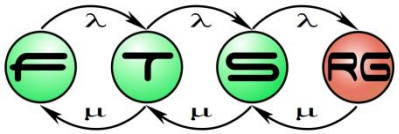
Modellek ellenőrzése

Rendszermodellezés

Budapest University of Technology and Economics
Fault Tolerant Systems Research Group



Ariane 5 hordozórakéta

- A legerősebb európai hordozórakéta

Ariane 5 hordozórakéta

- 1996. június 4-én 37 másodperccel a kilövés után megsemmisítette magát (F-501)
  - A szállított négy műhold is megsemmisült
  - $370 milliós kár

Ariane 5 hordozórakéta

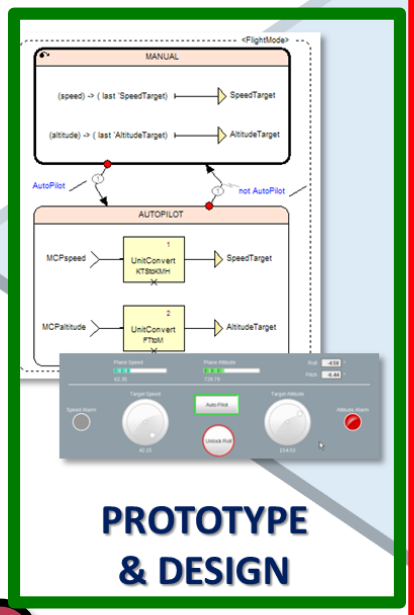
- 1996. június 4-én 37 másodperccel a kilövés után megsemmisítette magát (F-501)
  - A szállított négy műhold is megsemmisült
  - $370 milliós kár
- A világ (egyik) legdrágább szoftverhibája
  - Elsődleges ok:

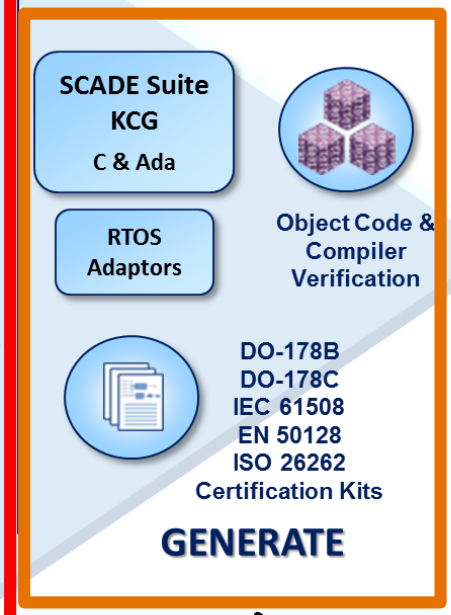
    64 bites szám sikertelen konverziója 16 bitesre
  - Másodlagos ok:

    Soha nem tesztelték együtt a modulokat

    (+előző verzió tervezői döntései, követelmények rossz értelmezése)

Példa: Esterel SCADE





Modellek ellenőrzése

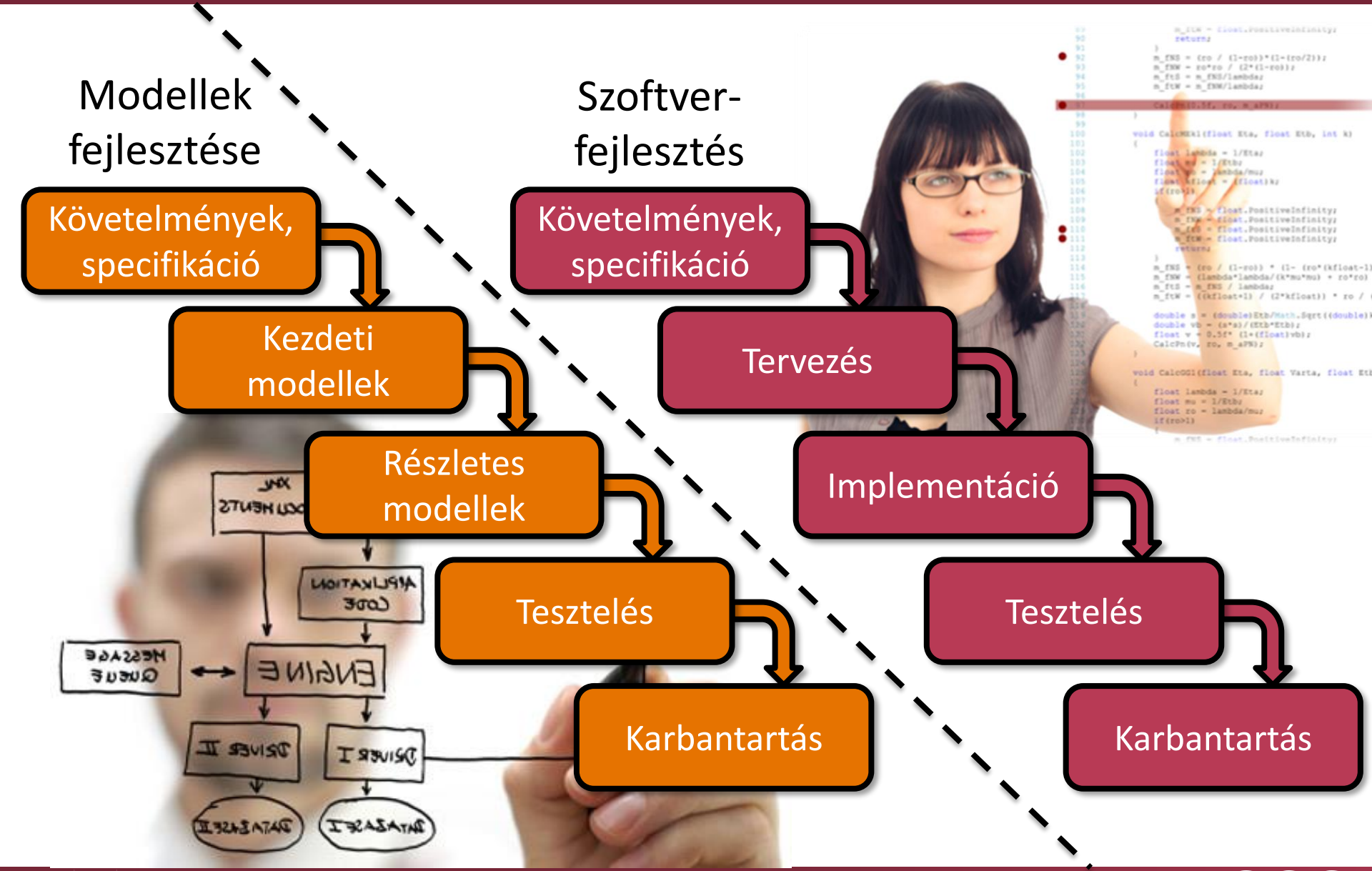
- **Specifikáció**
- **Modellek**
- **Ellenőrzés**
- **Generálás**

Repülőgép, kritikus beágyazott rendszer, autó

Tartalom

- Alapfogalmak
- Statikus ellenőrzés
- Tesztelés
- Formális verifikáció

Motiváció: modellek életciklusa



Kódgenerálás esetén

Modellek fejlesztése

Szoftver-fejlesztés

Követelmények, specifikáció

Kezdeti modellek

Ré

Követelmények, specifikáció

Implementáció

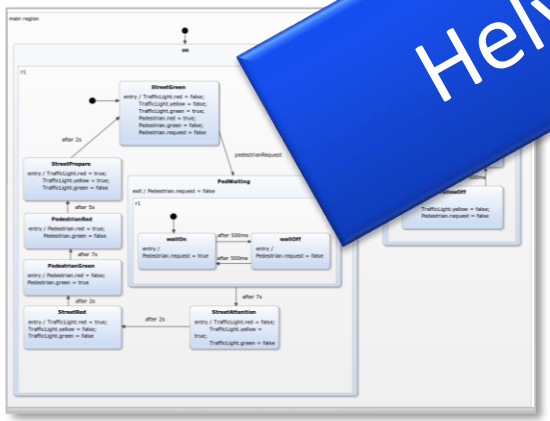
Tesztelés

Tesztelés

Karbantartás

Karbantartás

Helyes modell, helyesebb kód



ALAPFOGALMAK

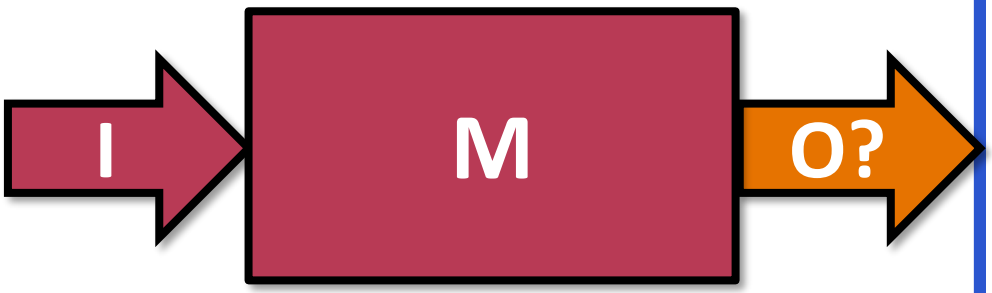
Modellek és feladatok

- Szintézis:

  Specifikációnak megfelelő modell?

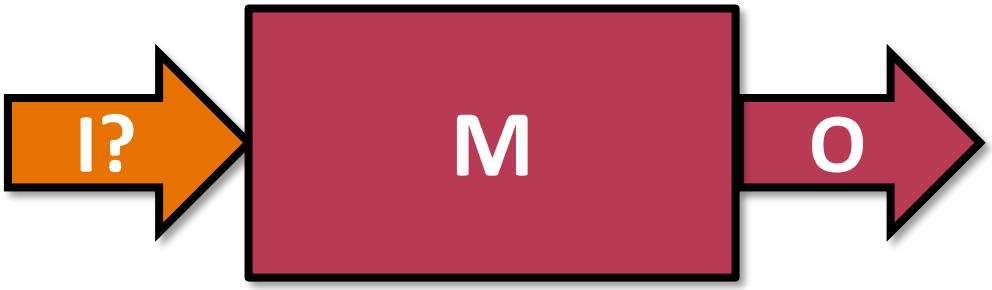
- Analízis:

  Modell viselkedése?



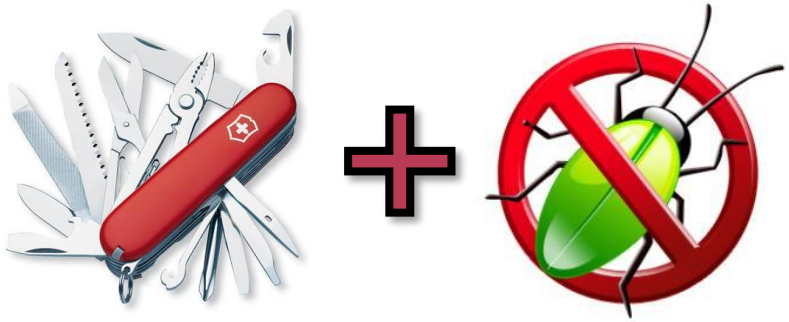
- Vezérlés:

  Kívánt állapot hogy érhető el?



Helyesség

- **Helyesség:**
  modell vagy kód megfelelése a követelményeknek.
  - **Funkcionális helyesség:**
    megfelelés a funkcionális követelményeknek
  - Nemfunkcionális követelmények ellenőrzése:
    lásd teljesítménymodellezés előadás
- **Szempontok:**
  - Mindig képes teljesíteni a feladatot
  - Hibamentes
  - Nincs tiltott viselkedés



Funkcionális követelmények csoportosítása

- **Megengedett** viselkedés:
  - Milyen állapotokban lehet/nem lehet a rendszer
  - Milyen viselkedés tilos
  - Univerzális követelmények
    - Mindig igaznak kell lenniük
- **Elvárt** viselkedés:
  - Milyen állapotokba kell tudni eljutni
  - Milyen funkciókat kell tudnia a rendszernek
  - Egzisztenciális követelmények
    - Lehessen lehetőség a teljesülésükre

Funkcionális követelmények csoportosítása

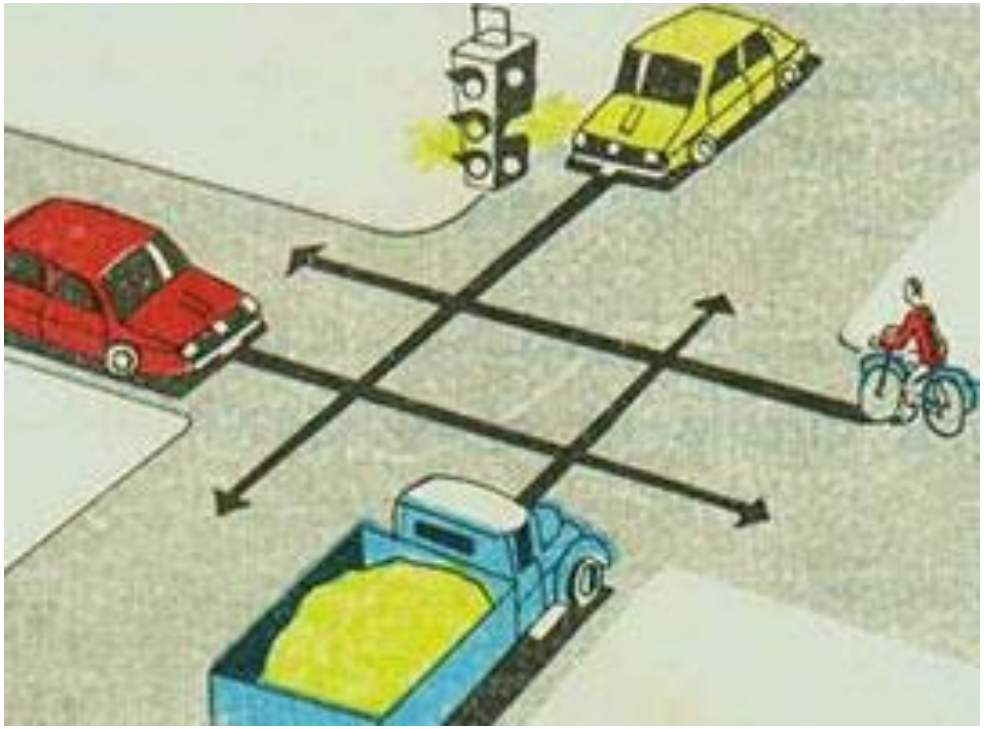
- **Megengedett** viselkedés:
  - Milyen állapotokban
  - Milyen viselkedés tilos
  - Univerzális követelmények
    - Mindig igaznak kell lenniük
- **Elvárt** viselkedés:
  - Milyen állapotokba
  - Milyen funkciókat kell tud
  - Egzisztenciális követelménye
    - Lehessen lehetőség a teljesül

„Egy kereszteződés lámpái **soha nem lehetnek** egyszerre zöldek.”

„A lámpa **legyen képes** zöldre váltani.”

Holtpont

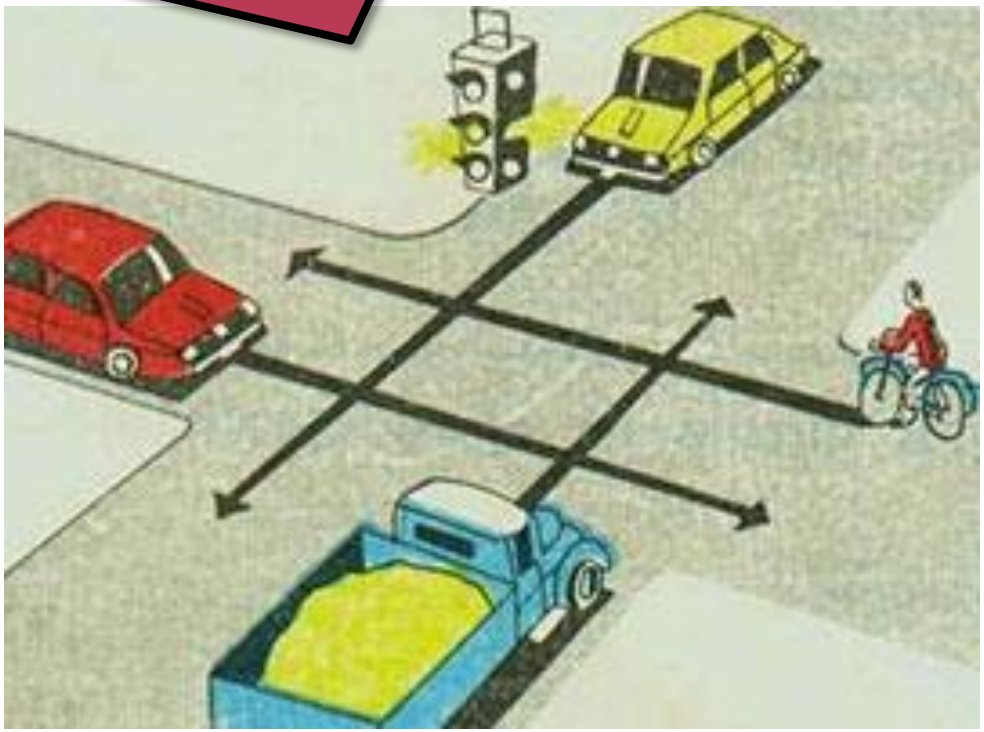
- Beragadt **állapot**:
  a rendszer csak külső segítséggel képes kilépni.
  - Pl. egymásra várakozó folyamatok miatt



Holtpont (deadlock)

- „Útkereszteződésben - ha közúti jelzésből vagy forgalmi szabályból más nem következik - a jobbról érkező járműnek van elsőbbsége.” (1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről)

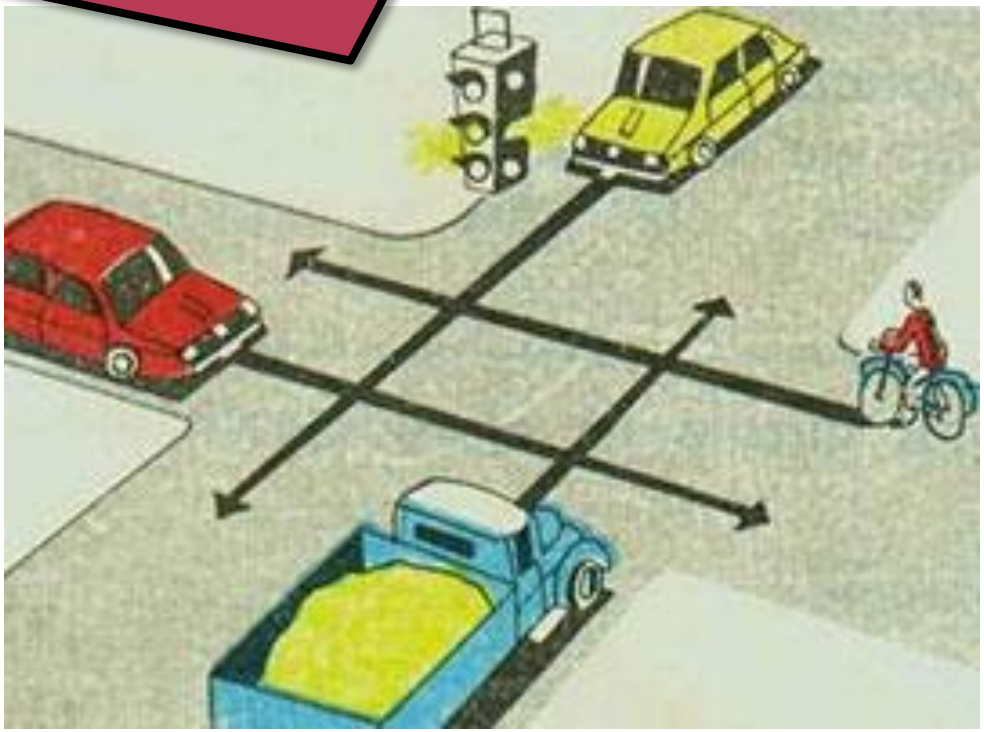
?



?

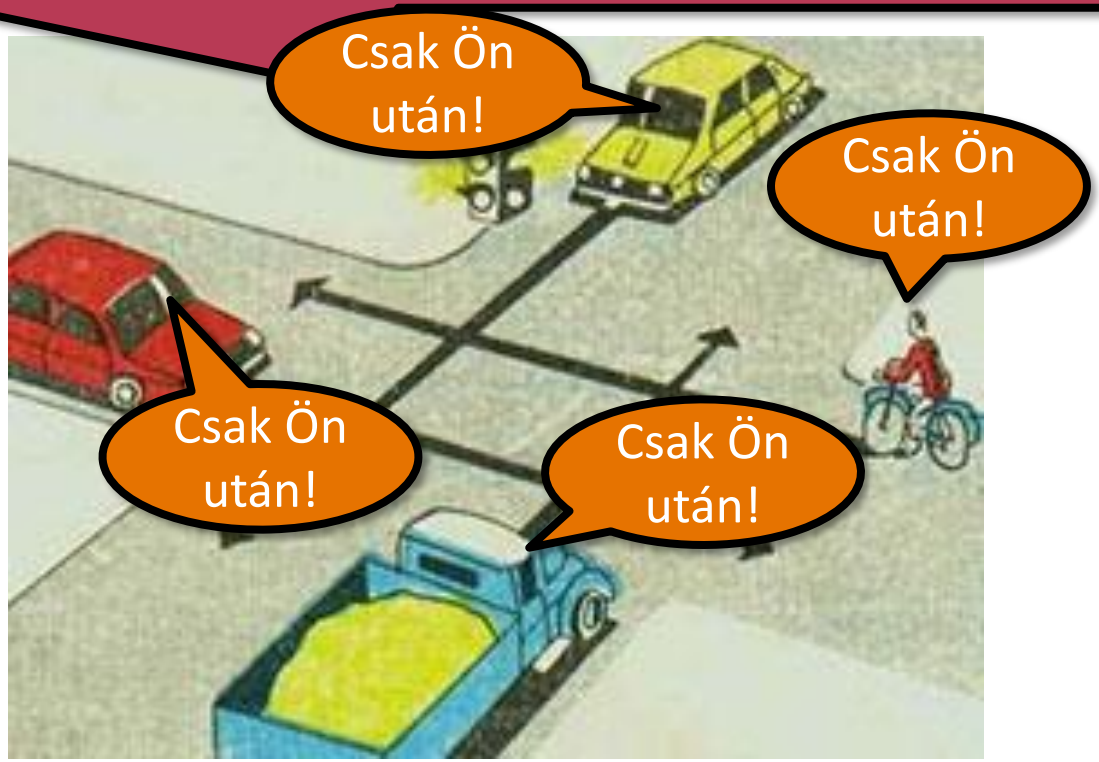
Holtpont feloldása

- „Ha 4 autó egyszerre ér a jobbkezes kereszteződésbe, akkor valamelyiknek le kell mondania az elsőbbségről és elengedni a másikat. Ha nem teszi, akkor a KRESZ szerint ott fognak állni örökké.” (gyakorikerdesek.hu)



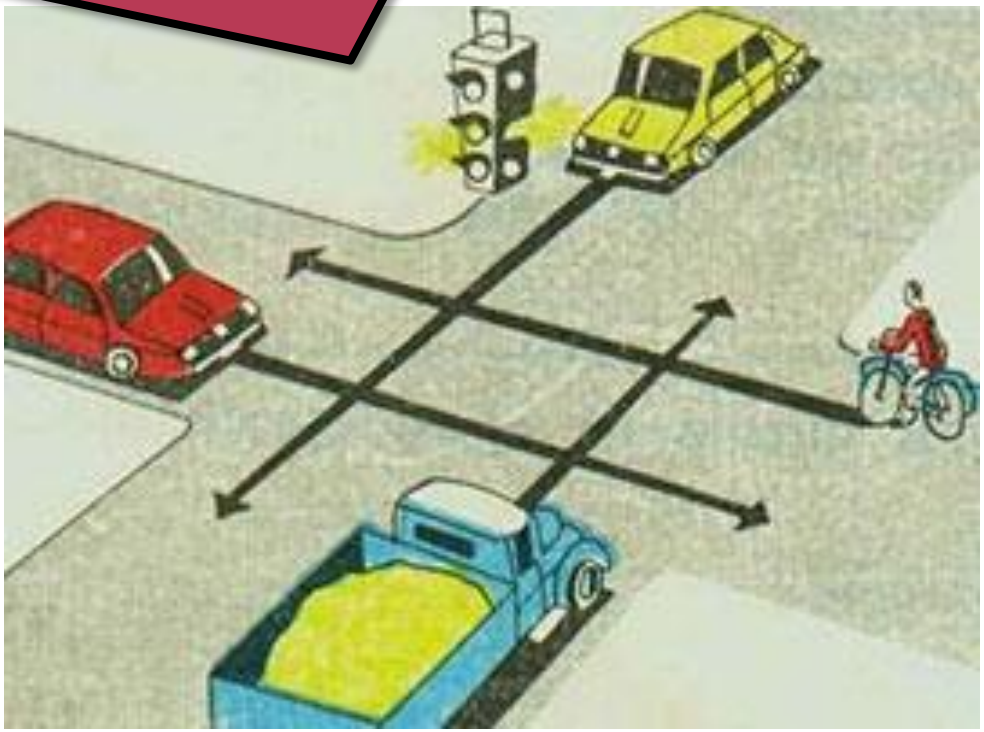
Holtpont feloldása

- „Ha 4 autó egyszerre ér a jobbkezes kereszteződésbe, akkor valamelyiknek le kell mondania az elsőbbségről és elengedni a másikat. Ha nem teszi, akkor a KRESZ szerint ott fognak állni örökké.” (gyakorikerdesek.hu)



Újabb holtpont

- „Ha 4 autó egyszerre ér a jobbkezes kereszteződésbe, akkor valamelyiknek le kell mondania az elsőbbségről és elengedni a másikat. Ha nem teszi, akkor a KRESZ szerint ott fognak állni örökké.” (gyakorikerdesek.hu)



Holtpont feloldása

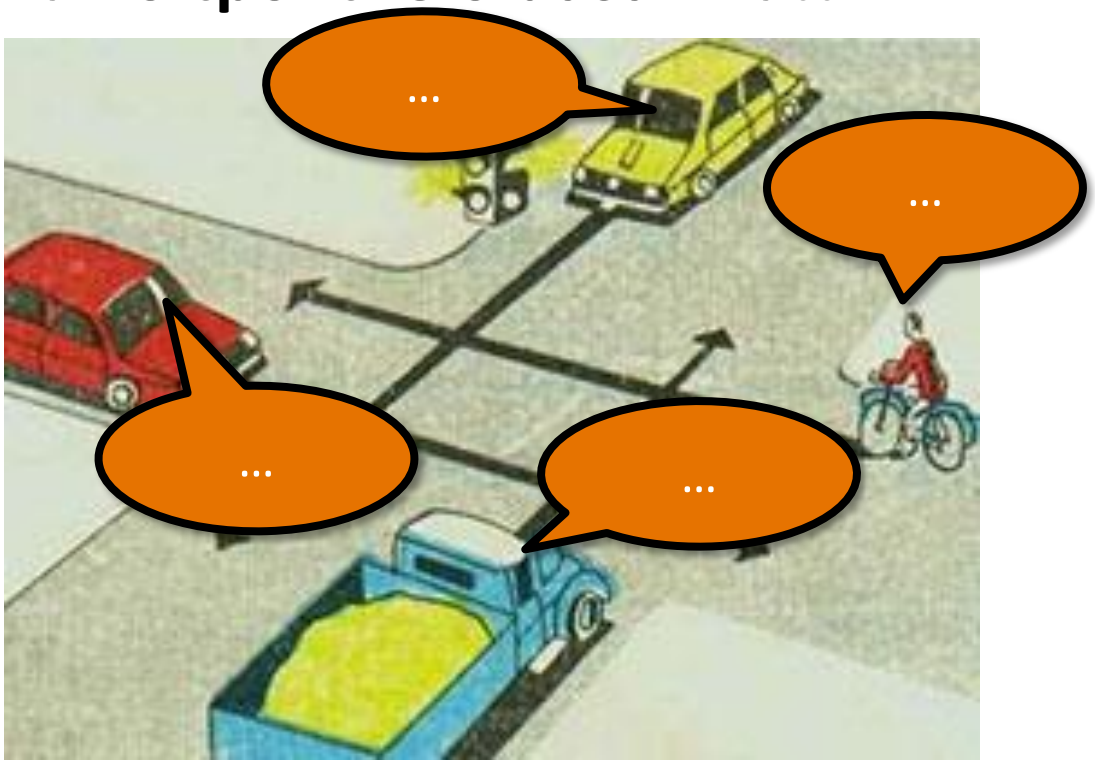
- „Útkereszteződésben - ha közúti jelzésből vagy forgalmi szabályból más nem következik - a jobbról érkező járműnek van elsőbbsége.” (1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről)

Holtpont feloldása

- „Útkereszteződésben - ha közúti jelzésből vagy forgalmi szabályból más nem következik - a jobbról érkező járműnek van elsőbbsége.” (1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről)

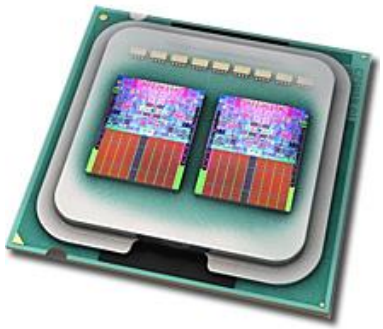
Végtelen ciklus (livelock)

- Beragadt **állapothalmaz**:
  a rendszer csak külső segítséggel/a modelltől való eltéréssel képes kilépni.
  - Pl. éppen a **holtpont feloldása** miatt



Holtpont (deadlock)

- Beragadt **állapot**:
  a rendszer csak külső segítséggel képes kilépni.
  - Pl. egymásra várakozó folyamatok miatt
- Gyakori tervezési hiba párhuzamos rendszereknél
  - Sokszor nehéz elkerülni, feloldani
    - A jónak hitt megoldás is problémát okozhat
  - Nehéz tesztelni, látszólag véletlenszerű is lehet
  - „Többmagos CPU krízis”

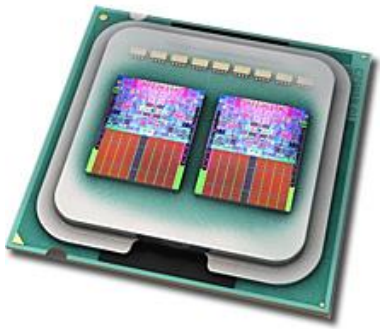


Holtpont (deadlock)

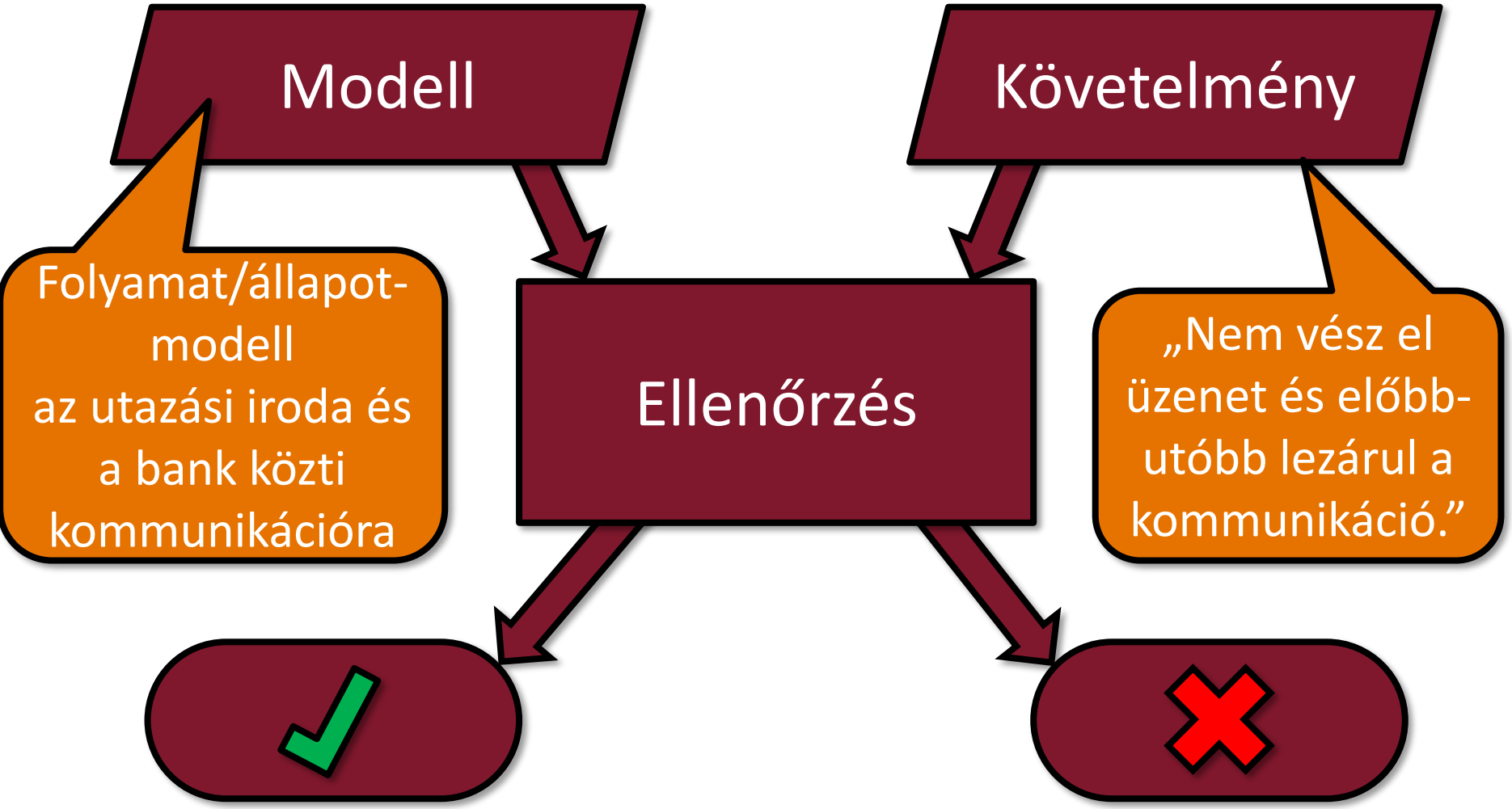
- Beragadt **állapot**:
  a rendszer csak külső s
  - Pl. egymásra várakozó fo
- Gyakori tervezési hiba párhuzamos rendszereknél
  - Sokszor nehéz elkerülni oldani
    okozhat
  - N nszerű is lehet
  - „

„Két folyamatnak üzenetet kell cserélnie, de mind a kettő a másik üzenetére vár.”

„Két folyamat mindegyikének kétféle erőforrás kell a továbblépéshez, de mindegyikük egyet-egyet lefoglalt.”



Modellek ellenőrzése



Vizsgálatok fajtái

- Cél szerint:
  - **Verifikáció:**
    jól csinálom a rendszert?
    - Az implementáció megfelel a specifikációnak?
  - **Validáció:**
    jó rendszert csinálok?
    - A rendszer teljesíti a felhasználói követelményeket?
- Módszer szerint:
  - Statikus ellenőrzés
  - Dinamikus ellenőrzés
    - Szúrópróbaszerű (tesztelés, szimuláció)
    - Kimerítő/teljes (modellellenőrzés)

Alapfogalmak

Statikus ellenőrzés

Tesztelés

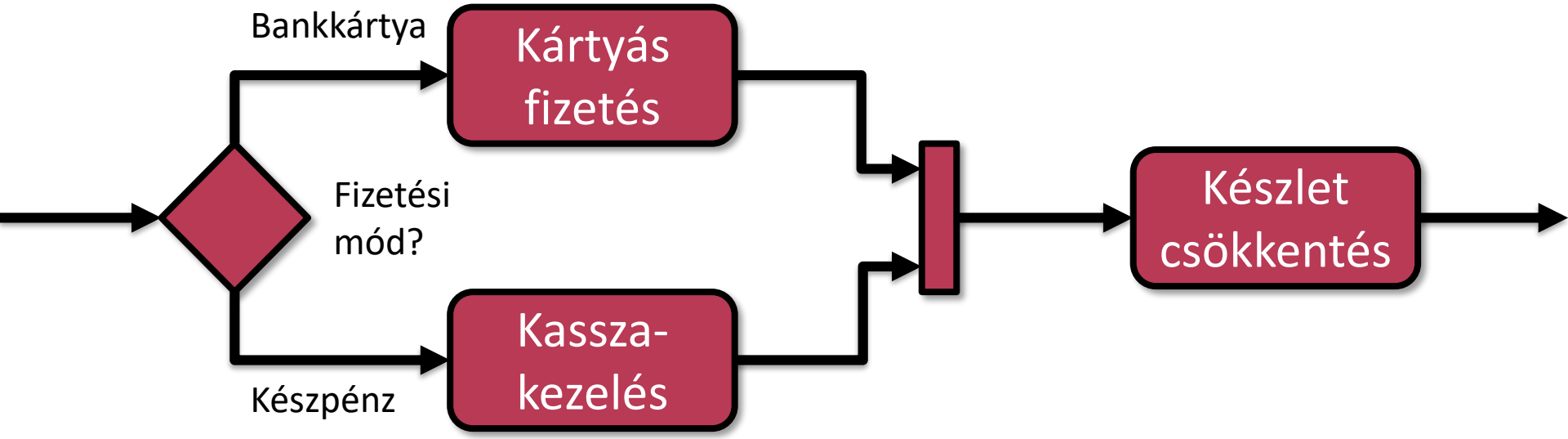
Formális verifikáció

STATIKUS ELLENŐRZÉS

Hibaminták

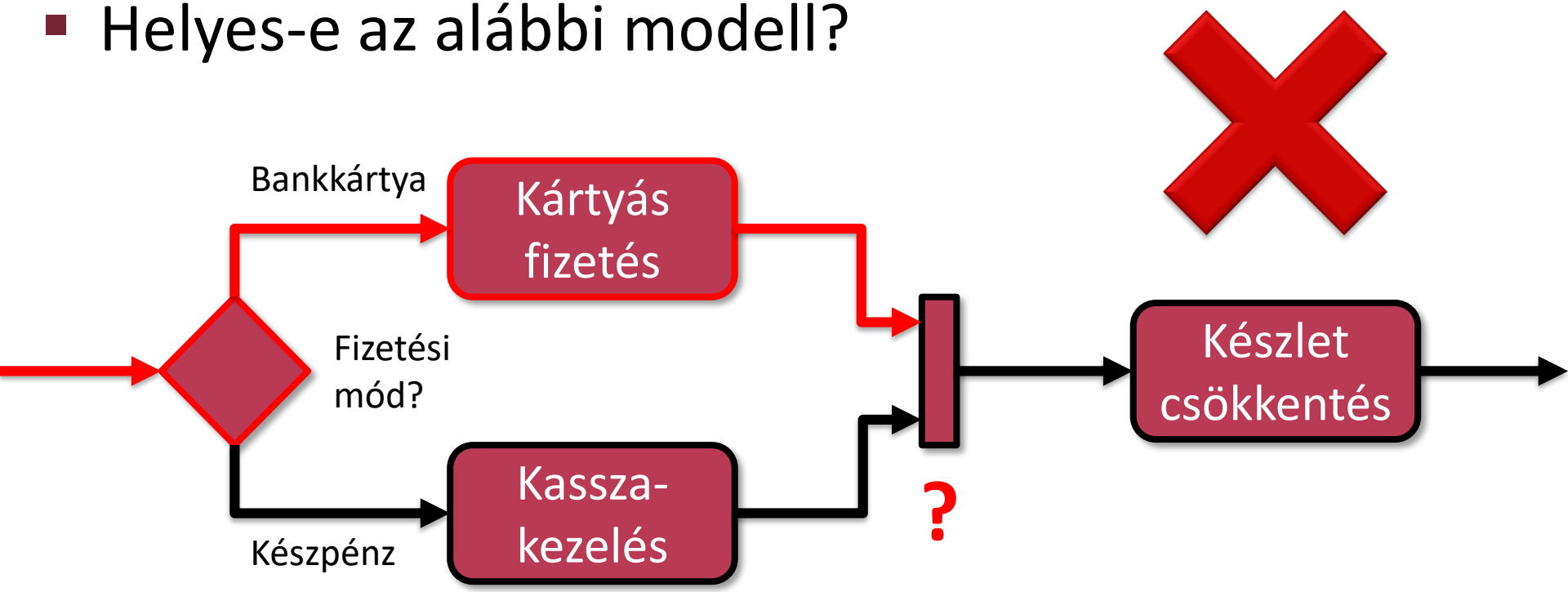
Decision és Join

- Helyes-e az alábbi modell?



Decision és Join

- Helyes-e az alábbi modell?

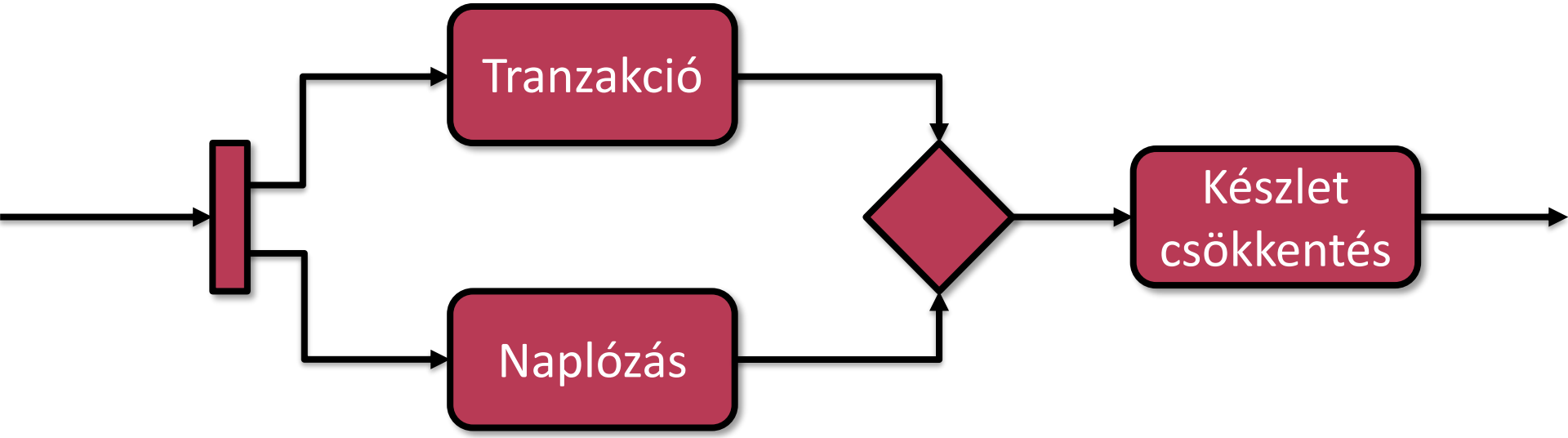


- Join: csak akkor léphet tovább, ha mindegyik bemeneten érkezett token

→ **DEADLOCK**

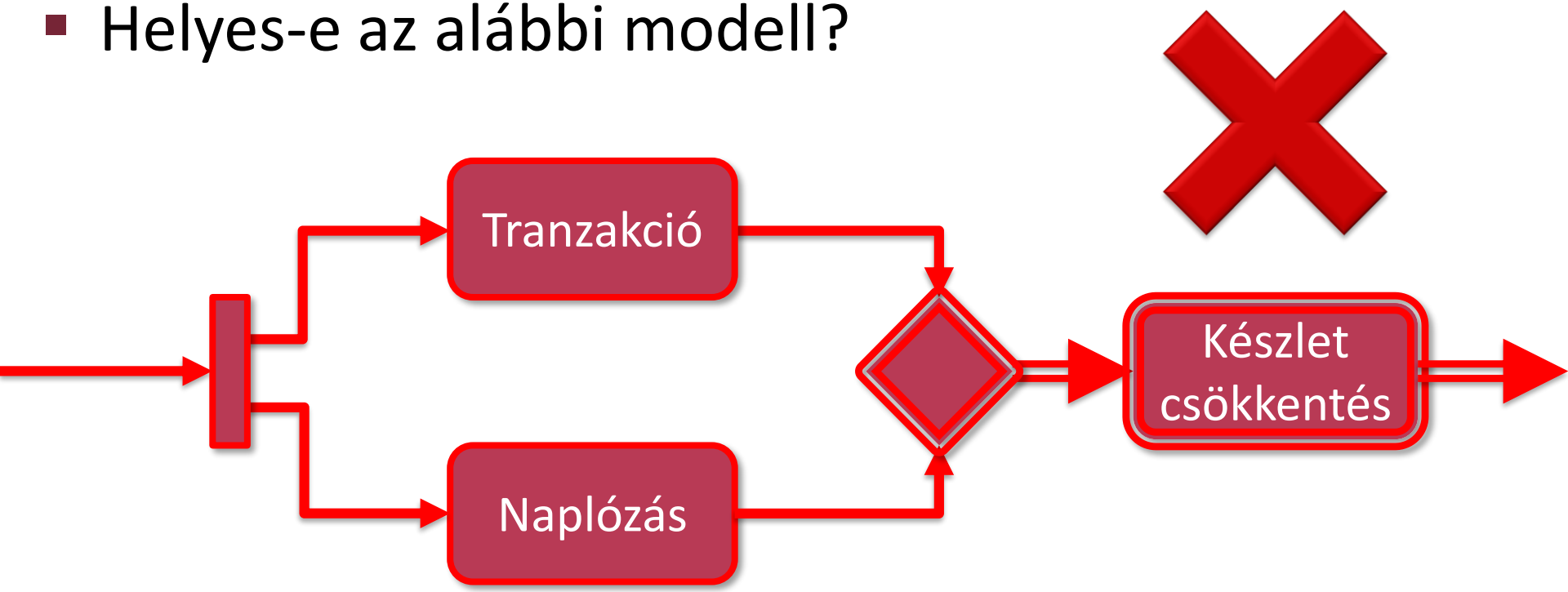
Fork és Merge

- Helyes-e az alábbi modell?



Fork és Merge

- Helyes-e az alábbi modell?

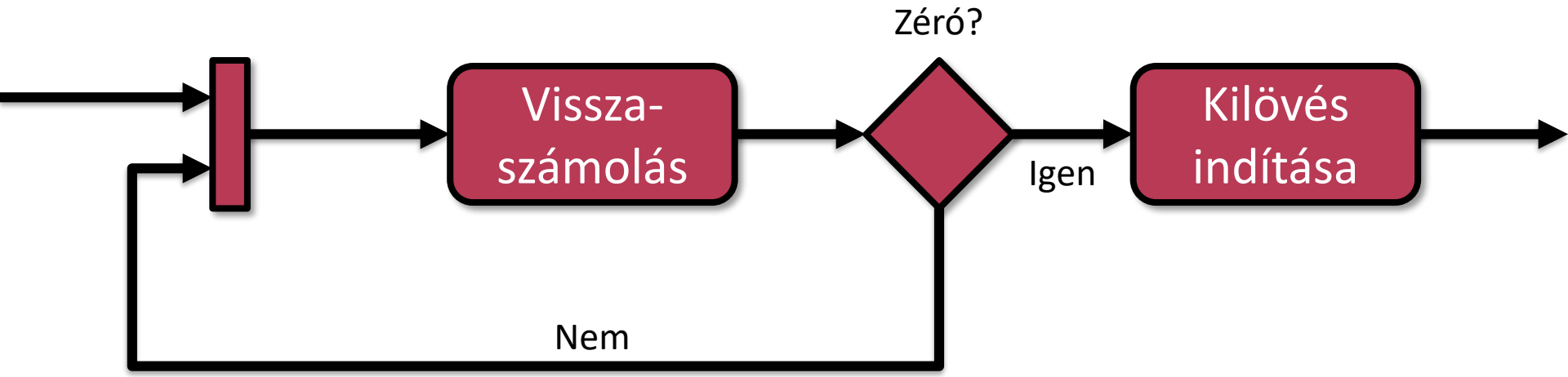


- Merge: bármelyik ágon érkező tokent átengedi
  - Nem szinkronizálja a szálakat

→ „Készlet csökkentés” kétszer fut le

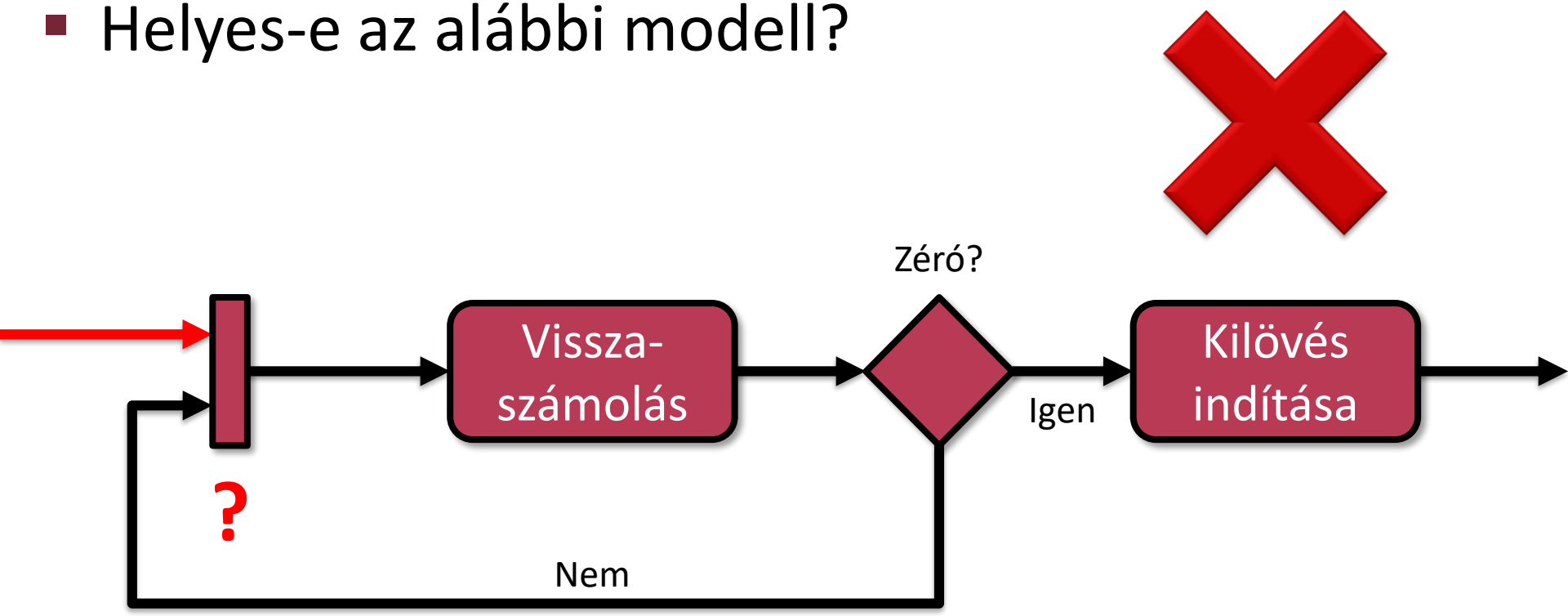
Ciklus 1.

- Helyes-e az alábbi modell?



Ciklus 1.

- Helyes-e az alábbi modell?

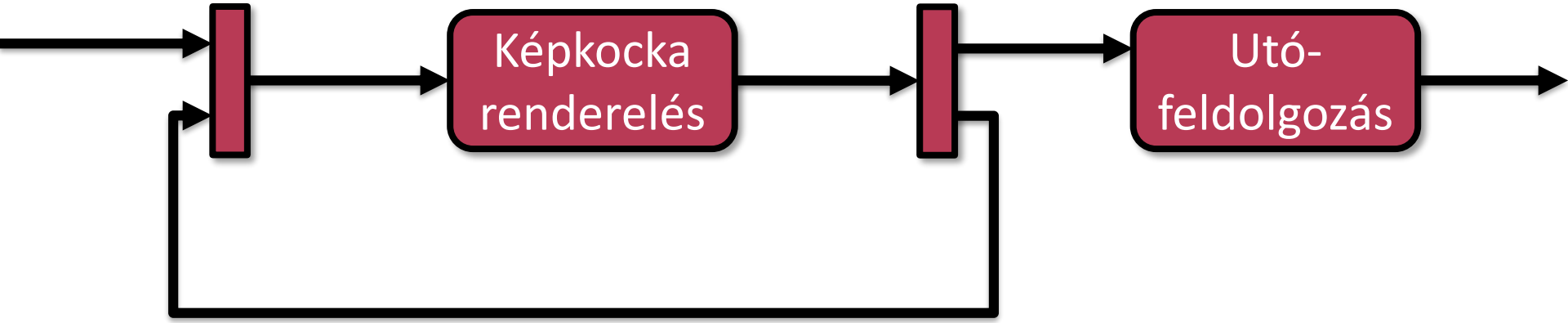


- Join: csak akkor léphet tovább, ha mindegyik bemeneten érkezett token

→ **DEADLOCK**

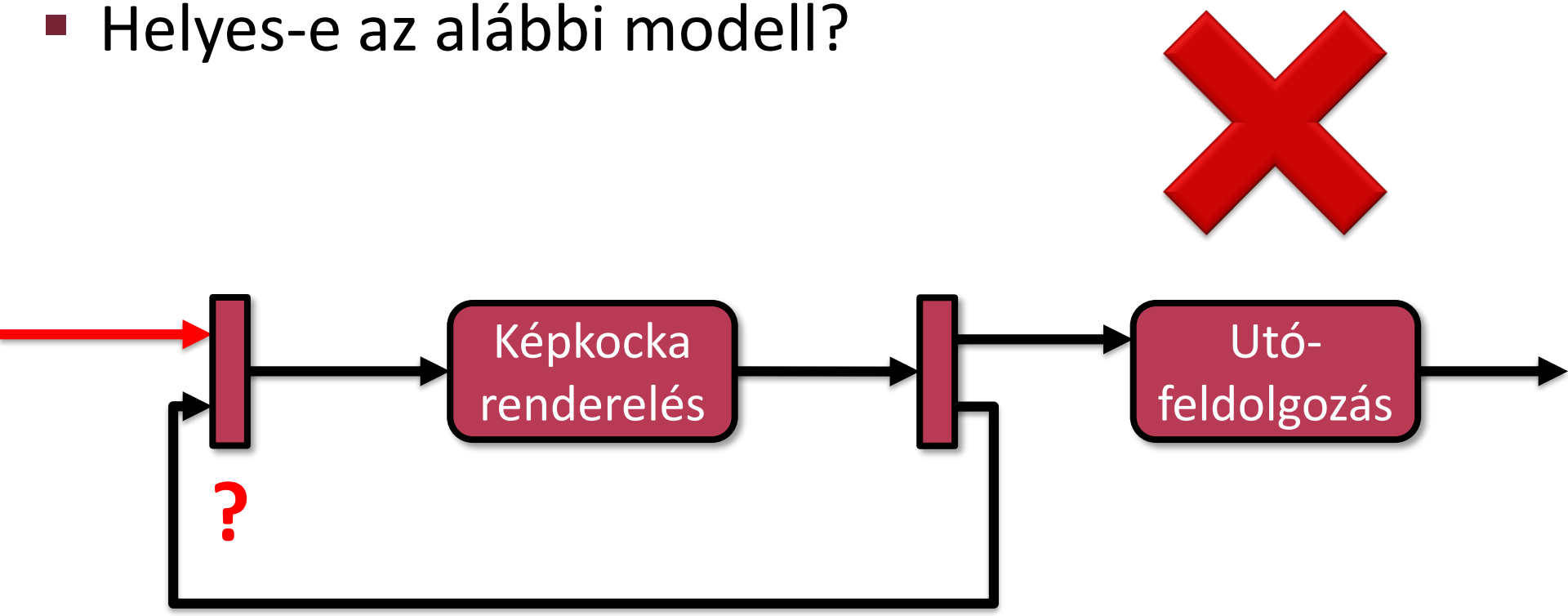
Ciklus 2.

- Helyes-e az alábbi modell?



Ciklus 2.

- Helyes-e az alábbi modell?

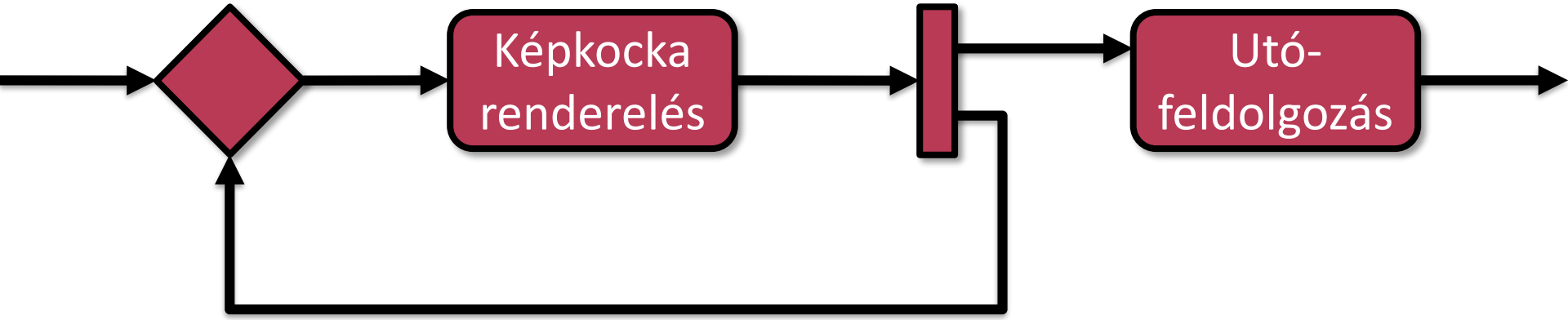


- Join: csak akkor léphet tovább, ha mindegyik bemeneten érkezett token

→ **DEADLOCK**

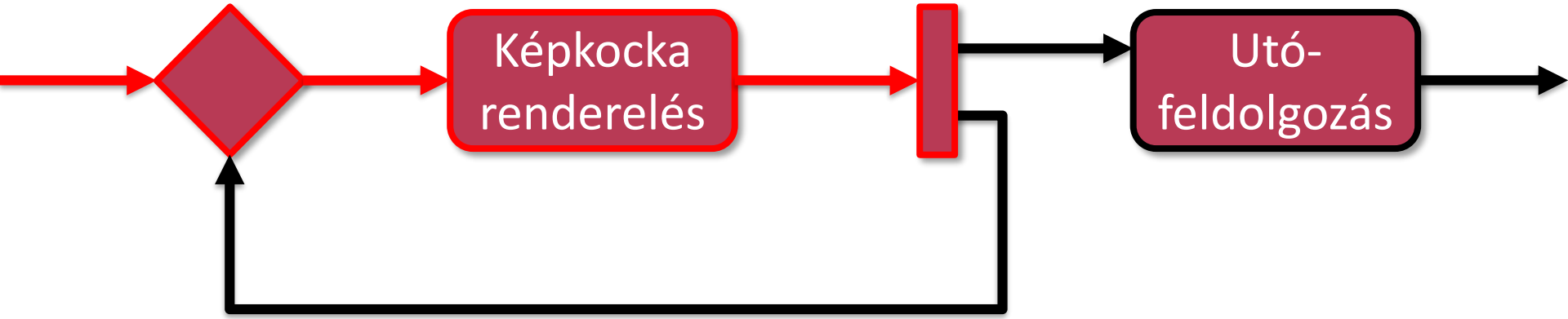
Ciklus 3.

- Helyes-e az alábbi modell?



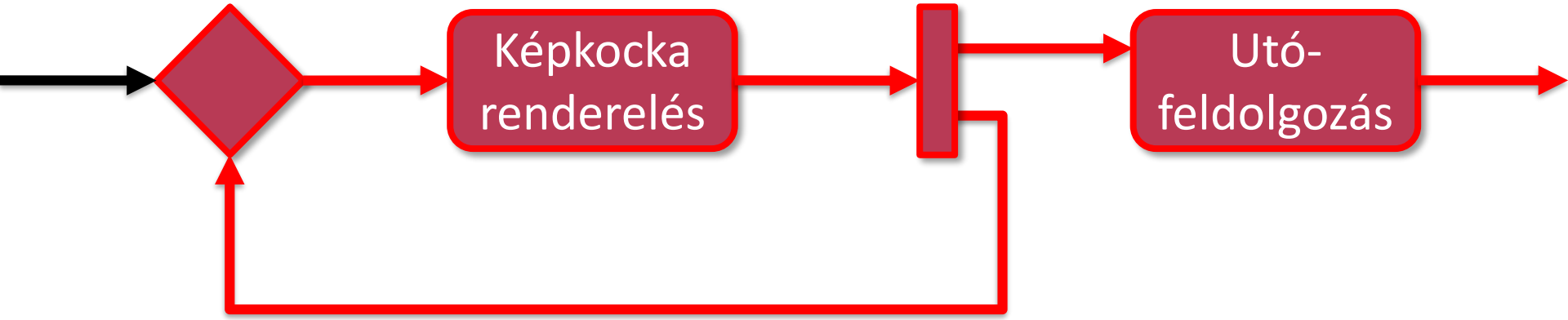
Ciklus 3.

- Helyes-e az alábbi modell?



Ciklus 3.

- Helyes-e az alábbi modell?

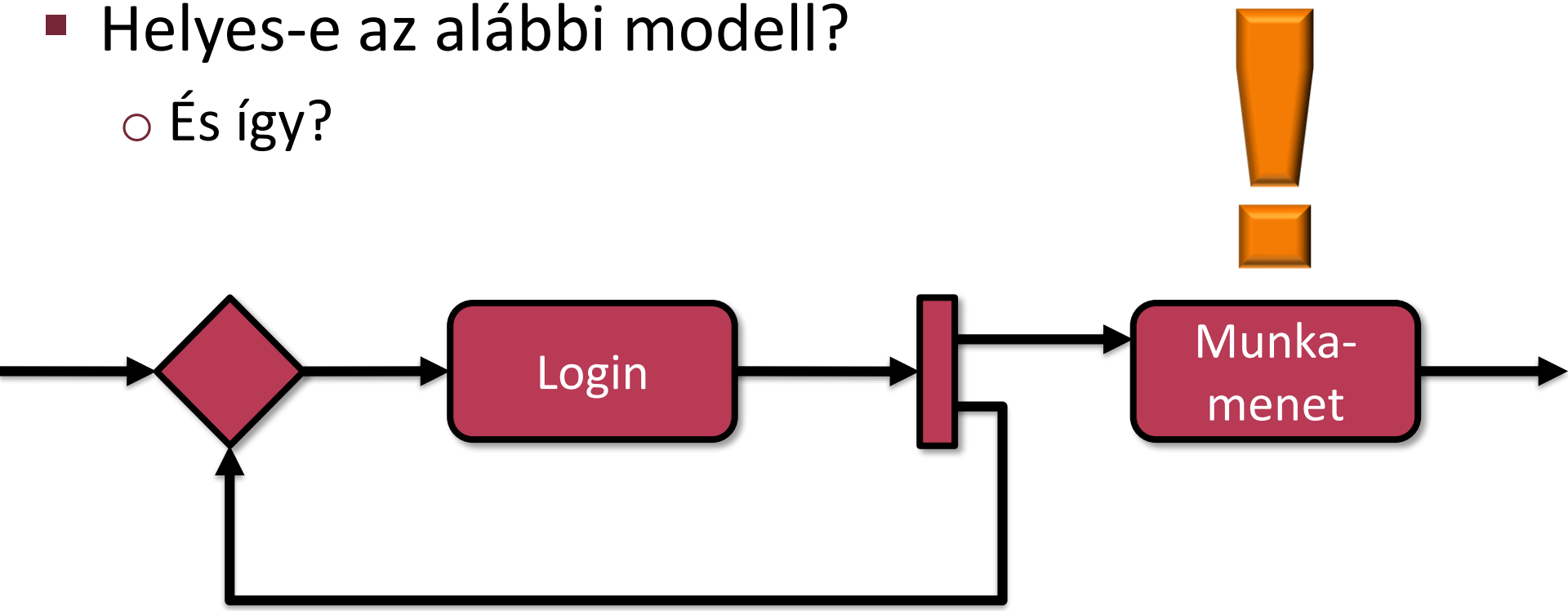


- Minden iterációban egy új képkocka
  - Mindegyikre utófeldolgozás (sokszor – hányszor?)

Határeset…

Ciklus 3.

- Helyes-e az alábbi modell?
  - És így?

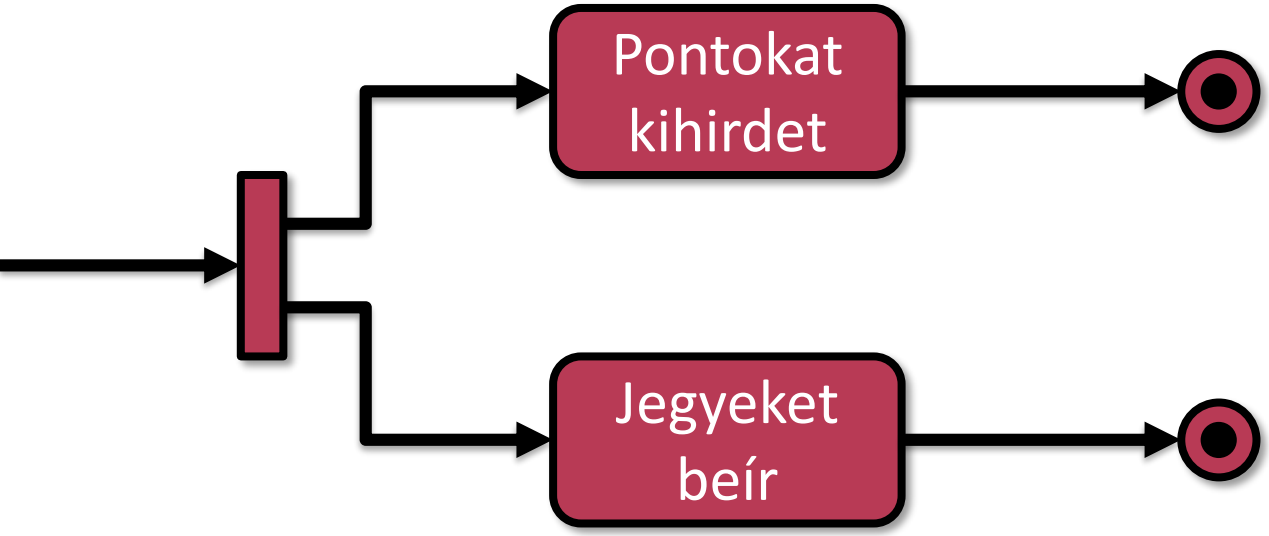


- Minden login után újabb login…
  - …és egy munkamenet…?

→ **Szálakat „termel” a hibás implementáció**

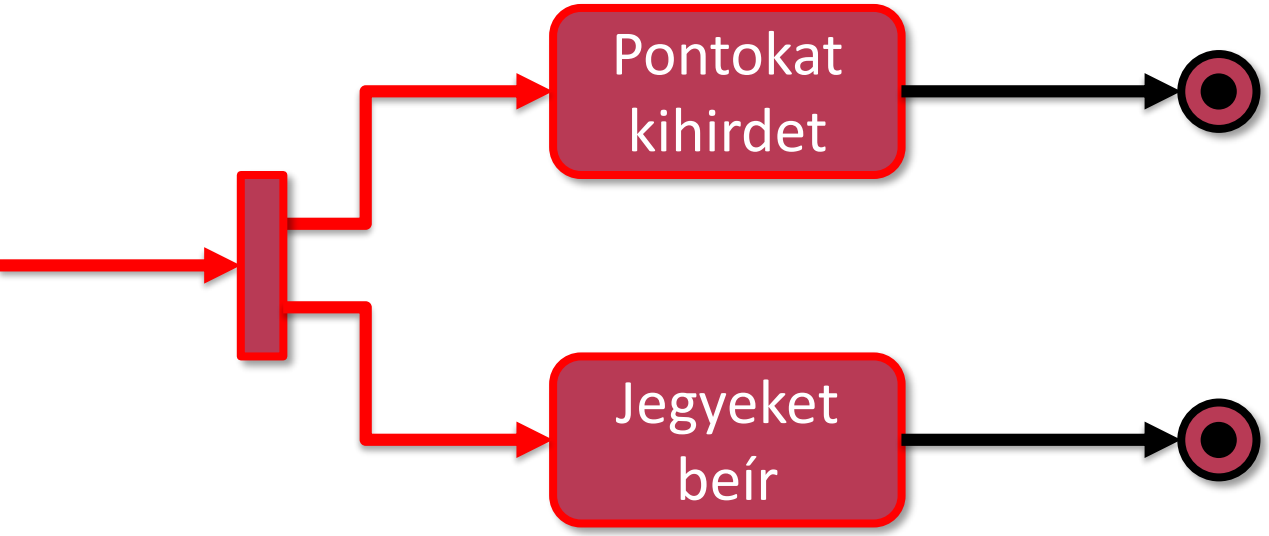
Terminál csomópont

- Helyes-e az alábbi modell?



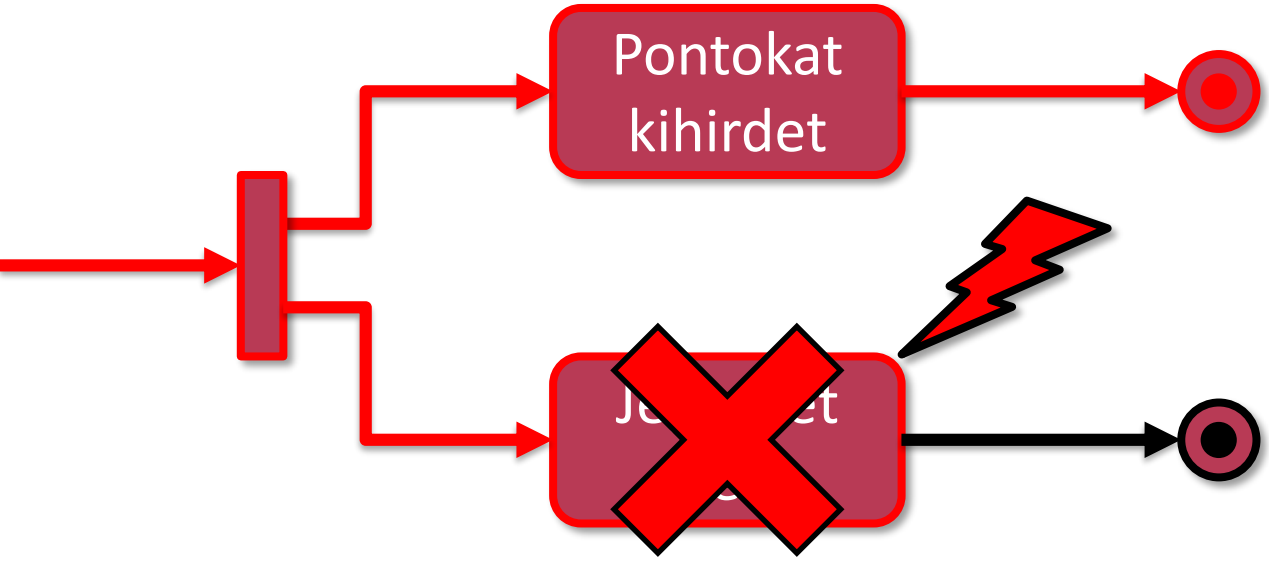
Terminál csomópont

- Helyes-e az alábbi modell?



Terminál csomópont

- Helyes-e az alábbi modell?



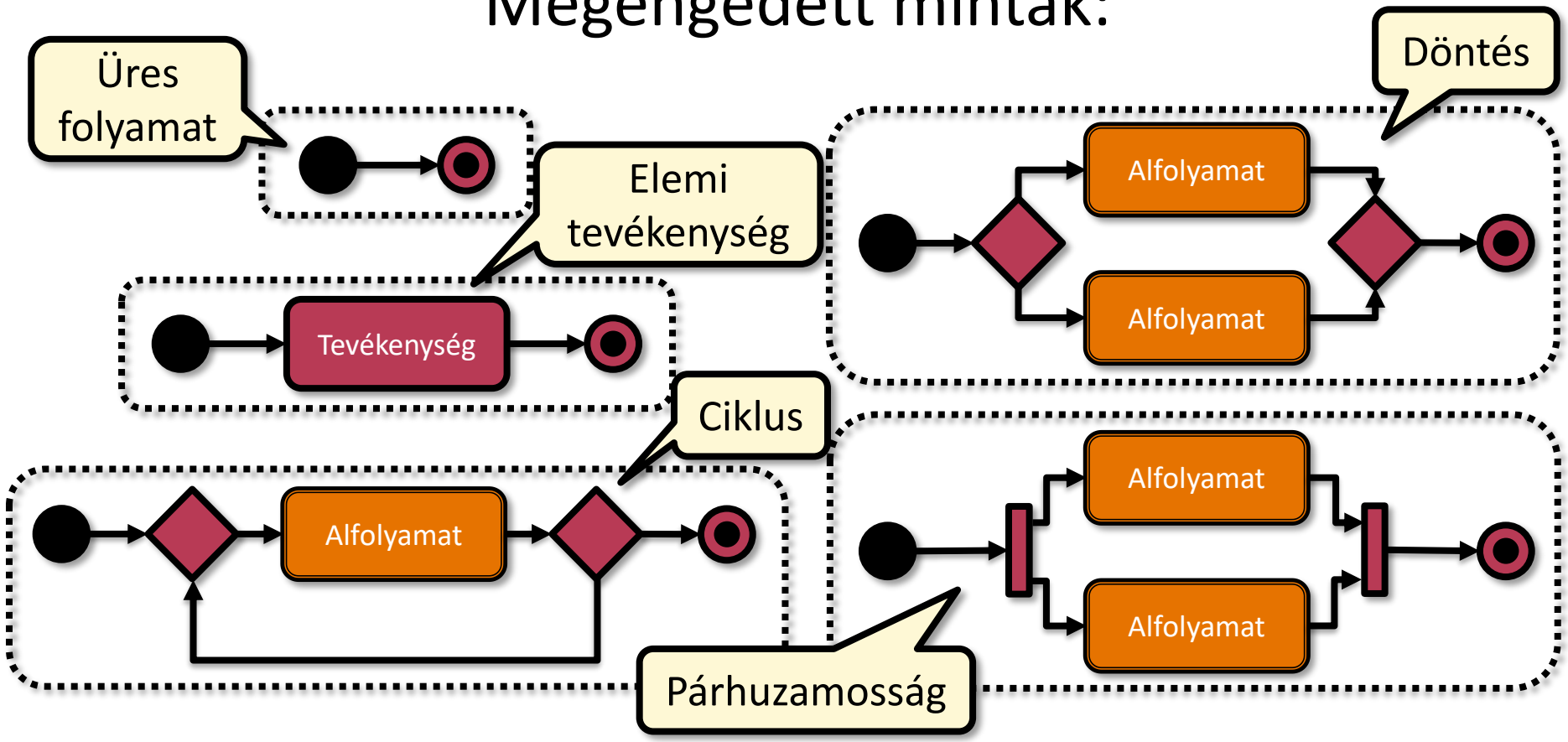
- Terminál csomópont: azonnal leállítja az **egész** folyamatot

→ **A másik tevékenység nem fog lefutni**

Jólstrukturált folyamatmodellek

- **Tanulság:** Jólstrukturált folyamatmodellekkel ezek a hibák elkerülhetők

Megengedett minták:



Adatkezelés statikus ellenőrzése

- Egy eljárás két egész számot szoroz
  - Származtatott követelmény:
    - „Ha legalább az egyik páros, az eredmény is az”
  - Végigkövethető a kódon
    - „Fejben végrehajtás”
- **Szimbolikus végrehajtás**
  - Konkrét értékek helyett értékhalmazokkal hajtjuk végre a programot
  - Érdekes bemenetek meghatározhatóak
    - Pl. ahol belső elágazások vannak

      →Milyen bemenettel érhetőek el az ágak?

Statikus ellenőrzés: szintaxisellenőrzés

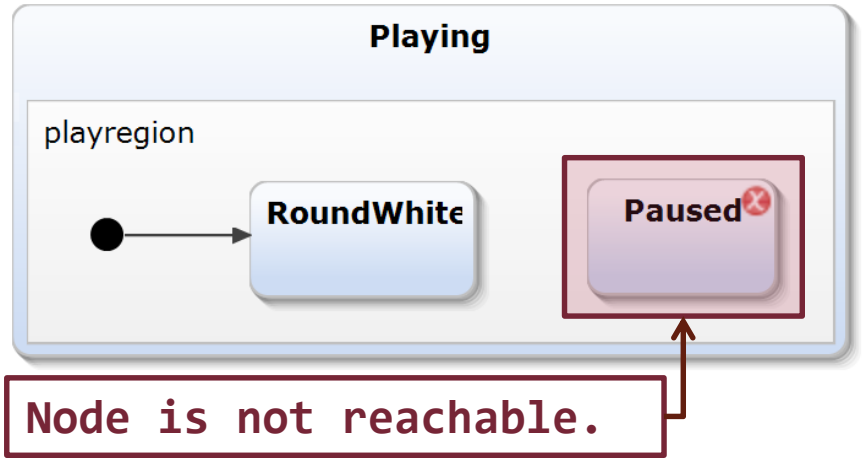
- Szintaktikai ellenőrzés: modellező eszközök összekötik a logikailag egymásra épülő modellelemeket

- Szintaxisvezérelt szerkesztő
  - Szerkesztés közben hiba→ `Couldn't resolve reference`
  - Fejlett szerkesztőeszköz (például lehetőségek felkínálása)
- Kód és diagram együtt

- Programozás: szerkesztés közben **hibás**
  Modellezés: szerkesztés közben **helyes**

Statikus ellenőrzés: strukturális helyesség

- Strukturális ellenőrzés: modell gráf vizsgálata
- Hibaminták keresése szerkesztés közben
- Például elérhetetlen állapot:



- További ellenőrzések: hiányzó kezdőállapot, holtpont, változó értékadások, stb.

Statikus ellenőrzés: tervezési szabályok

- **Példa 3**. Tervezési irányelvek támogatása:
  További szabályok adhatóak a modellhez.
  - *Always* és *Oncycle*: Órajelre tüzelő esemény
  - Tetszőleges frekvencia → Tipikusan hibás működés

A házi feladatban tilos az *Always* és *Oncycle* események használata.

Alapfogalmak

Statikus ellenőrzés

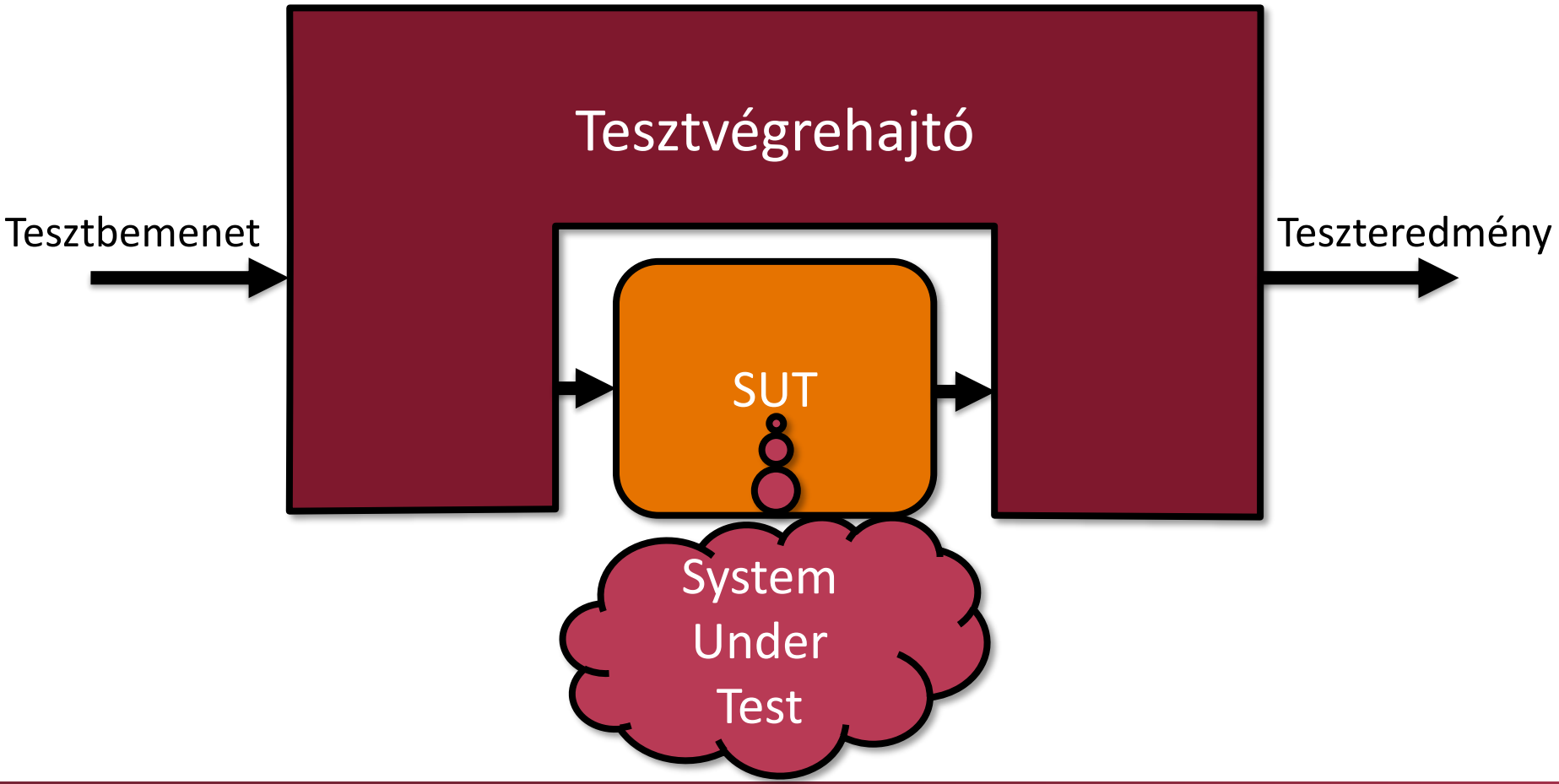
Tesztelés

Formális verifikáció

TESZTELÉS

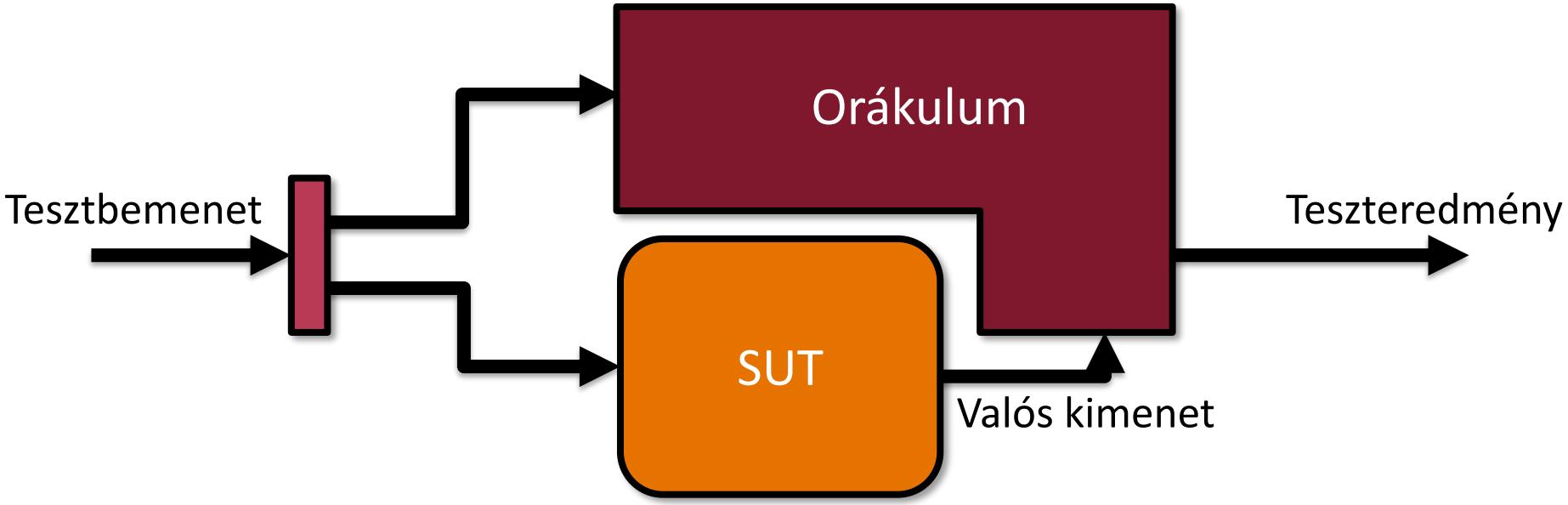
Csupán „próbálgatás”?

Modellek tesztelése



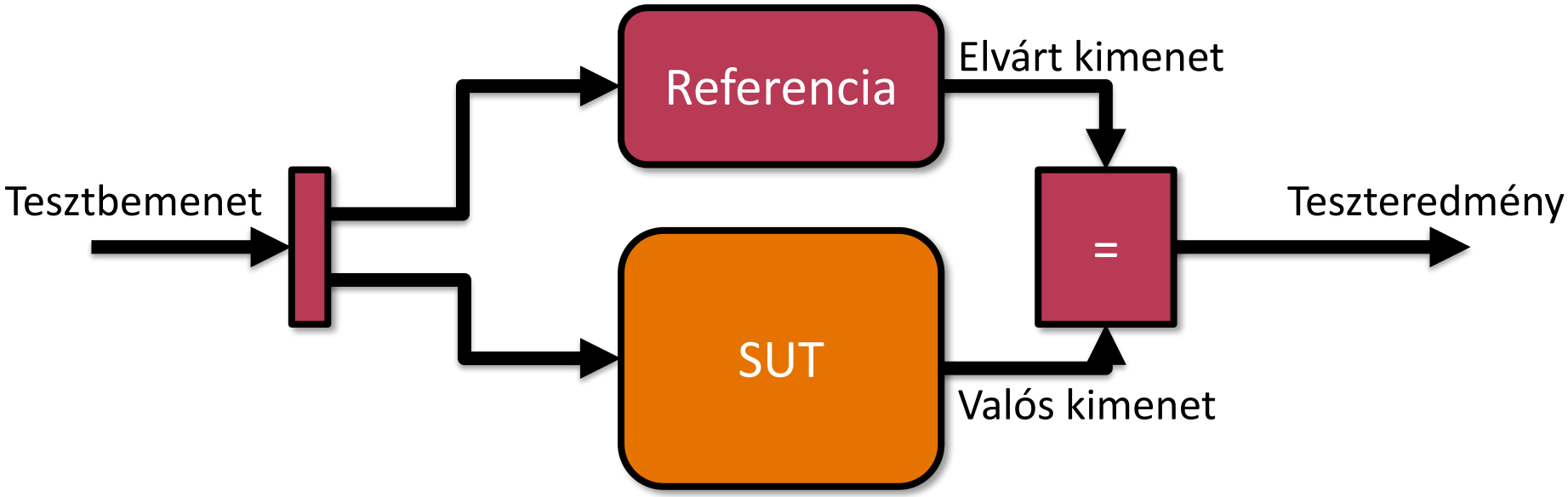
Modellek tesztelése

- **Orákulum:**
  elvárt eredmények előállítása és összehasonlítása

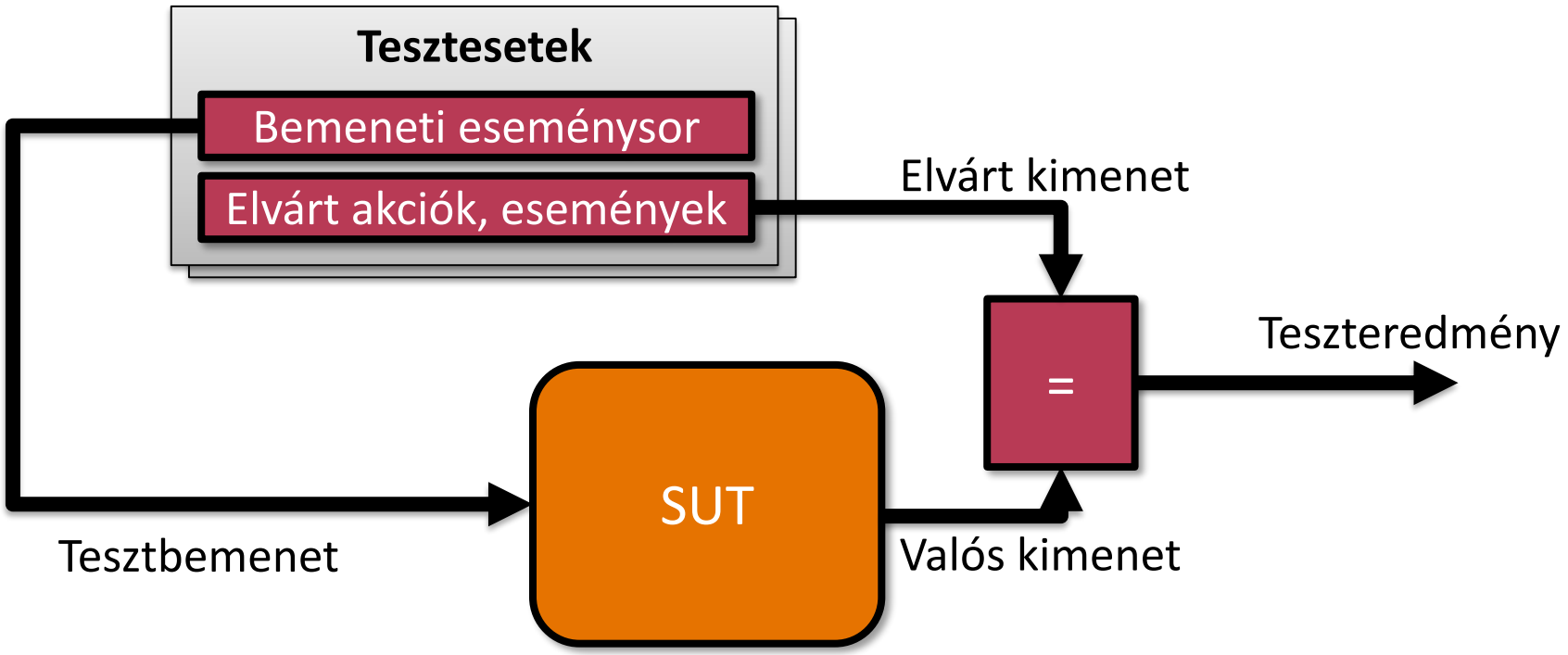


Modellek tesztelése

- **Referencia:**
  tesztbemenet alapján elvárt kimenet



Modellek tesztelése példa: Yakindu állapotgép



Modellek tesztelése példa: Yakindu állapotgép

Példa teszteset: Beállítások menüben 1 és 3 perc között lehet 5 másodperc léptekkel állítani a kezdőidőt.

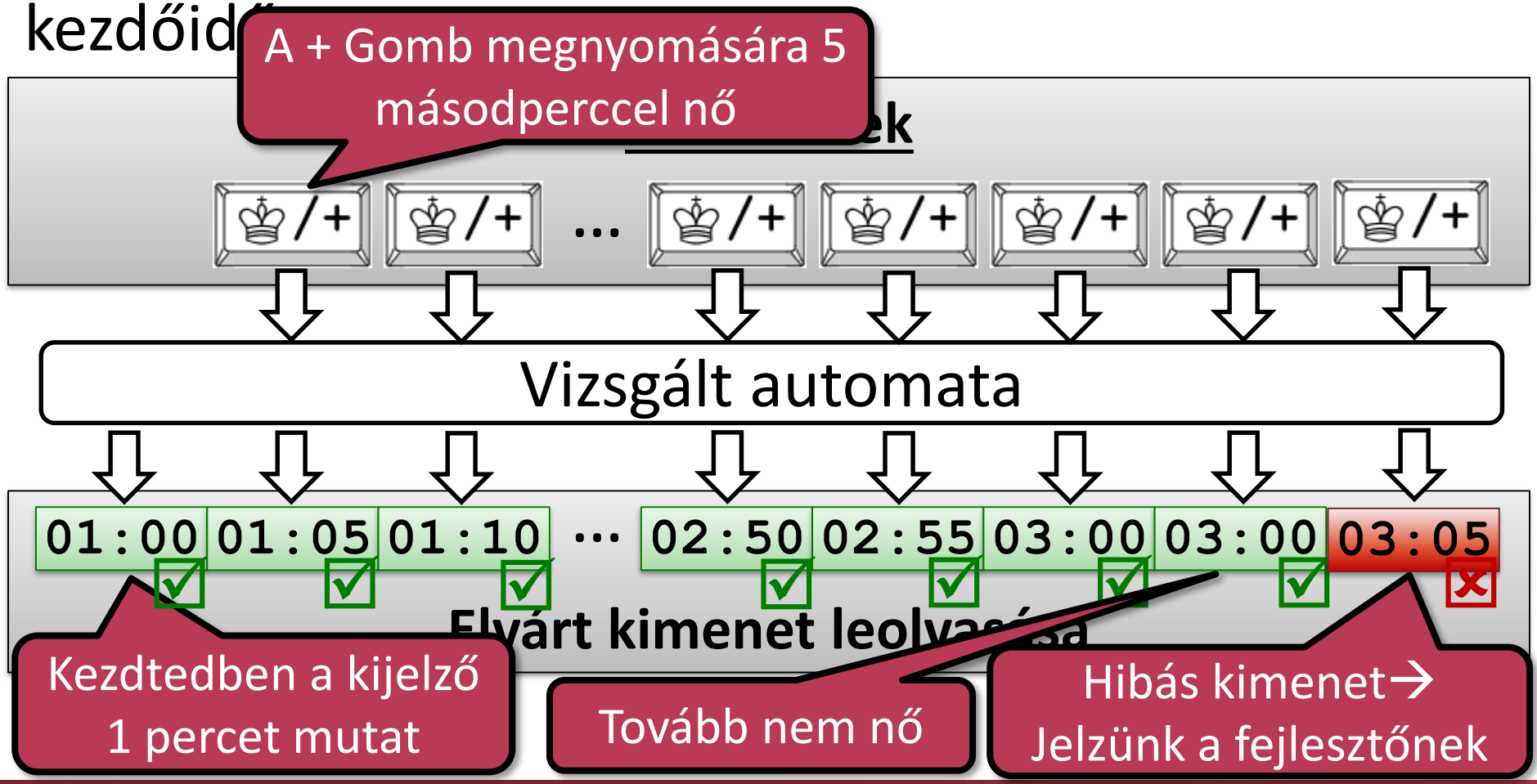
Bemenetek

Vizsgált automata

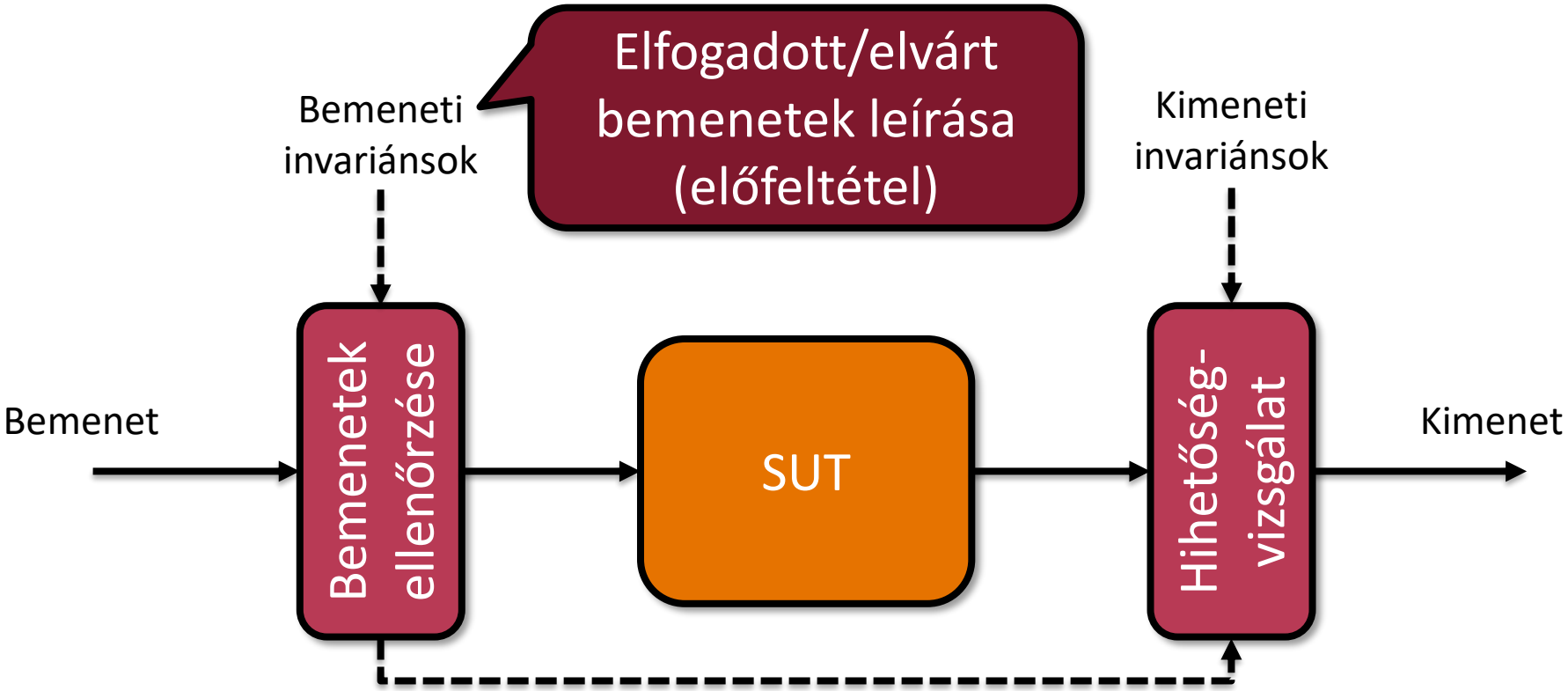
Elvárt kimenet leolvasása

Modellek tesztelése példa: Yakindu állapotgép

Példa teszteset: Beállítások menüben 1 és 3 perc között lehet 5 másodperc léptekkel állítani a kezdőid

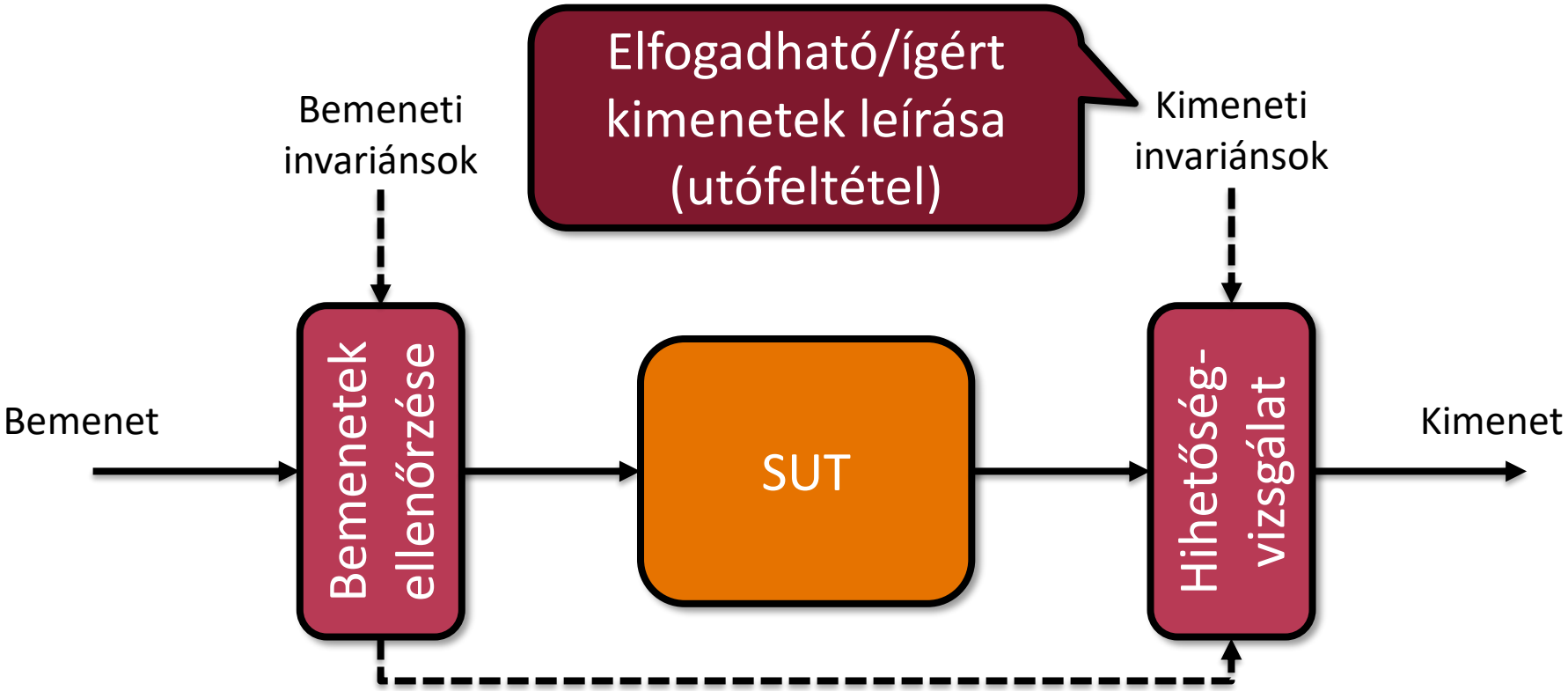


Öntesztelés (monitor)



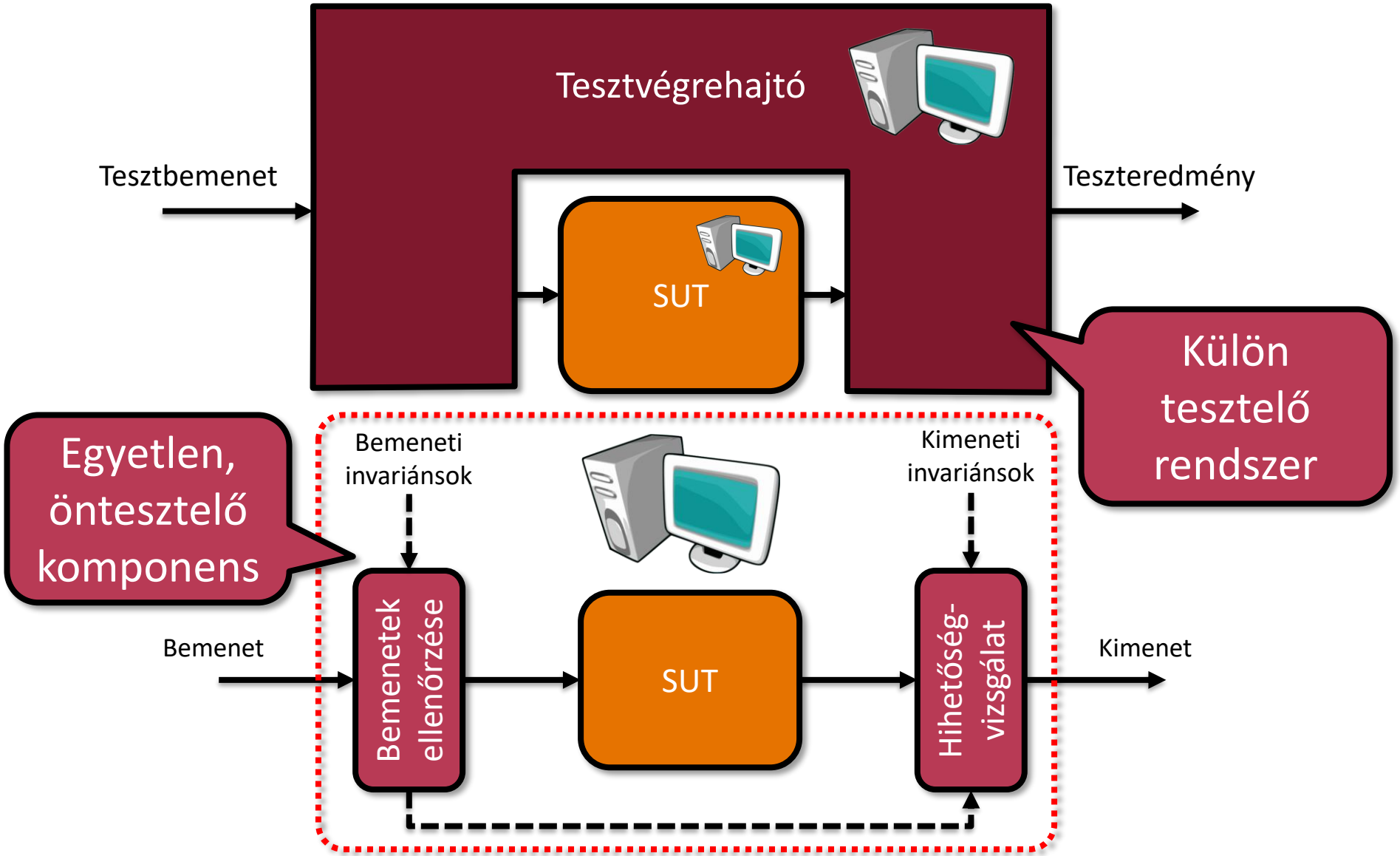
- **Invariáns tulajdonság:**
  folyamatosan igaznak kell lennie

Öntesztelés (monitor)



- **Invariáns tulajdonság:**
  folyamatosan igaznak kell lennie

Öntesztelés vs. Külső tesztelés



Öntesztelő program

Előfeltétel: a diszkrimináns nemnegatív

```
void Roots(float a, b, c,
           float &x1, &x2)
{
    float d = sqrt(b*b-4*a*c);

    x1 = (-b + d)/(2*a);
    x2 = (-b - d)/(2*a);
}
```

Utófeltétel: mindkét megoldás zérushely

```
void RootsMonitor(float a, b, c,
                  float &x1, &x2)
{
    // előfeltétel
    float D = b²-4·a·c;
    if (D < 0)
        throw "Invalid input!";

    // végrehajtás
    Roots(a, b, c, x1, x2);

    // utófeltétel
    assert(a·x1²+b·x1+c == 0 &&
           a·x2²+b·x2+c == 0);
}
```

Öntesztelő program

Exception (kivétel):
A normálistól eltérő, váratlan helyzet, aminek **kezelését máshol valósítjuk meg**.
Oka: hibás használat.

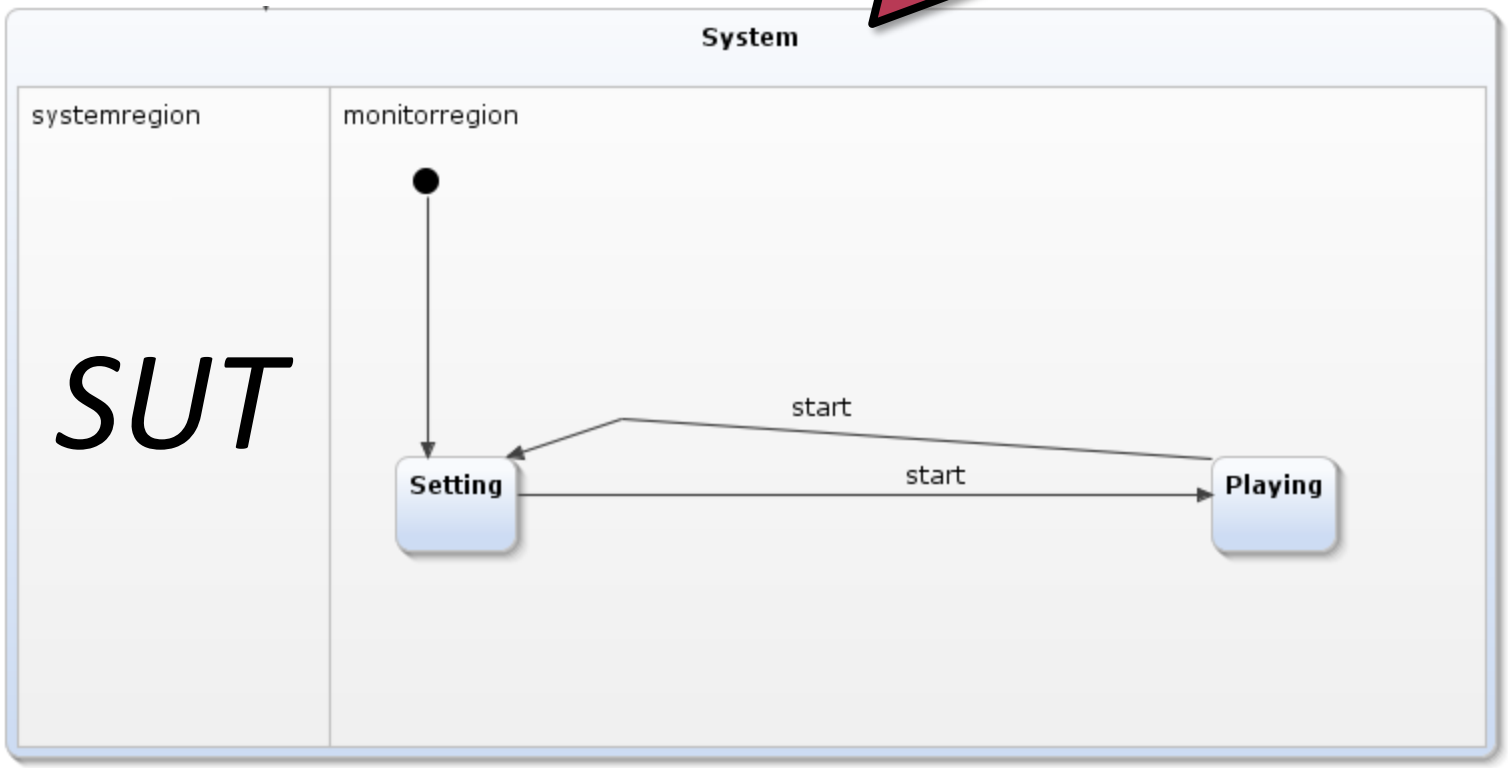
Assert (feltételezés):
Hibás állapot, aminek kezelésére a kód **nincs felkészítve**.
Oka: hibás implementáció vagy futásidejű hiba.

```
void RootsMonitor(float a, b, c,
                  float &x1, &x2)
{
    // előfeltétel
    float D = b²-4·a·c;
    if (D < 0)
        throw "Invalid input!";

    // végrehajtás
    Roots(a, b, c, x1, x2);

    // utófeltétel
    assert(a·x1²+b·x1+c == 0 &&
           a·x2²+b·x2+c == 0);
}
```

Öntesztelés Yakinduban

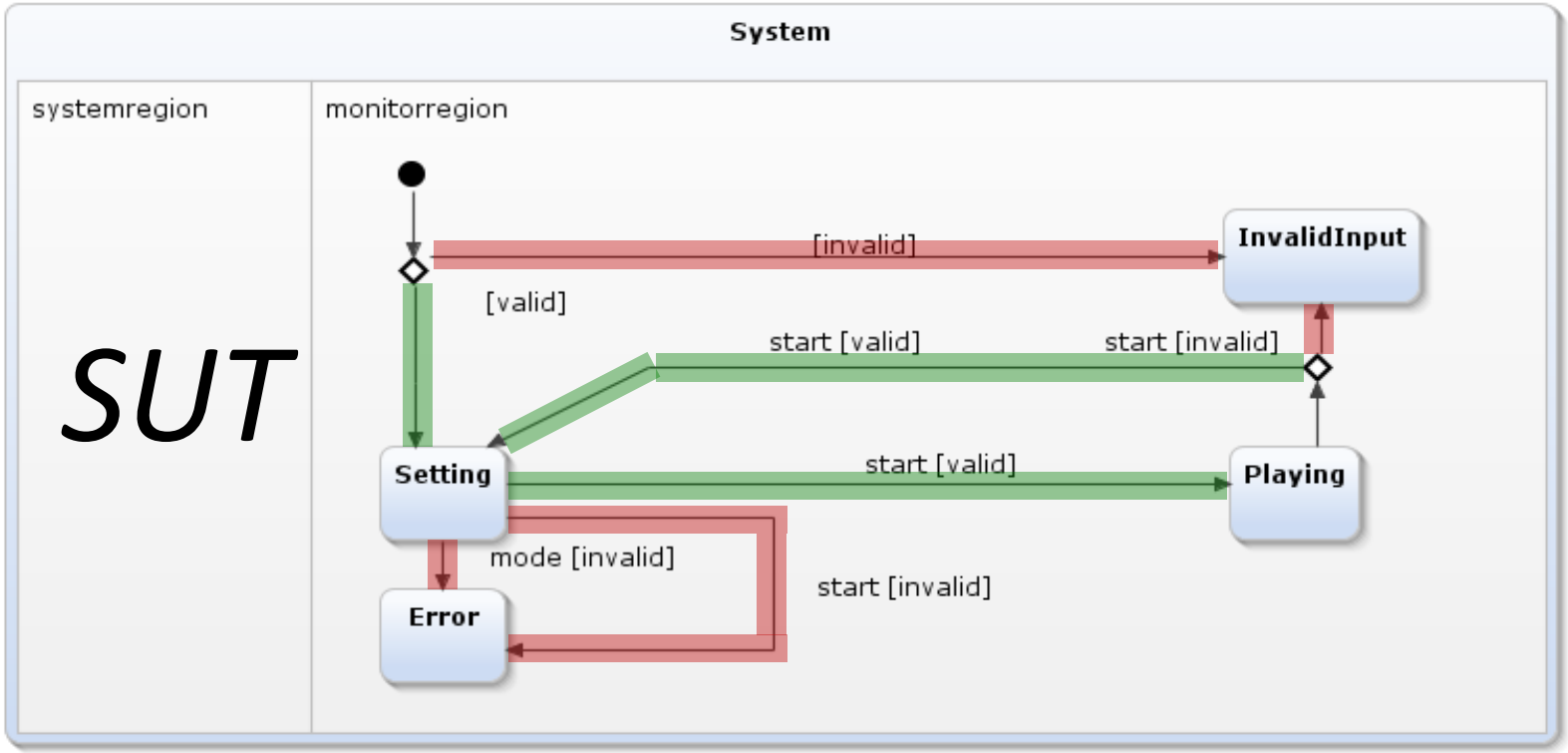
- Párhuzamosan fut a *SUT* és a *monitor* régió
  - Jó eset:
    - Érvényes bemenet (valid)
    - Helyes üzemmód

A házi feladatban a beállítás és játék között válthatunk.



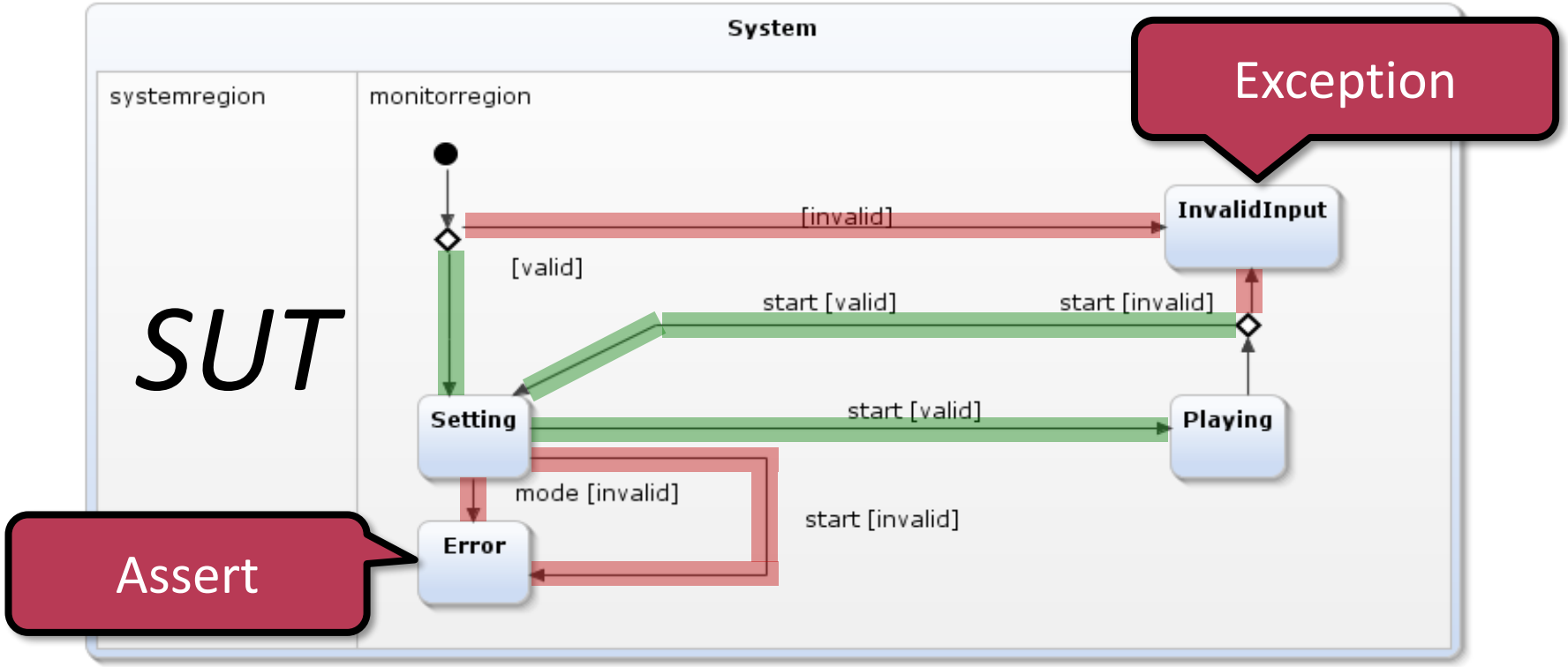
Öntesztelés Yakinduban

- Párhuzamosan fut a *SUT* és a *monitor* régió
  - Jó eset:
    - Érvényes bemenet (valid)
    - Helyes üzemmód
  - Rossz eset:
    - Hibás bemenet → InvalidInput
    - Hibás kimenet → Error



Öntesztelés Yakinduban

- Párhuzamosan fut a *SUT* és a *monitor* régió
  - Jó eset:
    - Érvényes bemenet (valid)
    - Helyes üzemmód
  - Rossz eset:
    - Hibás bemenet → InvalidInput
    - Hibás kimenet → Error



Modellek tesztelése

- A modell futtatása: szimuláció
  - Adott bemenetekre vizsgált viselkedés
- Teszteset:
  1. Tesztbemenet
     - pl. értéktartomány közepe és két széle
  2. Elvárt kimenet

Milyen bemenetekkel teszteljünk?

Fedettség

- Adott tesztkészlet esetén a **fedettség** a tesztek futtatása alatt érintett részek aránya a modellben.
  - Állapot lefedettség (állapotgépben):

$$\frac{\textbf{érintett állapotok}}{\textbf{összes állapot}}$$

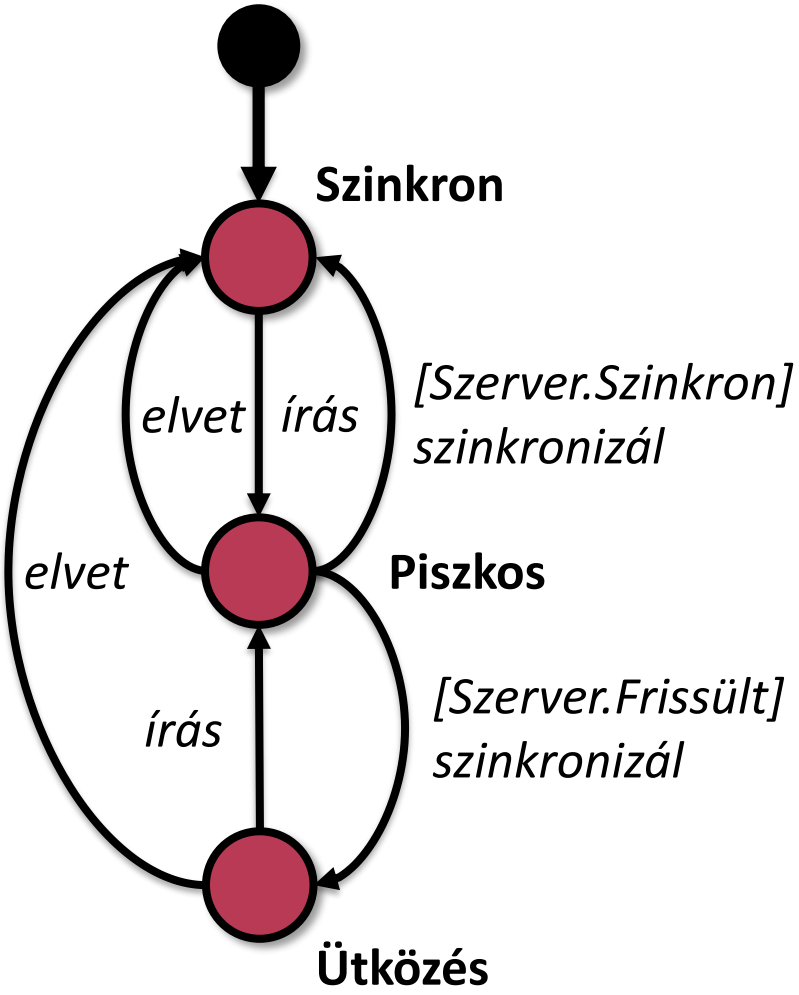
  - Átmenet lefedettség (állapotgépben):

$$\frac{\textbf{érintett átmenetek}}{\textbf{összes átmenet}}$$

  - Utasítás lefedettség (vezérlési folyamban):

$$\frac{\textbf{érintett tevékenységek}}{\textbf{összes tevékenység}}$$

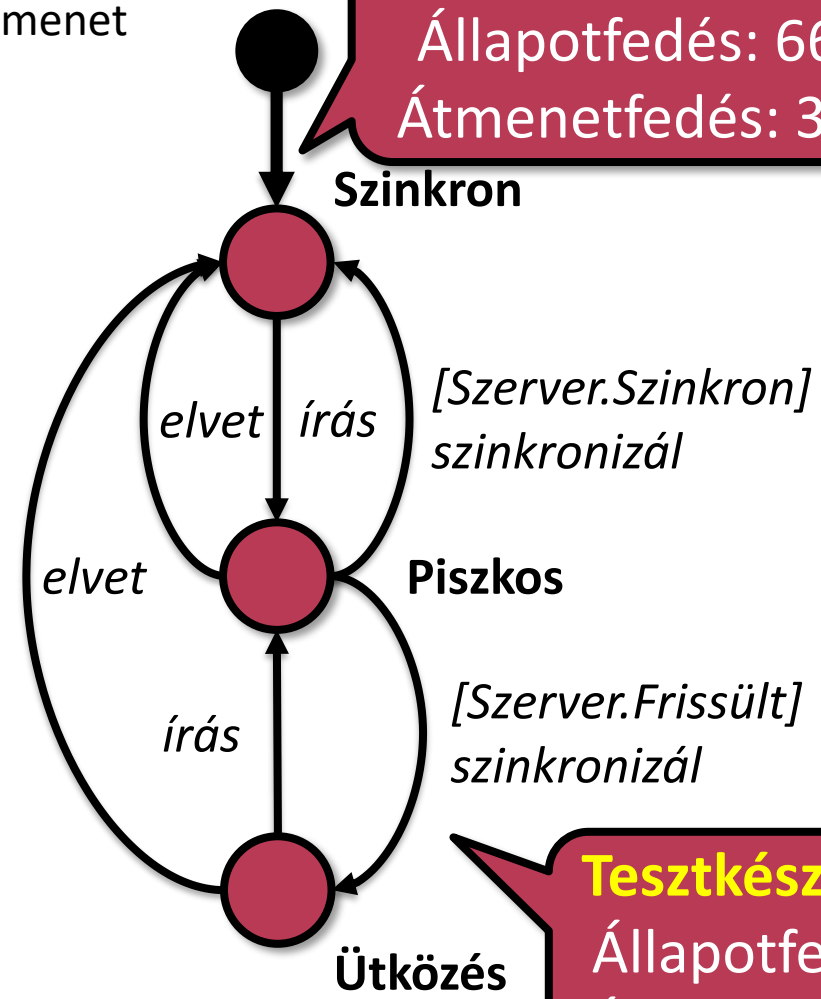
Példa: Felhőalapú adattárolás



„Felhő alapú adattárolást modellezünk, egyetlen állományra szorítkozva. A kliens írhatja az állományt, szinkronizálhat a szerverrel és elvetheti a helyi módosításokat. A szerveren tárolt változat verziójától függően a szinkronizálás ütközést is okozhat, ha más is módosította az állományt.”

Példa: Felhőalapú adattárolás

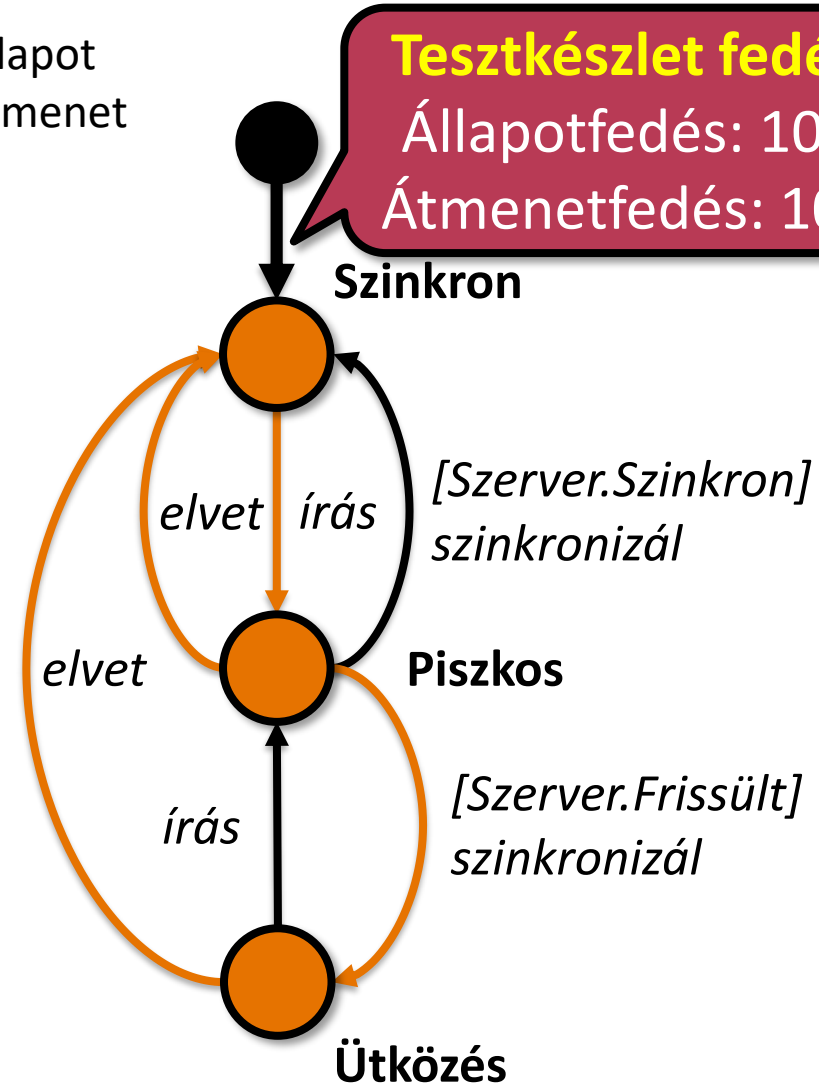
3 állapot
6 átmenet



1. Teszteset:
   a) írás
   b) elvet
2. Teszteset:
   a) írás
   b) Szerver = Frissült
   c) szinkronizál
   d) elvet

Példa: Felhőalapú adattárolás

3 állapot
6 átmenet



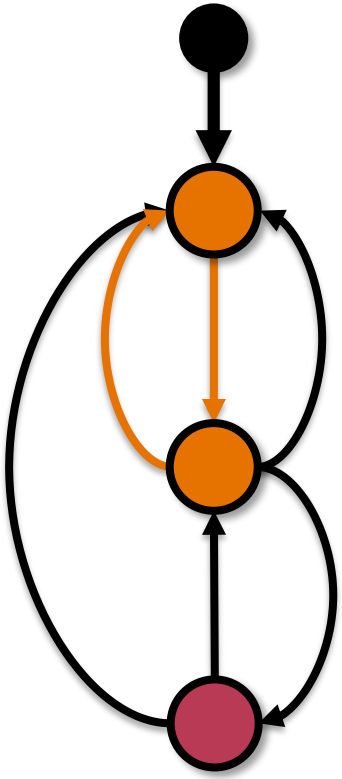
3. Teszteset:
   a) írás
   b) Szerver = Frissült
   c) szinkronizál
   d) írás
   e) Szerver = Szinkron
   f) szinkronizál

Fedettség

1. Teszteset után:

Állapotfedés: 2/3=66%

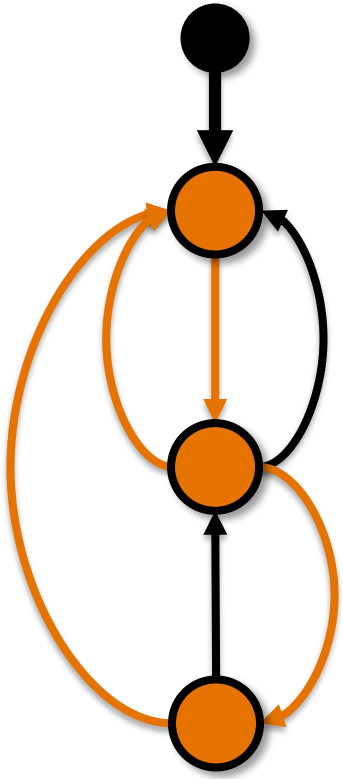
Átmenetfedés: 2/6=33%



2. Teszteset után:

Állapotfedés: 3/3=100%

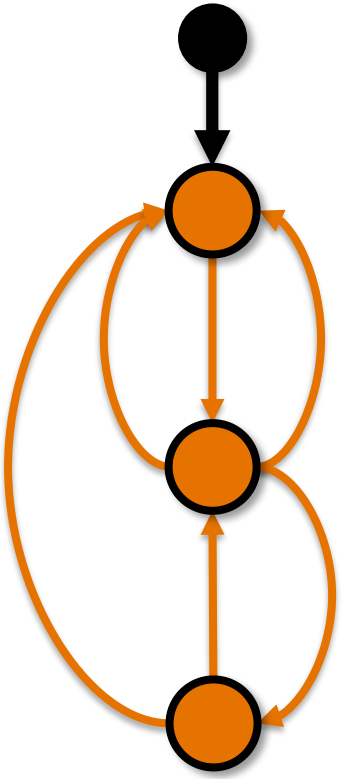
Átmenetfedés: 4/6=66%



3. Teszteset után:

Állapotfedés: 3/3=100%

Átmenetfedés: 6/6=100%



Tesztelt modellek használata

- **Szoftvertesztelés:**
  - (100%-osan fedő) tesztkészlet újrafelhasználása
  - Fedő tesztbemenetek (bemenet)
  - Modell által adott kimenetek (elvárt kimenet)
- **Monitorozás:** a modell szimulálása a szoftver futtatása mellett
  - Azonos bemenetek a modellnek és a programnak
  - Kimenetek összevetése → **hibadetektálás**
- **Logelemzés:**
  - Monitor futtatása naplózott bemenetek/kimeneten

Tesztelt modellek használata

- **Szoftvertesztelés:**
  - (100%-osan fedő) tesztkészlet újrafel
  - Fedő tesztbemenetek (bemenet)
  - Modell által adott kimenetek (elvárt kimenet)
- **Monitorozás:** a modell szimulálása a szoftver futtatása mellett
  - Azonos bemenetek a modellnek és a
  - Kimenetek összevetése → **hibadetektálás**
- **Logelemzés:**
  - Monitor futtatása naplózott bemene

Futtatás **előtt**

Futtatás **közben**

Futtatás **után**

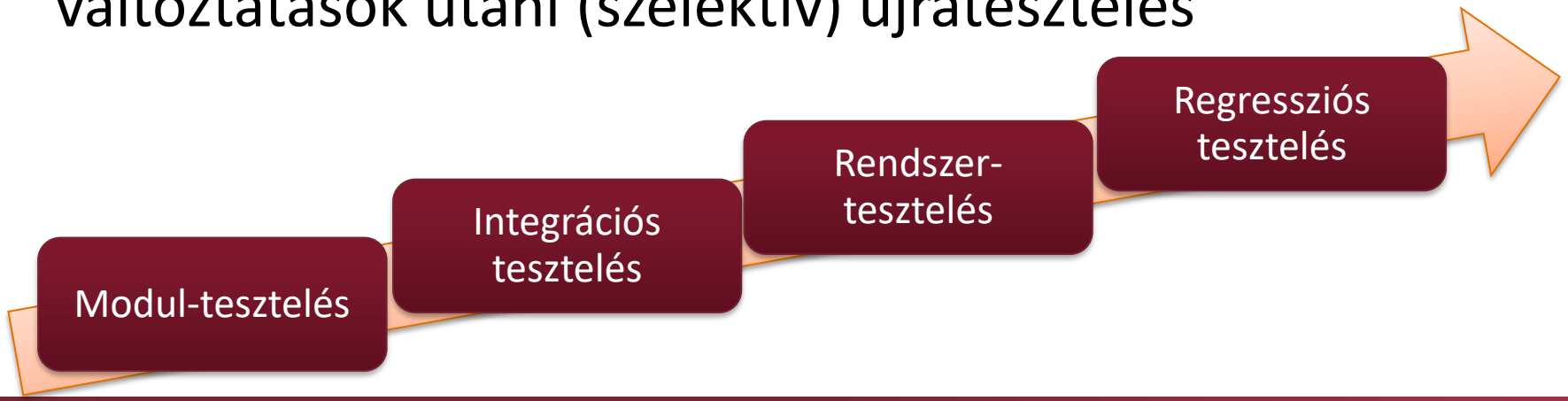
Tesztdokumentáció

- A teszteseteket és teszteredményeket is dokumentálni kell!
  - Mit vizsgál?
  - Milyen követelmény alapján?
  - Milyen bemenettel?
  - Futott-e már?
  - Ha igen, sikeres volt?

- Nyomonkövethetőség:
  - Teszteletlen kódrészletek és ellenőrizetlen követelmények felderítése
  - Teszteredmények nyilvántartása

Tesztek fajtái, szakaszai

- **Modulltesztelés:**
  egy komponens leválasztása és tesztelése
- **Integrációs tesztelés:**
  több komponens együttes tesztelése
- **Rendszertesztelés:**
  a teljes rendszer együttes tesztelése
- **Regressziós tesztelés:**
  változtatások utáni (szelektív) újratesztelés



Alapfogalmak

Statikus ellenőrzés

Tesztelés

Formális verifikáció

FORMÁLIS VERIFIKÁCIÓ

Modellellenőrzés

Formális verifikáció

- **Formális verifikáció:** modellek/programok helyességének bizonyítása matematikai eszközök segítségével
  - Bővebben lásd: Formális Módszerek MSc tárgy
- Eszközök:
  - **Modellellenőrzés**
    - Lehetséges viselkedések kimerítő vizsgálata
  - Automatikus helyességbizonyítás
    - Axiómarendszerek alapján automatikus tételbizonyítás
  - Konformancia vizsgálatok
    - Megfelelőség ellenőrzése modellek között

Modellellenőrzés

- **Modellellenőrzés:** a modell lehetséges viselkedéseinek kimerítő (teljes) vizsgálata adott követelmények alapján
  - Hibás működések keresése

    → **ellenpélda**

Tesztelés	Modellellenőrzés
Szúrópróbaszerű	Kimerítő/teljes
Elvárt kimeneteket ellenőriz	Állapotok sorozatát ellenőrzi
Kisebb számítási igényű	Nagy számítási igényű
Nem bizonyítóerejű	Formálisan bizonyít