left(\frac{X}{K} \right) \times T$$

- Intuitíven:

„K időegység hányadrészében dolgozna 1 példány?”

„Az **egy példányra eső átlagos átbocsátás** mellett mekkora egy erőforráspéldány kihasználtsága?”

K erőforráspéldány kihasználtsága

- Az előző gondolatmenet analógiájára:

$$X_{max}^{(K)} = \frac{K}{T} \Rightarrow U = X / X_{max}^{(K)} = \frac{X \times T}{K}$$

- A kihasználtság képlete ebben az esetben:

$$U = \frac{X}{K} \times T$$

- Intuitíven:

$$X = 5 \frac{1}{h}$$

$$T_{ZH} = 15 \text{ perc}$$

$$U = 62,5\%$$



Összefoglalás

■ Egyensúlyi állapot:

- Átlagos értékekkel számolunk
- $\lambda = X$ (érkezési ráta = átboocsátás)

■ Átboocsátóképesség:

- Az elérhető maximális átboocsátás
- $X_{\max} = \frac{K}{T}$ (K erőforráspéldány esetén)

■ Kihasználtság:

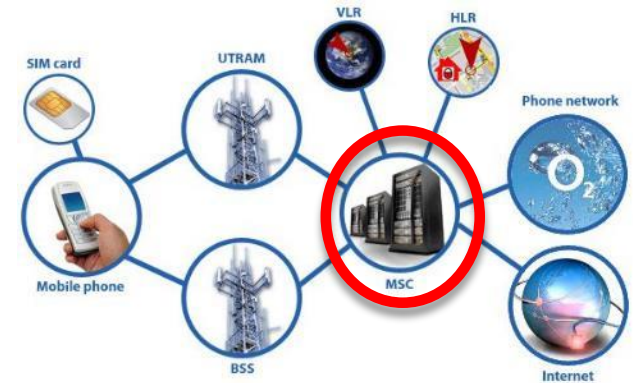
- Az átboocsátás és az átboocsátóképesség aránya
- $U = \frac{X}{K} \times T$ (K erőforráspéldány esetén)

ESETTANULMÁNY

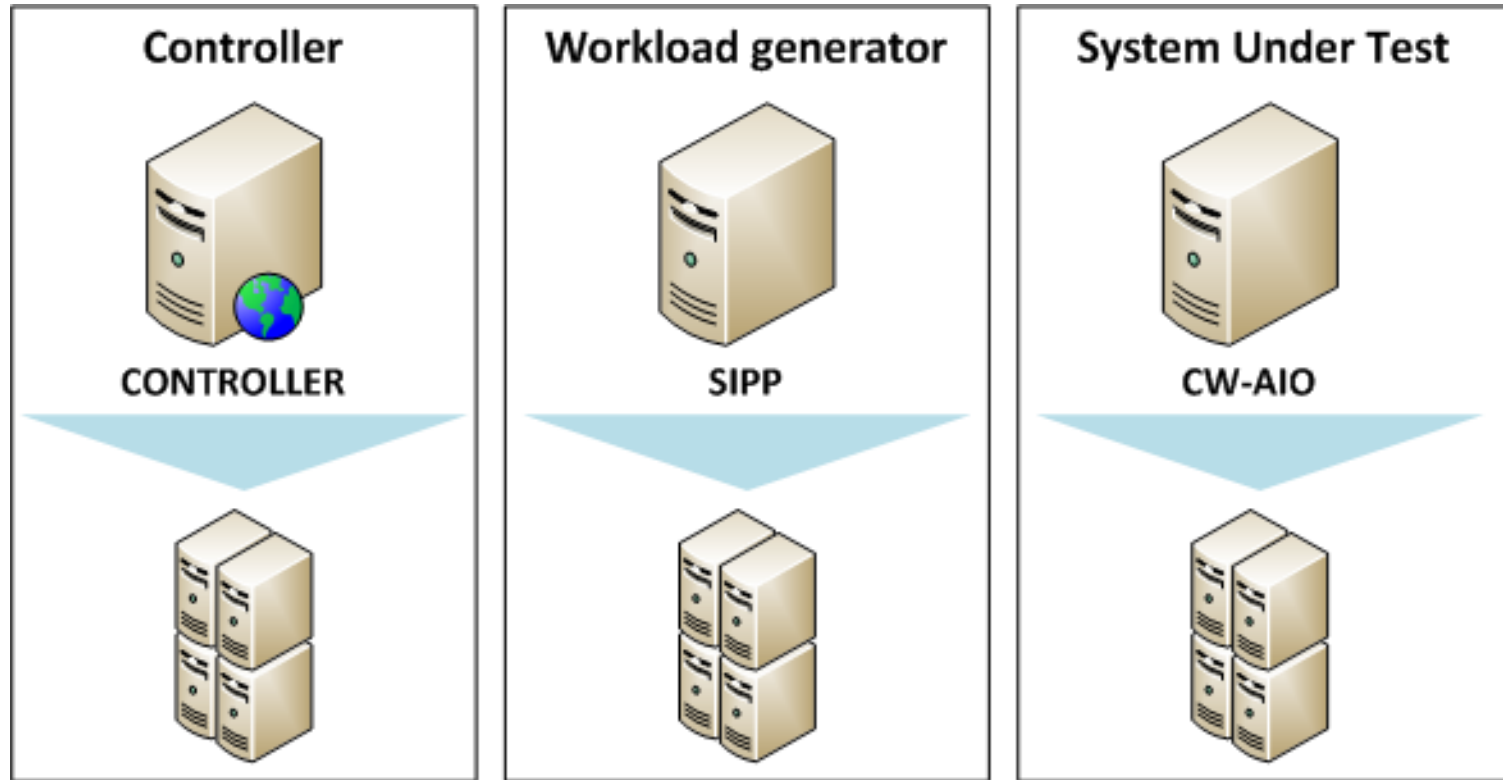


Felhő alapú szolgáltatások

- Telekommunikációs szolgáltatások felhőben
- Az alkalmazásnak működni kell...
 - Mit mérjük? Mire számítsunk?
- Migrálás, hibatűrés támogatása
- Környezet változhat
- Mikor hibás a rendszer?
 - Kritikus szolgáltatásoknak működniük kell
- Ritka események...



Példa: digitális “telefonközpont”



(Clearwater IMS)

Példa: terhelés vs. kihasználtság

Kiugró értékek/
Háttérműveletek?

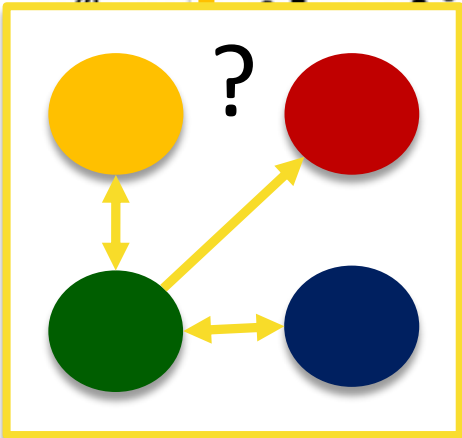
Eltérések?

Lineáris
kapcsolat

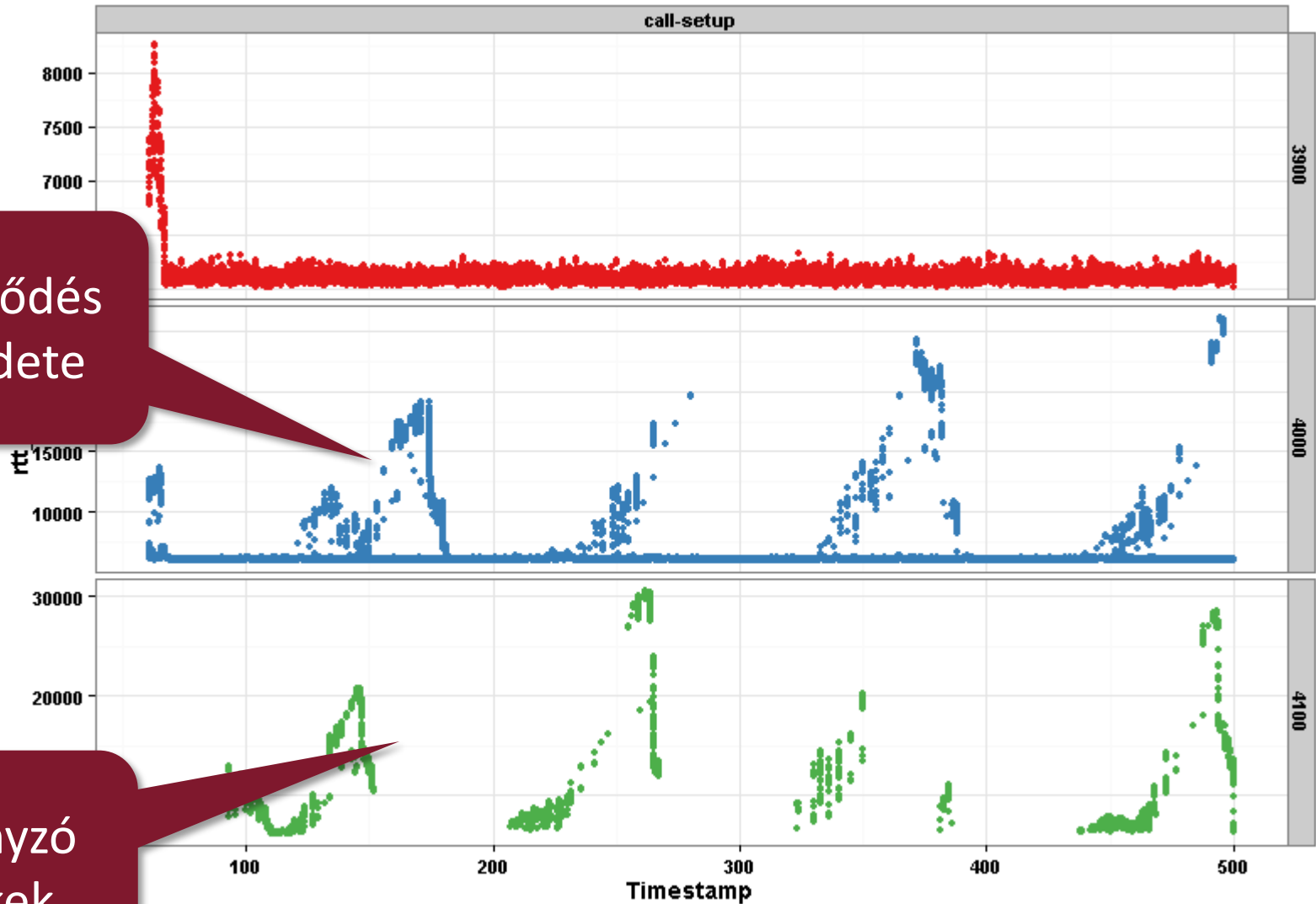
Nagy terhelésnél
nem jósolható
működés

stat.cpu0_usage.usr

000 2000 3000
as.factor(WORKLOAD)



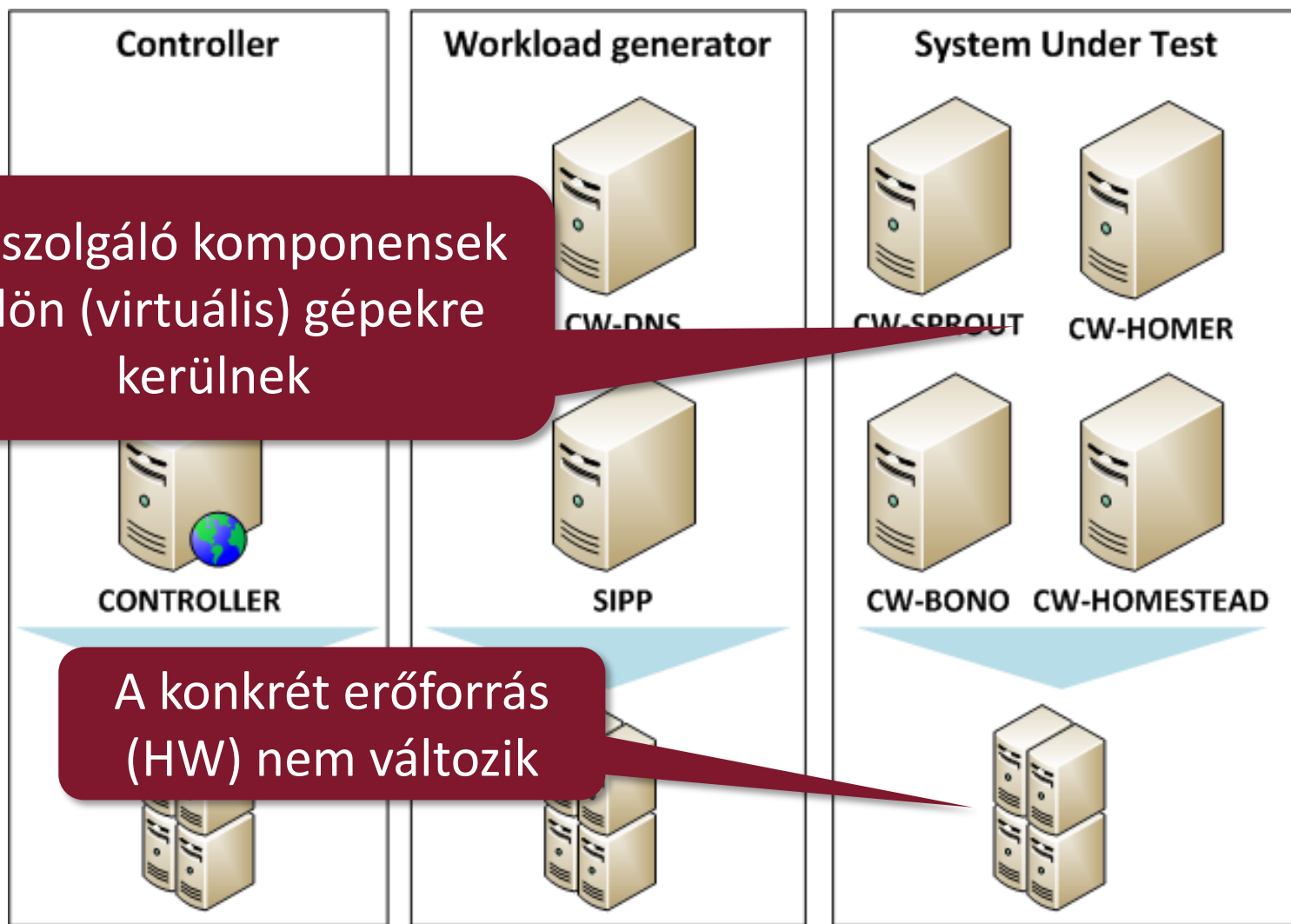
Idősorelemzés



Vergődés
kezdete

Hiányzó
értékek...

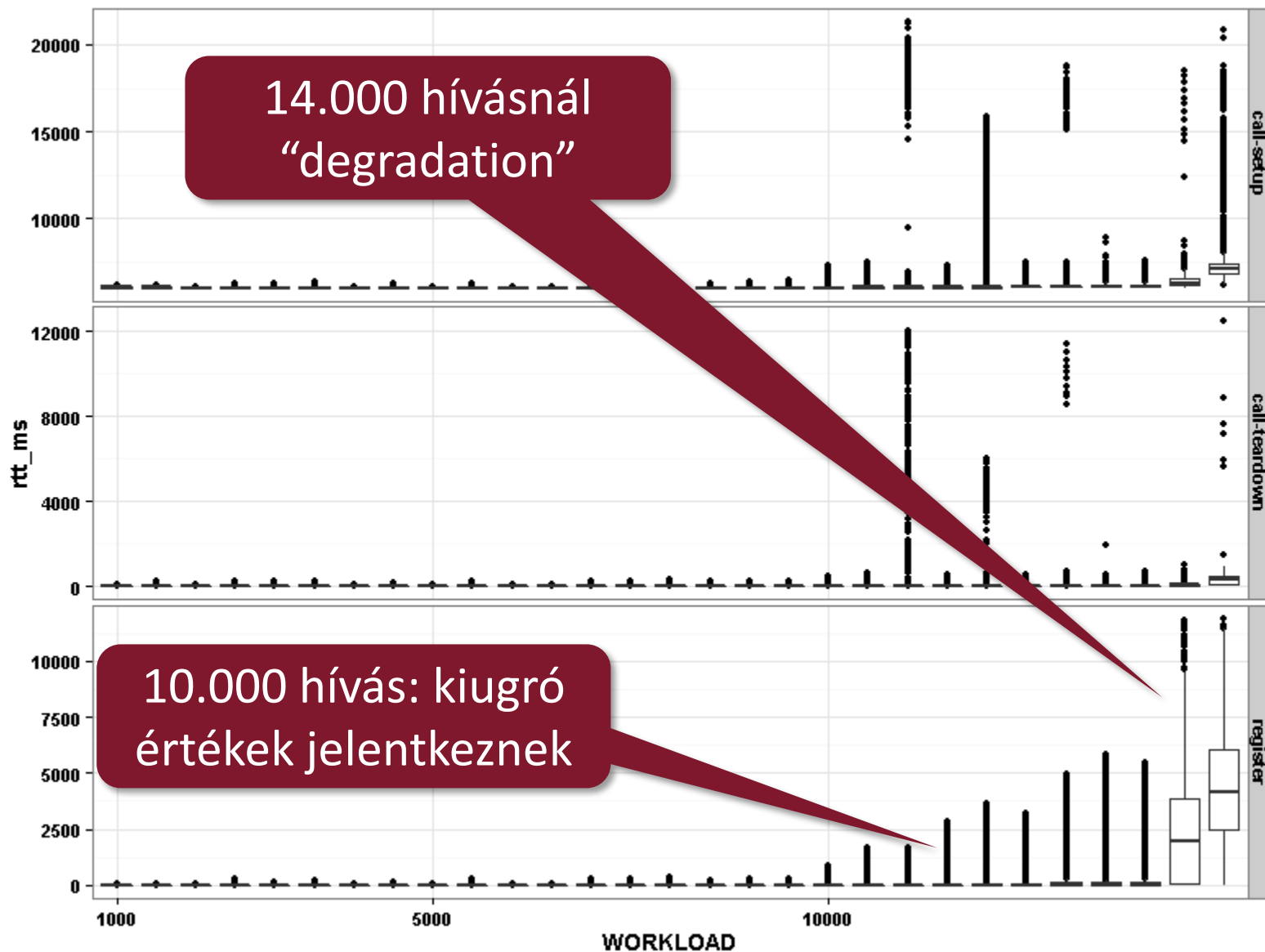
Osszuk szét a feladatokat!



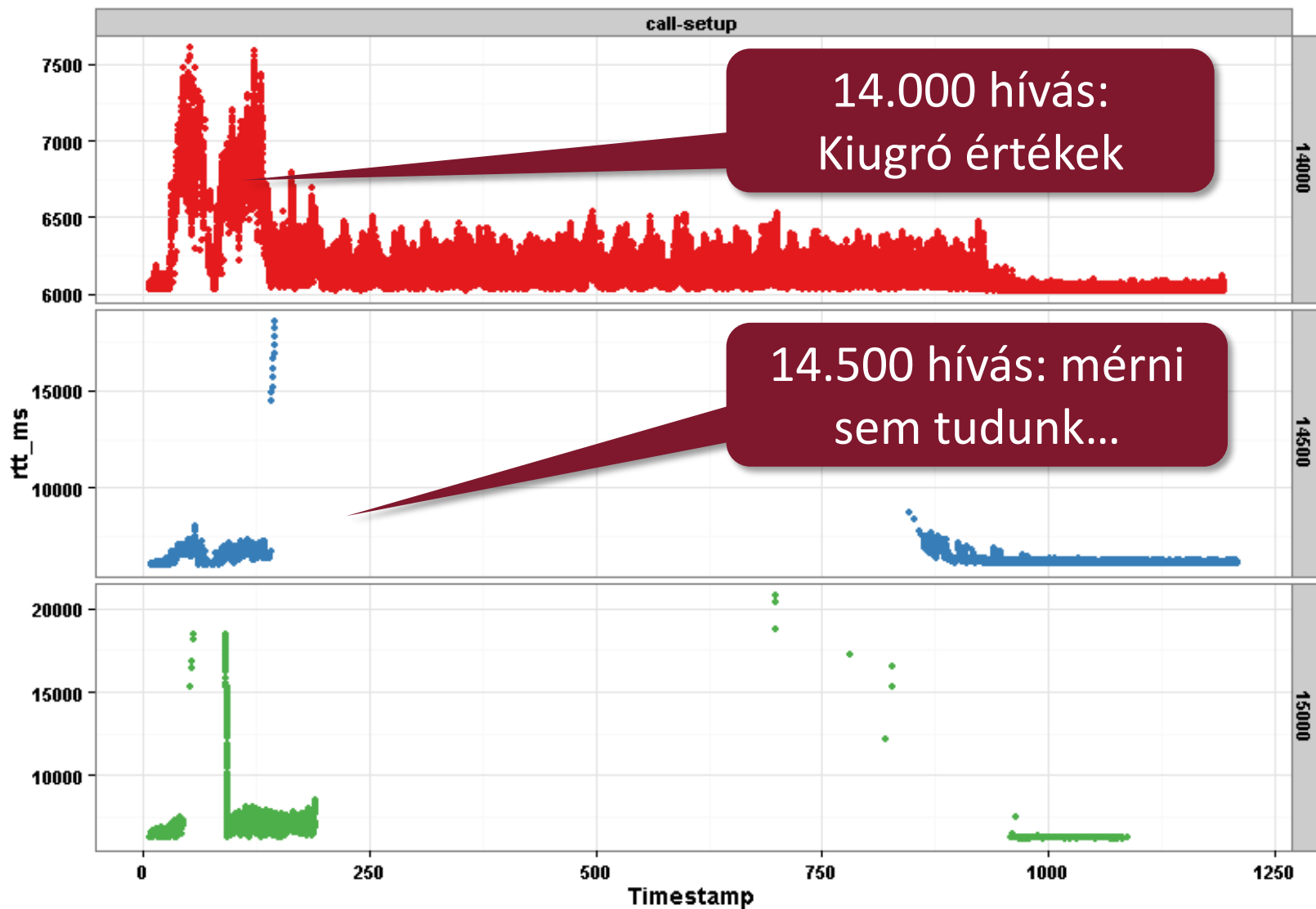
A kiszolgáló komponensek külön (virtuális) gépekre kerülnek

A konkrét erőforrás (HW) nem változik

Válaszidő alakulása különböző műveletekre



Idősor elemzés



Tanulságok

- Az elvi teljesítménymodell elemeit a gyakorlatban nehéz meghatározni
- Az erőforrások skálázásának az alkalmazások is korlátot szabnak
- Az időbeli változás szerepe kritikus
- Sok változó, sok mérés → adatelemzés
 - Ld. később...