

# Szoftver modul/unit tesztelés

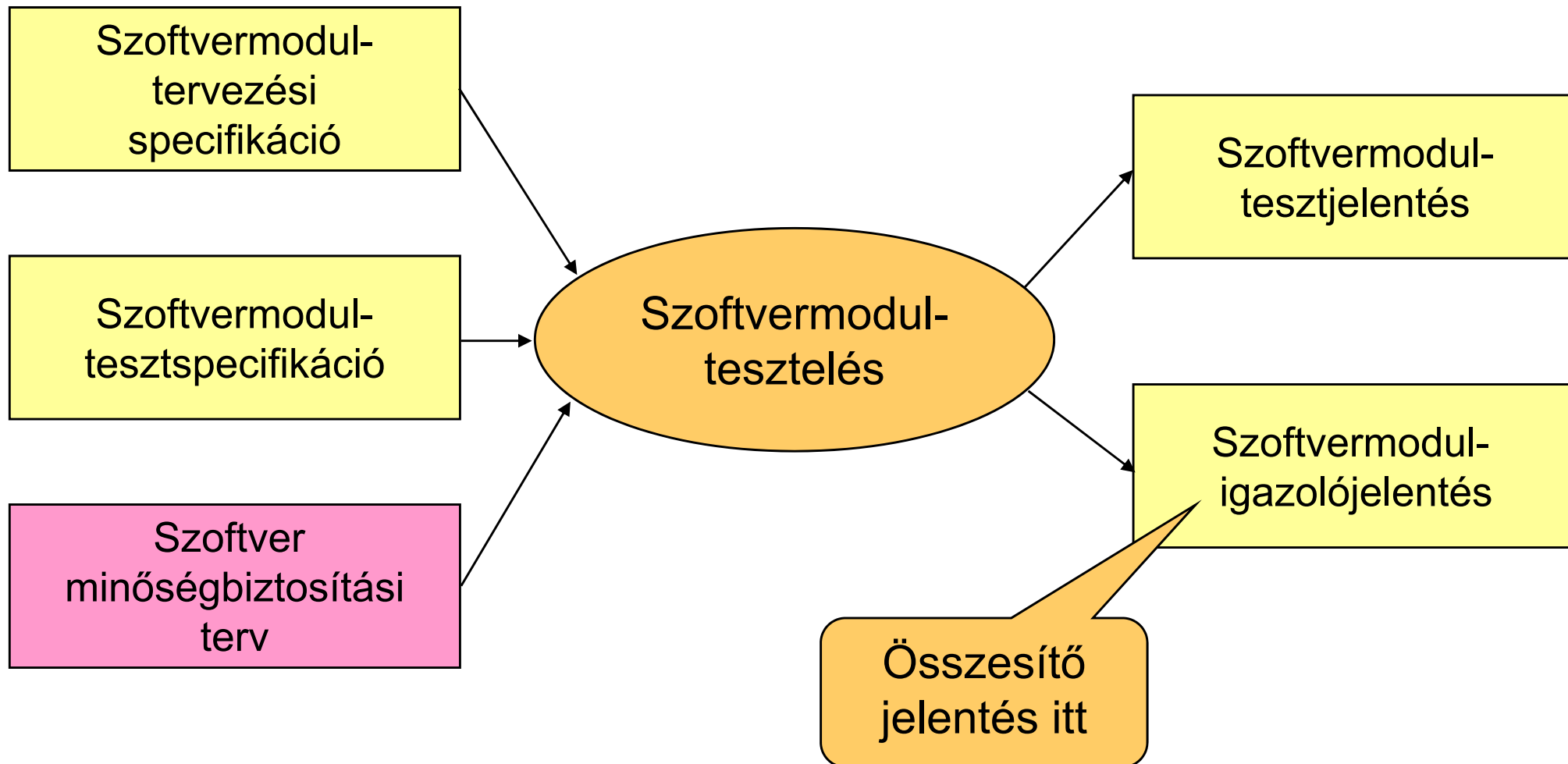
Majzik István, Micskei Zoltán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

<http://www.mit.bme.hu/>

# Szoftvermodul tesztelés



# Szabványok előírásai (EN 50128)

- Funkcionális és fekete doboz tesztelés (HR)
  - Határtérték elemzés (HR)
  - Ekvivalencia osztályok és bemeneti adatfelosztás (HR)
  - Ok-okozati diagramok
  - Folyamatszimuláció
  - Prototípus készítés / animáció
- Teljesítmény-tesztelés
  - Lavina / stressz tesztelés (SIL 1 R -> SIL 3 HR)
  - Válaszidő- és memóriakikötések (HR)
  - Teljesítmény követelmények (HR)
- Interfész-tesztelés (HR)
- Adatrögzítés és elemzés (HR)
- Strukturált alapú tesztelés (SIL1 R -> SIL3 HR)

# Szoftvermodul tesztelési célok

## Tesztelés:

- A program olyan futtatása, hogy a **hibák kiderüljenek**

## Kimerítő tesztelés:

- Minden lehetséges futást kipróbál
- Gyakorlatban nem kivitelezhető

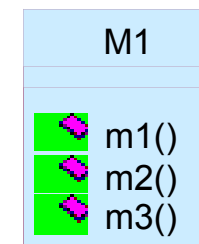
## Mottók:

- Dijkstra: A tesztelés csak **hibák jelenlétét**, és nem hibamentességet tud kimutatni.
- Hoare: A tesztelés egy **induktív bizonyítás** része:  
Ha a program jól működik egy adott teszt adatra,  
akkor várhatóan *hasonló adatokra* is jól működik.

# Teszttervezés módszerei

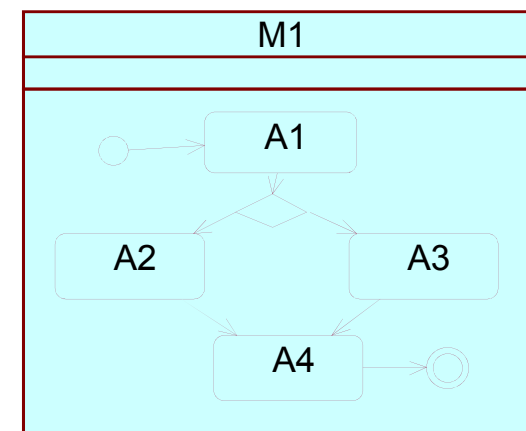
## I. Specifikáció alapú tesztelés

- A rendszer mint „fekete doboz” adott
- Csak a külső viselkedés (funkció) ismert, a belső felépítés (pl. forráskód) nem
- Tesztelés alapja: **specifikált funkciók** léte; extra funkciók hiánya



## II. Struktúra alapú tesztelés

- A rendszer mint „üvegdoboz” adott
- A belső struktúra is ismert
- Tesztelés alapja a belső működés: programgráf bejárása



# I. Specifikáció alapú tesztelési módszerek

## Cél:

- A funkcionális specifikációra építve,
- reprezentatív adatok keresése az egyes funkciók teszteléséhez.

## Módszerek:

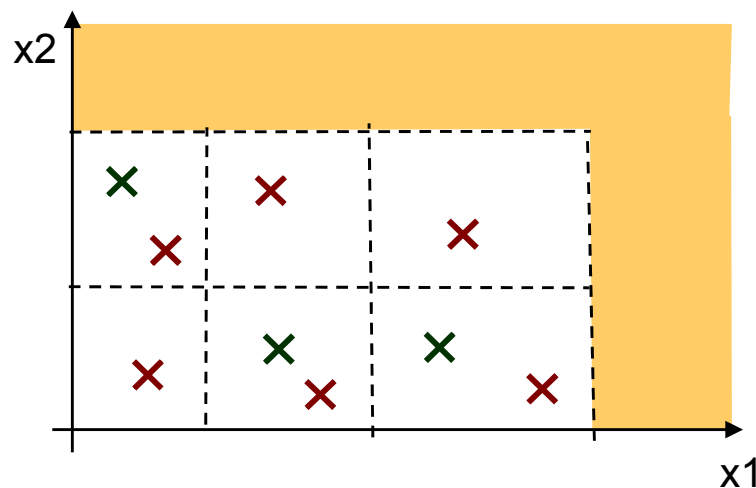
1. Ekvivalencia particionálás
2. Határérték-analízis
3. Ok-hatás analízis / Döntési táblák
4. Kombinatorikus módszerek
5. Véges automata alapú
6. Használati eset tesztelés

# 1. Ekvivalencia particionálás

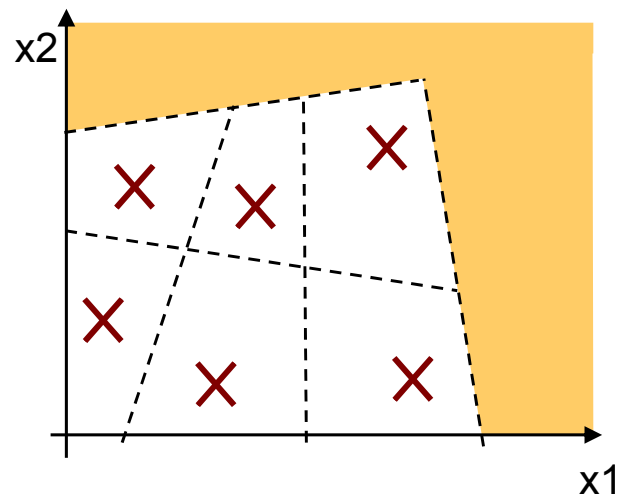
- **Bemenet és kimenet ekvivalencia osztályai:**
  - Adatok, amelyek várhatóan **ugyanazt a hibát fedik le** (ugyanazt a programrészt járják be)
  - Cél: **Egy-egy** ekvivalencia osztályból **egy-egy** teszt adat (az adott bemenethez illetve kimenet alapján); a többi adat esetén a helyesség induktívan következik
- **Meghatározás heurisztikus folyamat:**
  - Egyező funkcionalitást indító adatok, hasonló eredmények
  - **Érvényes és érvénytelen** adatok
- **Bemenet értelmezését ismerni kell**
  - Tesztelő tudásán múlik a módszer hatékonysága

# Példa: Gyenge és erős ekvivalencia osztályok

- Tesztek meghatározása több bemenet esetén:
  - **Érvényes** ekvivalencia osztályok:  
egy teszt minél több osztályt fedjen le
  - **Érvénytelen** ekvivalencia osztályok:  
először minden érvénytelen osztályhoz külön teszt legyen  
(egymás hatását ne oltsák ki), majd több osztály kombinációja



- Gyenge ill.
- **Erős** normál ekvivalencia osztályok



- Dimenzióként nem függetlenül alakítható partíciók: **Erős** osztályok

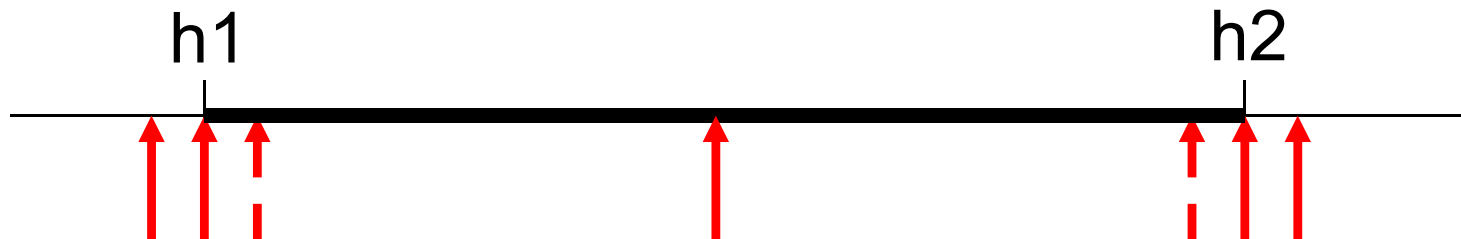


# Példa: NextDate program ekvivalencia osztályok

Bemenet	Érvényes	Érvénytelen
Hónap	V1: 30 napos hónap V2: 31 napos hónap V3: február	I1: $\geq 13$ I2: $\leq 0$ I3: nem szám I4: üres
Nap	V4: 1-30 V5: 1-31 V6: 1-28 V7: 1-29	I5: $\geq 32$ I6: $\leq 0$ I7: nem szám I8: üres
Év	V8: 1582-9999 V9: nem szökőév V10: szökőév V11: század nem szökőév V12: század szökőév	I9: $\leq 1581$ I10: $\geq 9999$ I11: nem szám I12: üres
Speciális	V13: 1752.09.03-1752.09.13.	I13: 1582.10.5-1582.10.14.

## 2. Határérték-analízis

- Az adattartományok határait vizsgálja
  - Egy-egy ekvivalencia osztály **határaitra** koncentrál
  - **Bemeneti és kimeneti** tartományokra is
  - Alsó és felső határokra
- Tipikus megtalált hibák
  - Hibás relációs operátorok
  - Hibák a ciklusok be- és kilépési feltételeinél
  - Hibák az adatstruktúrák méreténél
- Tipikus adatok:
  - Egy határérték 3 tesztet jelent, egy tartomány 5-7 tesztet jelent



### 3. Ok-hatás analízis

A bemenetek és kimenetek kapcsolatának vizsgálata  
(ha ez egyszerűen leírható)

- **Ok**: egy-egy bemeneti ekvivalencia osztály
- **Hatás**: egy-egy kimeneti ekvivalencia osztály
- Ezekből logikai változókat képzünk

Boole-gráf: Okok és hatások összekapcsolása

- ÉS, VAGY kapcsolatok
- Meg nem engedett kombinációk

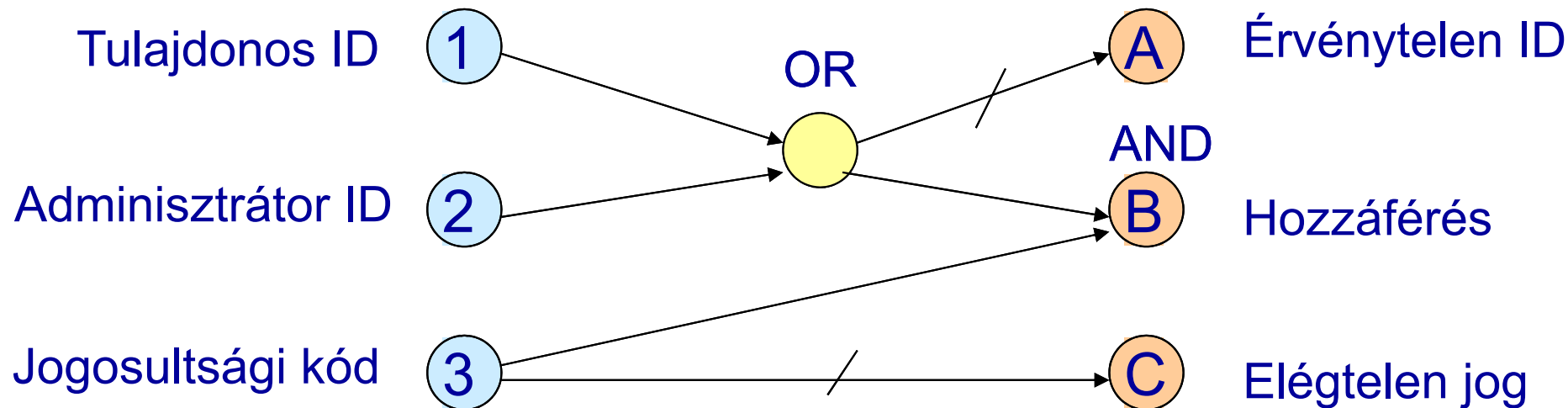
Tesztelési cél: A gráf szisztematikus végigjárása

- Logikai hálózat igazságtáblázatának lefedése
- Egy oszlop egy tesztnek felel meg

# Példa: Ok-hatás leírása

Bemenetek:

Kimenetek:



	T1	T2	T3	...	
Bemenetek	1	0	1	0	
	2	1	0	0	
	3	1	1	1	
Kimenetek	A	0	0	1	
	B	1	1	0	
	C	0	0	0	

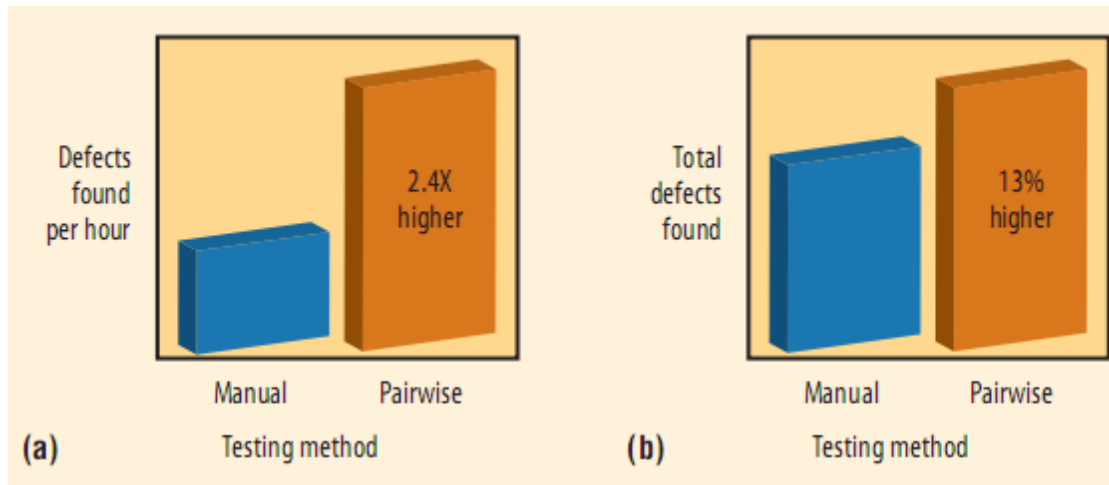
## 4. Kombinatorikus módszerek

- Paraméterek kombinációja
  - Paraméterek kombinációja okozza a legtöbb hibát
  - Ritka kombinációk veszélyesek lehetnek
- Ad hoc, „best guess”
  - Intuíció, követelmények, tipikus hibák alapján
- Minden választás (each choice)
  - Minden lehetőség szerepeljen egyszer (alapkészlet)
- N-szeres tesztelés (n-wise testing)
  - Tetszőlegesen választott  $n$  darab paraméter **minden lehetséges kombinációjának** lefedése a tesztelési cél
  - Speciális eset ( $n=2$ ): **Páronkénti tesztelés**
  - Eszközök: Pl. <http://www.pairwise.org>

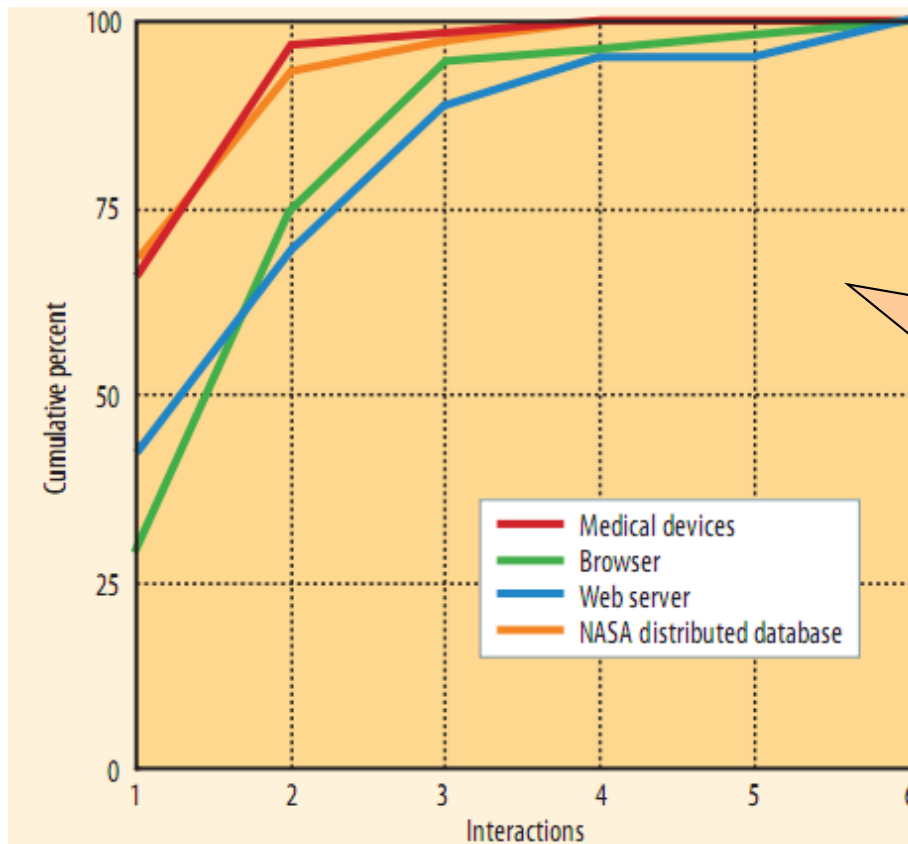
## Példa: Pair-wise tesztelés

- Adottak a következő konfigurációs lehetőségek:
  - OS: Windows, Linux
  - CPU: Intel, AMD,
  - Protocol: IPv4, IPv6
- Kombinációk száma?
- Páronkénti tesztelést megvalósító tesztkészlet?
- Lehetséges megoldás:
  - 1: Windows, Intel, IPv4
  - 2: Windows, AMD, IPv6
  - 3: Linux, Intel, IPv6
  - 4: Linux, AMD, IPv4

# Példa: N-wise testing hatékonysága



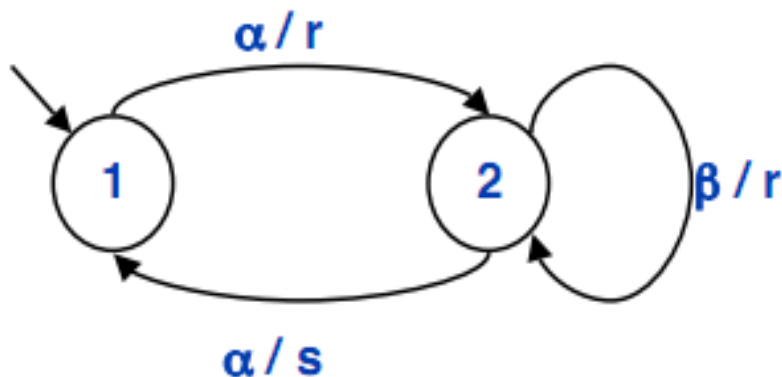
Ad-hoc és páronként szisztematikus tesztelés összehasonlítása (10 projektre)



A hibák jelentős része 2 paraméter kapcsolatán múlik (de alkalmazástól függően lehet még elég sok hiba, ami 3 vagy több paraméter speciális kombinációja esetén deríthető ki)

## 5. Véges automata alapú tesztelés

- Specifikáció egy véges automatával adott
- Tipikus tesztelési célok:
  - Minden állapot, minden átmenet, nem megengedett átmenetek tesztelése, stb.



- Problémák:
  - Milyen állapotban van a rendszer?
  - Végállapot / kezdőállapot
- Módszerek
  - Automatikus tesztgenerálás (ld. később)
  - W, Wp módszerek



## 6. Használati eset tesztelés

- Tesztek származtathatók a használati esetekből
- Tesztesetek:
  - Fő ág („happy path”, „mainstream”)
    - Ellenőrzés: utófeltételek vizsgálata
  - Alternatív lefutások: mindegyikhez külön teszteset
  - Előfeltételek (nem)teljesülése
- Tipikusan integrációs és elfogadási tesztek része

# Módszerek együttes alkalmazása

## Alap módszerek tipikus sorrendje:

1. Ekvivalencia particionálás
2. Határérték-analízis
3. Ok-hatás analízis, vagy kombinatorikus, vagy véges automata alapú

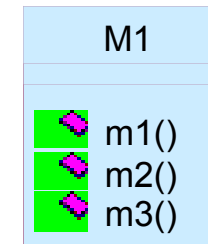
## Kiegészítés: Véletlen tesztek

- Véletlen teszt adatok generálása
- Kis számítási teljesítményt igényel, gyors
- Hibafedése nem garantálható
- Teszt eredmény kiértékelése:
  - Válasz számítása, szimulálása
  - Csak „elfogadhatósági vizsgálat” (durva hibák kiszűrése)

# Teszttervezés módszerei

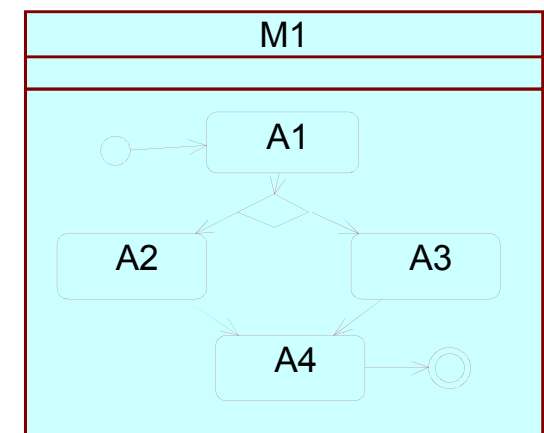
## I. Specifikáció alapú tesztelés

- A rendszer mint „fekete doboz” adott
- Csak a külső viselkedés (funkció) ismert, a belső felépítés (pl. forráskód) nem
- Tesztelés alapja: specifikált funkciók léte; extra funkciók hiánya



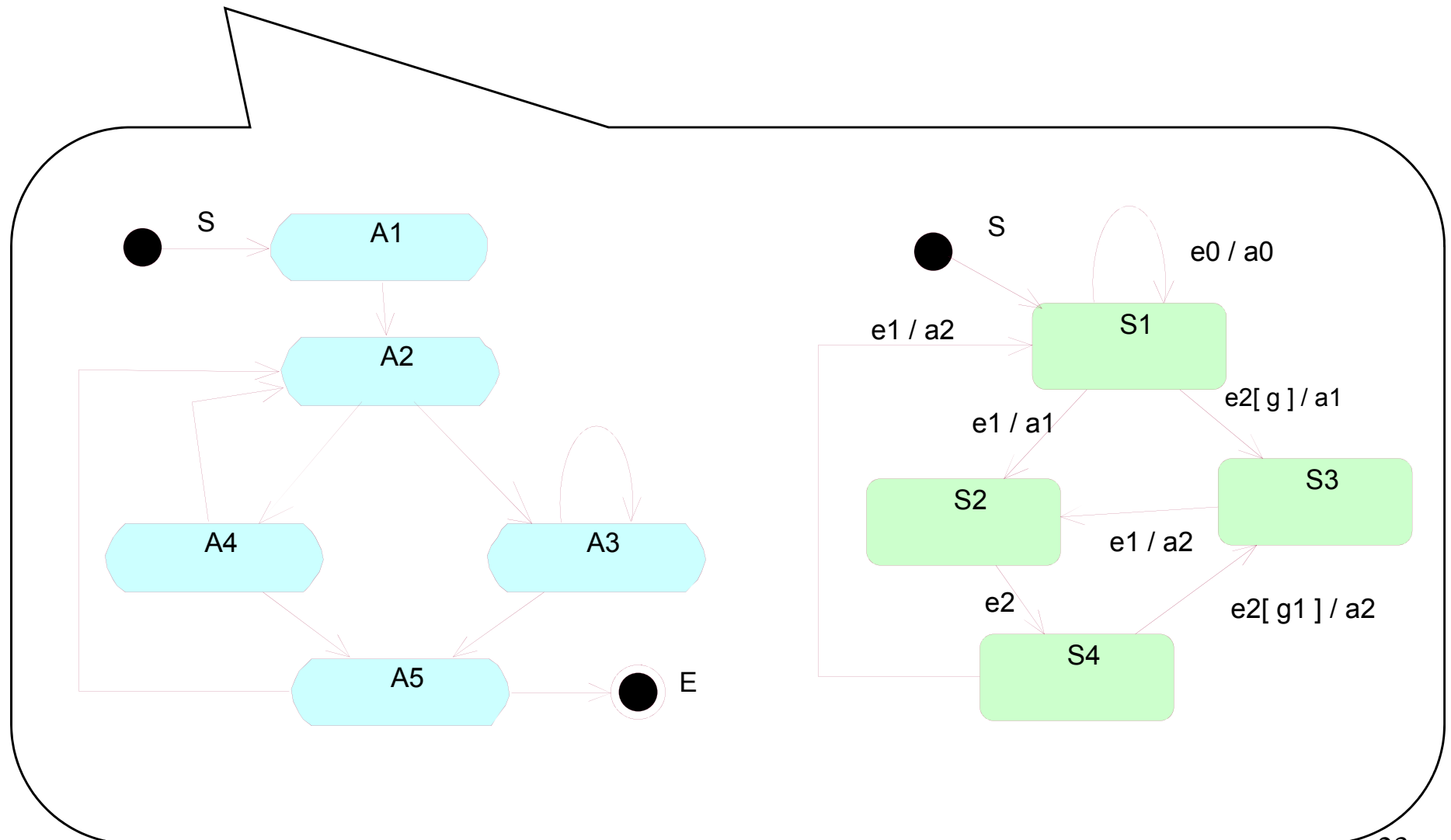
## II. Struktúra alapú tesztelés

- A rendszer mint „üvegdoboz” adott
- A belső struktúra is ismert
- Tesztelés alapja a **belső működés**: programgráf bejárása



# A belső struktúra

- Jól kezelhető struktúra:
  - **Modell alapján:** pl. aktivitás diagram, állapottérkép diagram



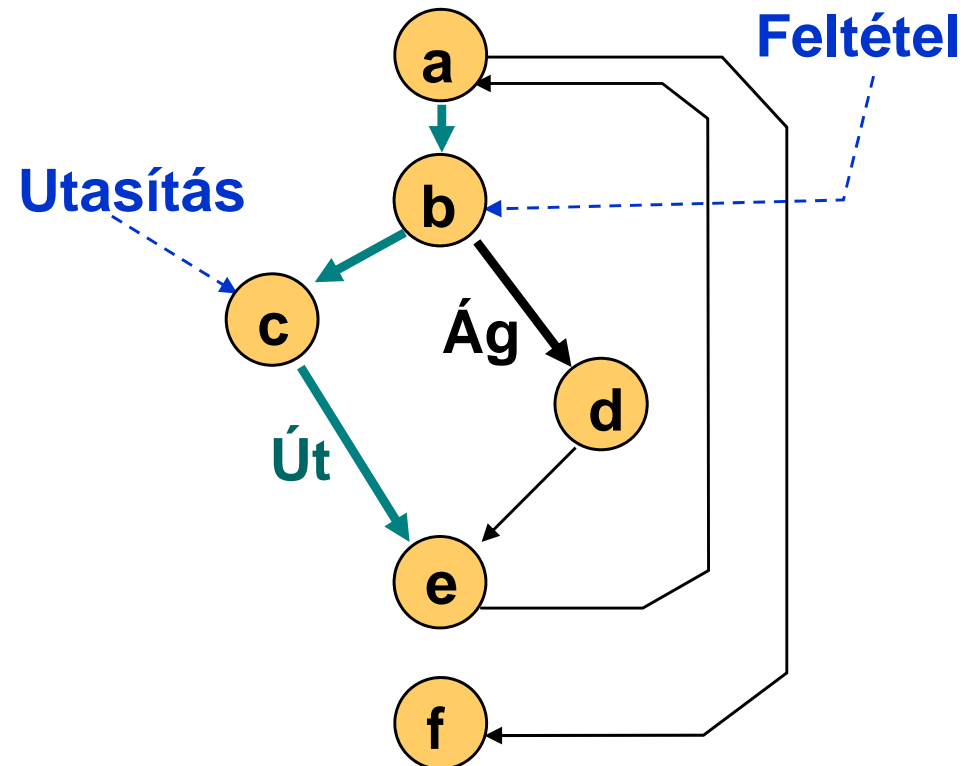
# A belső struktúra

- Jól kezelhető struktúra:
  - Modell alapján: pl. aktivitás diagram, állapottérkép diagram
  - **Forráskód alapján:** vezérlési gráf (programgráf)

## Forráskód:

```
a: for (i=0; i<MAX; i++) {  
b:   if (i==a) {  
c:     n=n-i;  
   } else {  
d:     m=n-i;  
   }  
e:   printf(“%d\n”,n);  
   }  
f:   printf(“Ready.”)
```

## Vezérlési gráf:



# Tesztminőségi mértékszámok

A tesztelés hatékonyságának számszerű jellemzése:

A tesztelhető elemek mekkora részét teszteltük, pl.

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1. Utasítások        | → Utasítás fedettség   |
| 2. Döntési ágak      | → Döntési ág fedettség |
| 3. Feltételek        | → Feltétel fedettség   |
| 4. Végrehajtási utak | → Út fedettség         |

**Ez nem a hibafedés!**

Szabványok előírása lehet (DO-178B, MSZ EN 50128,...)

- 100% utasítás fedettség általában alapkövetelmény

# Mértékszámok (kritériumok) áttekintése

- Vezérlési folyamat alapú kritériumok
  - Utasítás lefedettség
  - Döntési ág lefedettség
  - Feltétel lefedettségek
  - Útvonal lefedettség
- Adatfolyam alapú kritériumok
  - Definiálás – használat fedettségek
  - Definíciómentes útvonalak fedettsége
- Módszerek kombinációja

# Alapfogalmak

- Utasítás (statement)
- Blokk (block)
  - Utasítások egybefüggő sorozata, amik között nincs elágazás vagy függvényhívás
- Feltétel (condition)
  - Egyszerű vizsgálat, amiben nincs logikai (Boole) operátor
- Döntés (decision)
  - Egy ág bejárásának eldöntéséhez tartozó, nulla vagy több logikai operátorral összekötött feltételből álló kifejezés
- Út (path)
  - Utasítások sorozata, tipikusan a modul be és kilépési pontja között

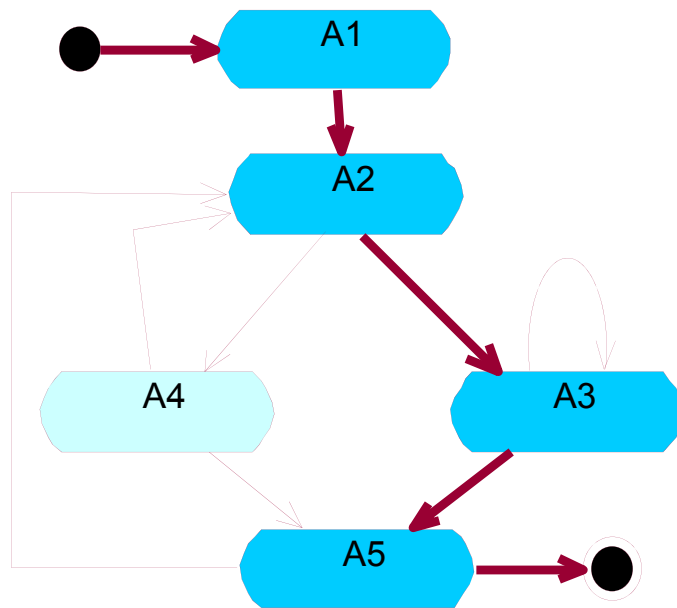


# 1. Utasítás lefedettség (Statement coverage)

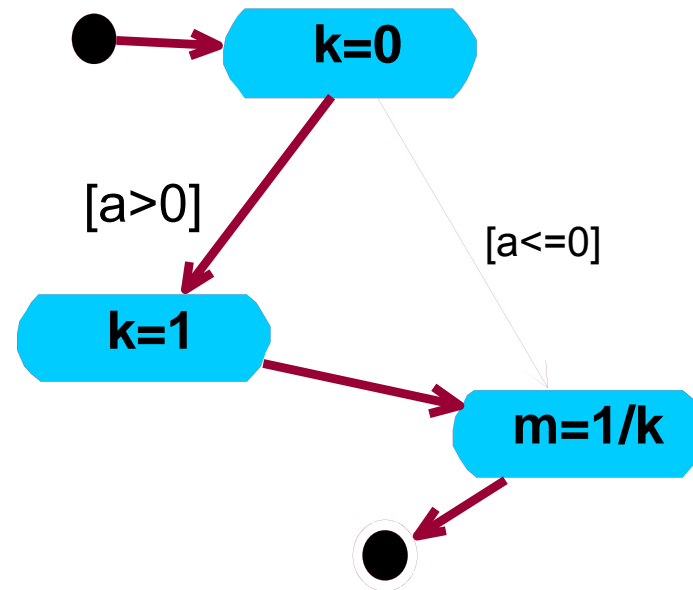
## Definíció:

Tesztelés során végrehajtott utasítások száma  
Összes utasítás száma

Utasítások kihagyási feltételeit nem veszi figyelembe!



Utasítás fedettség: 80%



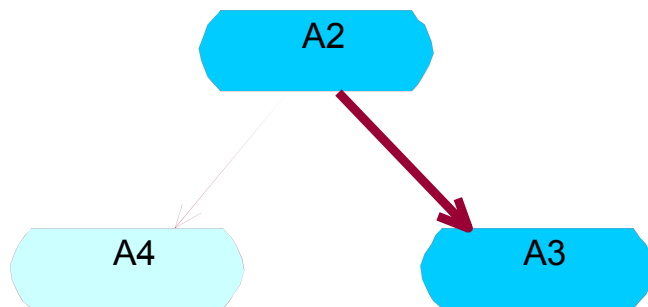
Utasítás fedettség: 100%

## 2. Döntés lefedettség (Decision coverage)

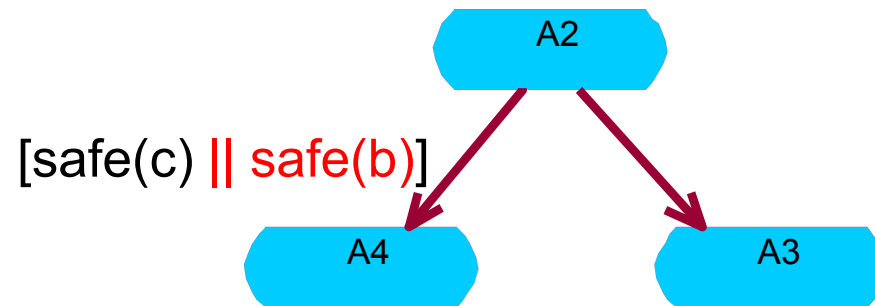
### Definíció:

$$\frac{\text{Tesztelés során végrehajtott döntési ágak száma}}{\text{Összes lehetséges döntési ág száma}}$$

Nem vesz figyelembe minden feltétel-kombinációt!



Döntési ág fedettség: 50%



Döntési ág fedettség: 100%

### 3. Feltétel lefedettség (Condition coverage)

Generikus fedettségi mérték feltétel fedettségekhez:

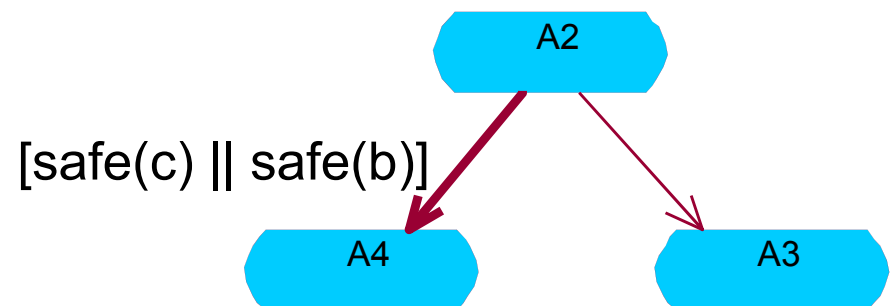
$$\frac{\text{Feltételek tesztelt kombinációinak száma}}{\text{Feltételek megcélzott kombinációinak száma}}$$

Definíció (milyen kombinációkat célzunk meg):

- Minden feltétel legyen igaznak és hamisnak is beállítva a tesztelés során
  - Nem feltétlenül eredményez 100% döntés lefedettséget!

Példa 100%-os feltétel lefedettséghez:

1. `safe(c) = true, safe(b) = false`
2. `safe(c) = false, safe(b) = true`



Más definíció:

- Minden feltételt igaznak és hamisnak is **kiértékelünk**
  - Ez nem ugyanaz mint a fenti, a lusta kiértékelés miatt

## 4. Feltétel/döntés lefedettség

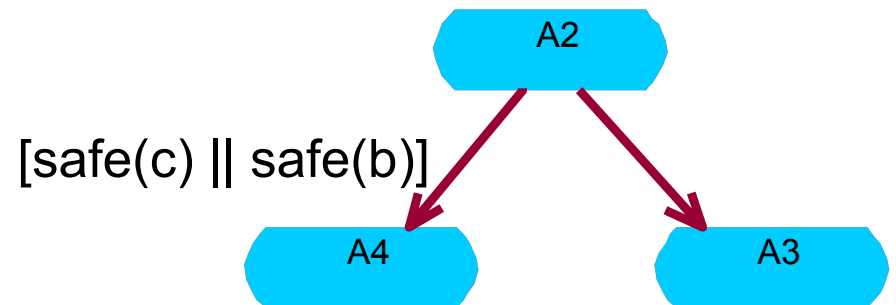
### Condition/Decision Coverage (C/DC)

#### Definíció:

- Minden feltétel felveszi az összes lehetséges kimenetét legalább egyszer, és
- minden döntés felveszi az összes lehetséges kimenetét egyszer

100%-os C/DC lefedettséghez:

1. `safe(c) = true, safe(b) = true`
2. `safe(c) = false, safe(b) = false`



Nem vizsgálja meg, hogy a feltételnek tényleg van-e hatása a döntés eredményére!

## 5. Módosított feltétel/döntés lefedettség

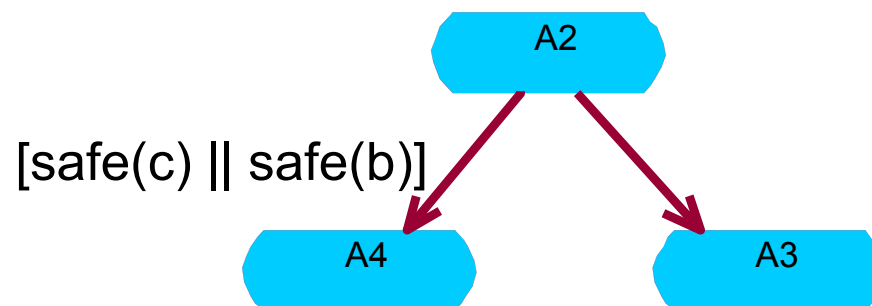
### Modified Condition/Decision Coverage (MC/DC)

#### Definíció:

- Minden feltétel felveszi az összes lehetséges kimenetét legalább egyszer, és
- minden döntés felveszi az összes lehetséges kimenetét egyszer, és
- minden feltétel a többitől függetlenül befolyásolja a hozzá tartozó döntés kimenetelét

100%-os MC/DC lefedettséghez:

1.  $\text{safe}(c) = \text{true}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{false}$
2.  $\text{safe}(c) = \text{false}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{true}$
3.  $\text{safe}(c) = \text{false}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{false}$



## 6. Minden feltétel kombináció lefedettsége

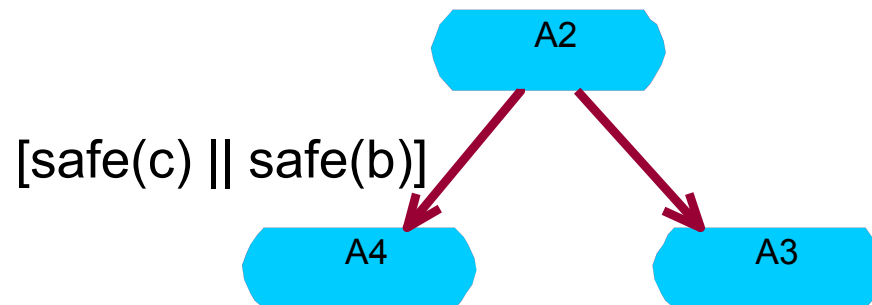
### Multiple Condition Coverage

#### Definíció:

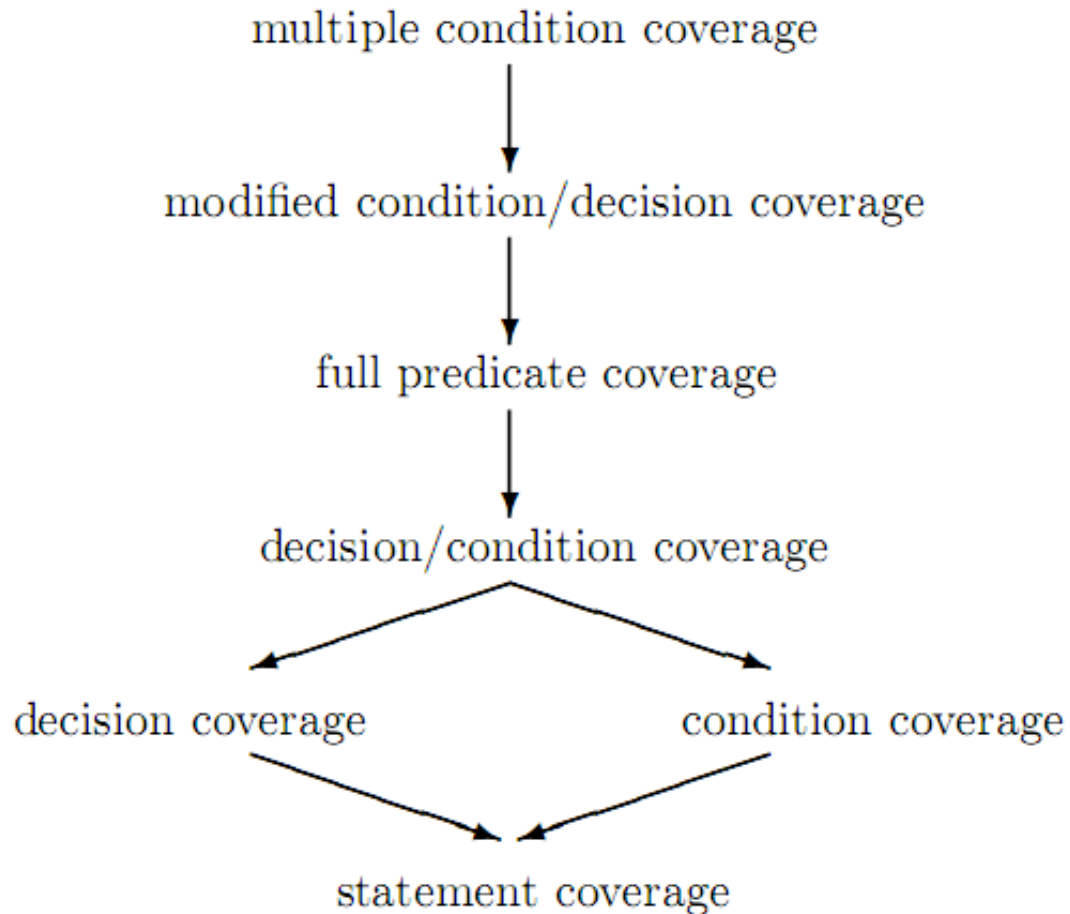
- A feltételek kimeneteinek minden lehetséges kombinációja bekövetkezett a tesztelés során
  - Általában a feltételek számával exponenciálisan növekedő számú teszt szükséges
  - Kevesebb, ha a lusta kiértékelést is figyelembe vesszük

100%-os feltétel kombináció lefedettséghez:

1.  $\text{safe}(c) = \text{true}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{false}$
2.  $\text{safe}(c) = \text{false}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{true}$
3.  $\text{safe}(c) = \text{false}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{false}$
4.  $\text{safe}(c) = \text{true}$ ,  $\text{safe}(b) = \text{true}$



# Feltétel és döntési lefedettségek összefoglalása



Vezérlési folyamat  
alapú kritériumok  
viszonya

Forrás: S. A. Vilkomir and J. P. Bowen, "From MC/DC to RC/DC: formalization and analysis of control-flow testing criteria," *Formal Aspects of Computing*, vol. 18, no. 1, pp. 42-62, 2006.

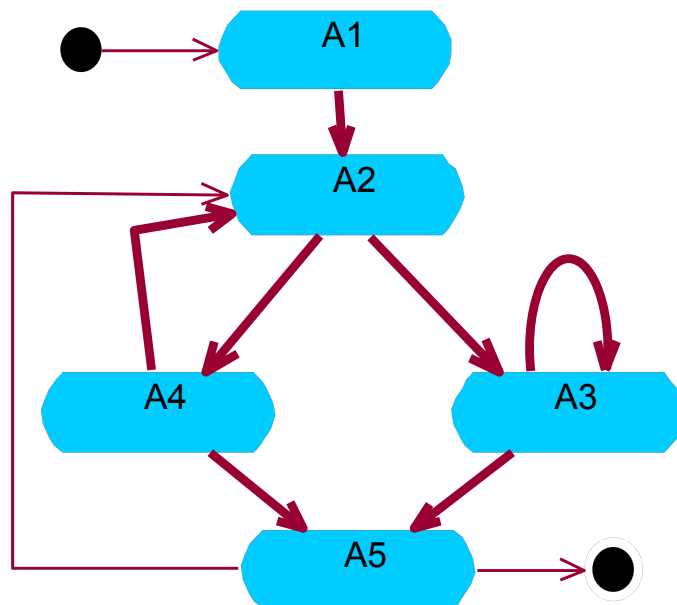
## 7. Alap út lefedettség (Basis path coverage)

### Definíció:

Tesztelés során bejárt független utak száma  
Összes független út száma

100% út lefedettség együtt jár:

- 100% utasítás lefedettség, 100% döntés lefedettség
- feltétel lefedettség nem garantált



Út fedettség: 80%

Utasítás fedettség: 100%



## Tesztelés az út fedettség alapján 1/2

- **Cél: Független utak bejárása**
  - Független utak a tesztelés szempontjából:  
Van olyan utasítás vagy elágazás,  
ami a másokban nincs meg
- **A független utak maximális száma:**
  - **CK**, ciklomatikus komplexitás
  - Szabályos vezérlési gráf alapján meghatározható:  
 $CK(G)=E-N+2$ , ahol
    - E**: élek száma
    - N**: csomópontok száma a **G** vezérlési gráfban  
(vezérlési gráf összekötött, 1 kimenet és 1 bemenet)
- **A független utak halmaza nem egyedi**

# Tesztelés az út fedettség alapján 1/2

- **Cél: Független utak**

- Független utak
- Van olyan út, ami a másikba nem kerül

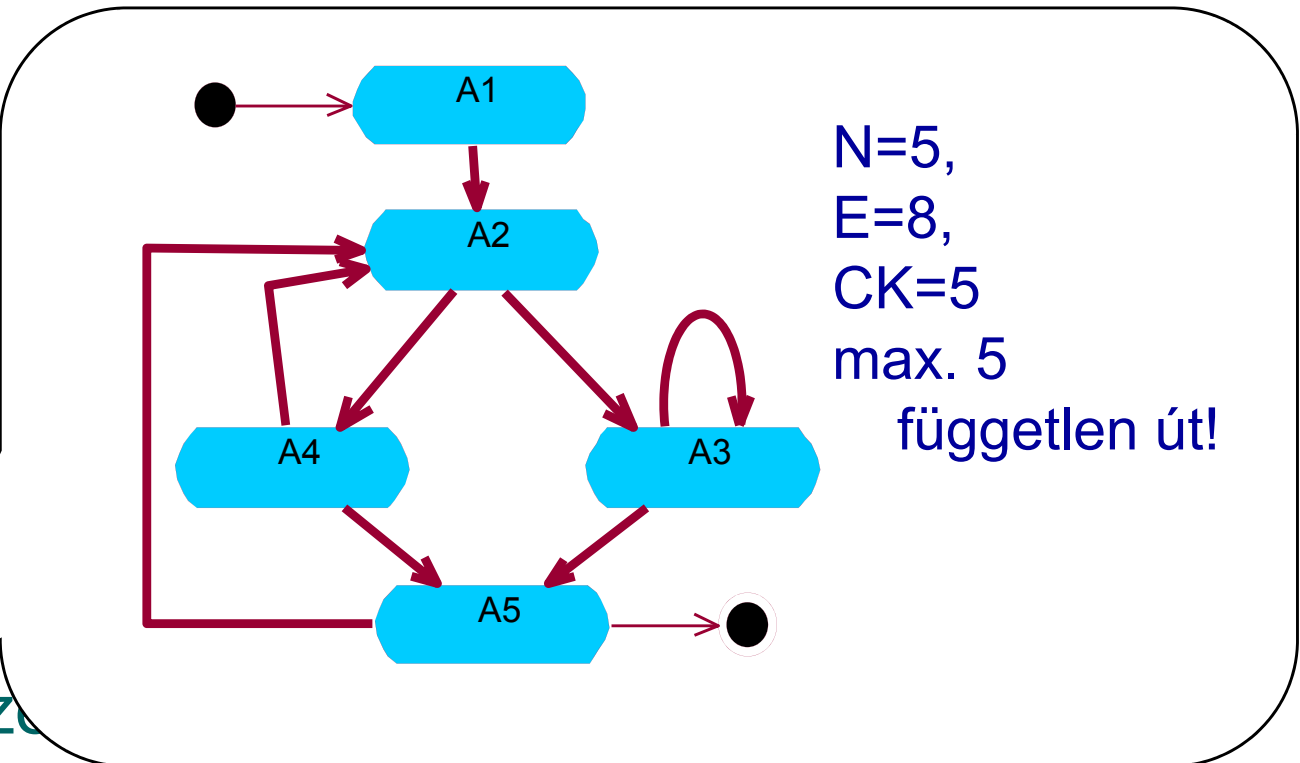
- **A független utak**

- **CK**, cikloma
- Szabályos vezérlés  
 $CK(G)=E-N+2$ , ahol

**E**: élek száma

**N**: csomópontok száma a **G** vezérlési gráfban  
(vezérlési gráf összekötött, 1-1 kimenet és bemenet)

- **A független utak halmaza nem egyedi**



## Tesztelés az út fedettség alapján 2/2

- Algoritmus:
  - Max. CK számú független út kiválasztása
  - Bemenetek generálása egy-egy út bejárásához
- Problémák:
  - Nem minden út bejárható (ld. feltételek).
    - Generálható-e az úthoz bemeneti szekvencia?
    - Lehetséges-e a belső változók beállítása?
  - Ciklusok: Korlátozni (minimalizálni) kell a bejárást!
- Teljesen automatikus módszerek nem léteznek

# Kiegészítő fedettségi mértékek

- Loop
  - Ciklusok 0 (ahol értelmezhető), 1, illetve többszöri végrehajtása
- Race
  - Több szál futása egyszerre egy-egy kódrészleten
- Relational operator
  - Határértékek használata összehasonlító operátorok esetén
- Weak mutation
  - Operátor vagy operandus hibákra tesztek készítése
- Table
  - Ugrási táblák (állapotgép megvalósítások) teljes tesztelése
- Linear code sequence and jump
  - Lineáris szekvenciák fedése a forráskódban (lehetnek benne vezérlési utasítások, de lineárisan bejárva)
- Object code branch
  - Gépi kódú feltételes ugrások fedése (fordító függő)

## Példa: Vezérlési folyamat alapú kritériumok

```
Product getProduct(String name, Category cat){
    if (name == null || ! cat.isValid)
        throw new IllegalArgumentException();

    Product p = ProductCache.getItem(name);

    if (p == null){
        p = DAL.getProduct(name, cat);
    }

    return p;
}
```

Cél: Utasítás fedettség, döntési ág fedettség, C/DC fedettség

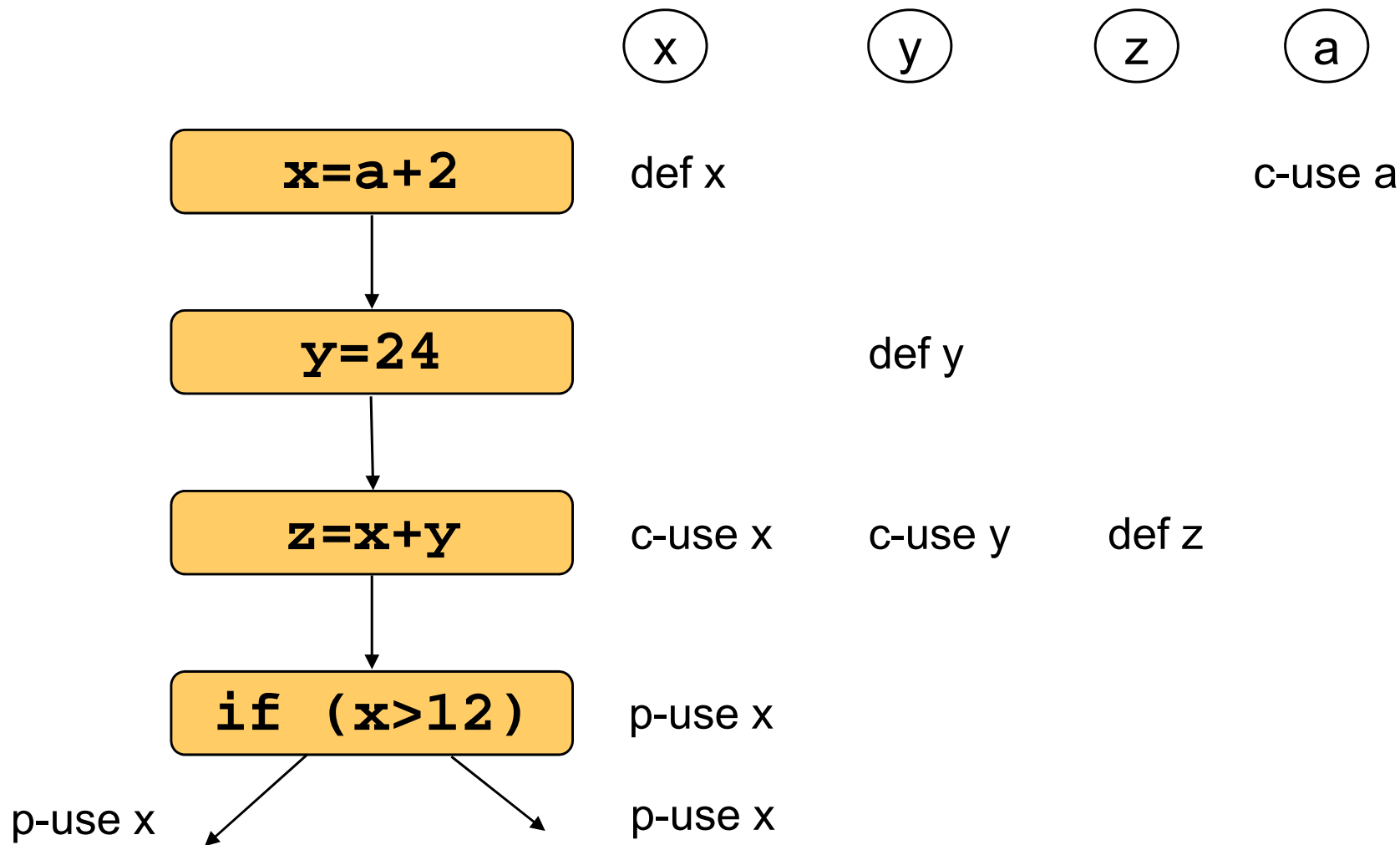
# Mértékszámok (kritériumok) áttekintése

- **Vezérlési folyamat alapú kritériumok**
  - Utasítás lefedettség
  - Döntési ág lefedettség
  - Feltétel lefedettségek
  - Útvonal lefedettség
- **Adatfolyam alapú kritériumok**
  - Definiálás – használat fedettségek
  - Definíciómentes útvonalak fedettsége
- **Módszerek kombinációja**

# Adatfolyam alapú tesztelés

- Cél: Változók értékadásának és az értékek felhasználásának vizsgálata a tesztelés során
  - Rossz értéket adtam? Rosszul használtam fel? Inicializálatlan?
- A programgráf címkézése:
  - **def v**: v változó értékadása
  - **c-use v**: v változó felhasználása számításban
  - **p-use v**: v változó felhasználása elágazási feltételben
- Útvonalak:
  - **def-clear v** útvonal: nincs benne **def v** címkéjű utasítás
  - **d-u v (def-use v)** útvonal:
    - **def v** címkéjű utasítással indul
    - **p-use v** vagy **c-use v** utasítással zárul
    - Közben **def-clear v** útvonal van
    - Nincs belső hurok (legfeljebb a teljes **d-u v** útvonal képez hurkot)

# Példa a címkézésre



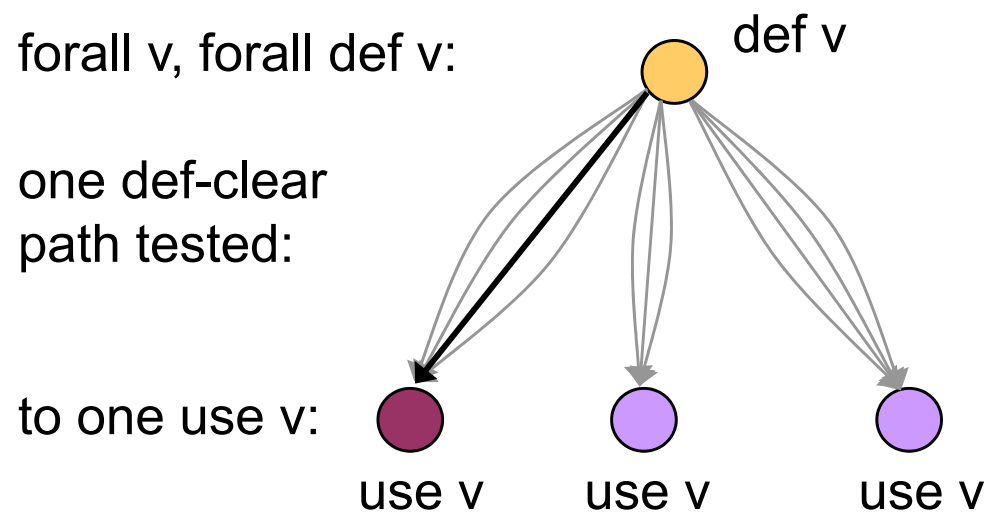


# All-defs fedettségi kritérium

- All-defs:

Minden  $v$  változóra, minden **def v** utasításra:

**Egy use v** utasításig legalább **egy def-clear v** útvonal tesztelése  
(itt **use v** lehet akár **p-use v**, akár **c-use v**)



# All-p-uses, all-c-uses kritériumok

- **All-p-uses:**

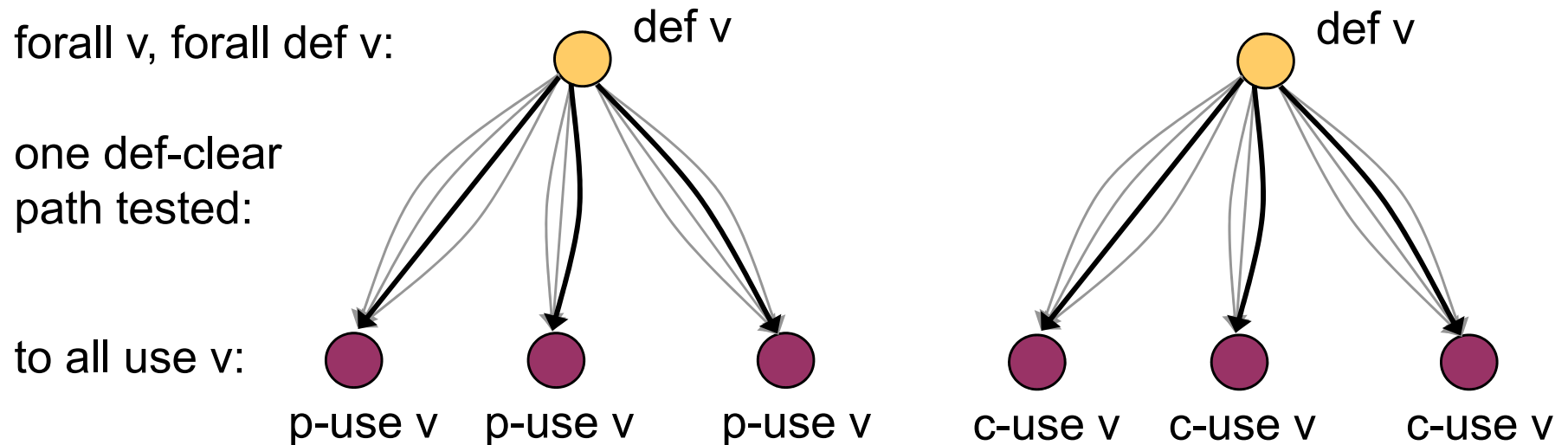
Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:

**Minden p-use v** utasításig legalább **egy def-clear v** útvonal tesztelése

- **All-c-uses:**

Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:

**Minden c-use v** utasításig legalább **egy def-clear v** útvonal tesztelése



# További variációk és all-uses

- **All-p-uses/some-c-uses:**

Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:

Minden **p-use v** utasításig és (ha **p-use v** nincs)

legalább egy **c-use v** utasításig

legalább egy **def-clear v** útvonal tesztelése

- **All-c-uses/some-p-uses:**

Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:

Minden **c-use v** utasításig és (ha **c-use v** nincs)

legalább egy **p-use v** utasításig

legalább egy **def-clear v** útvonal tesztelése

- **All-uses:**

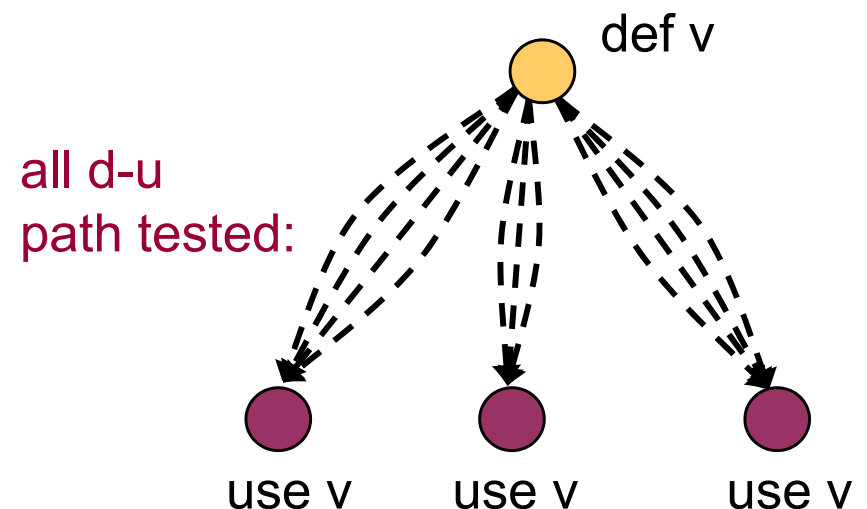
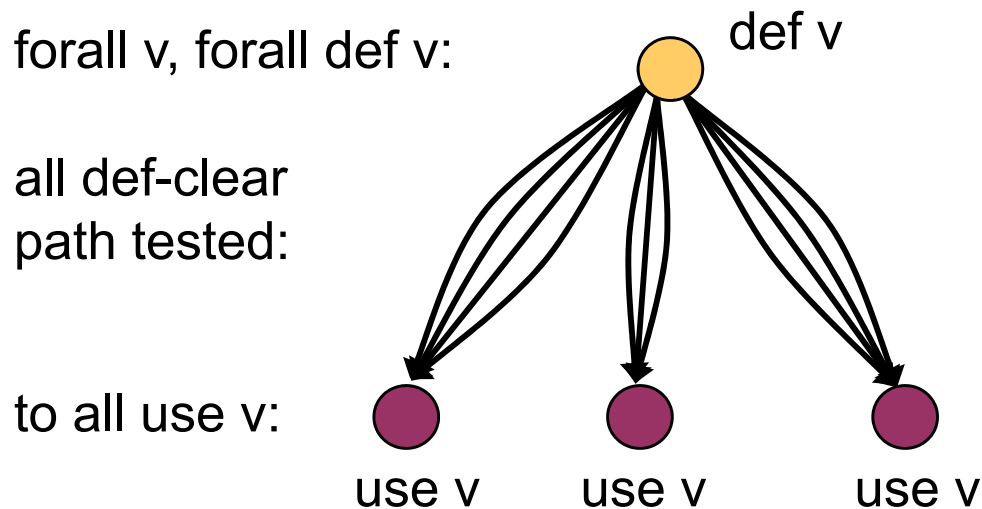
Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:

Minden **use v** utasításig legalább egy **def-clear v** útvonal tesztelése

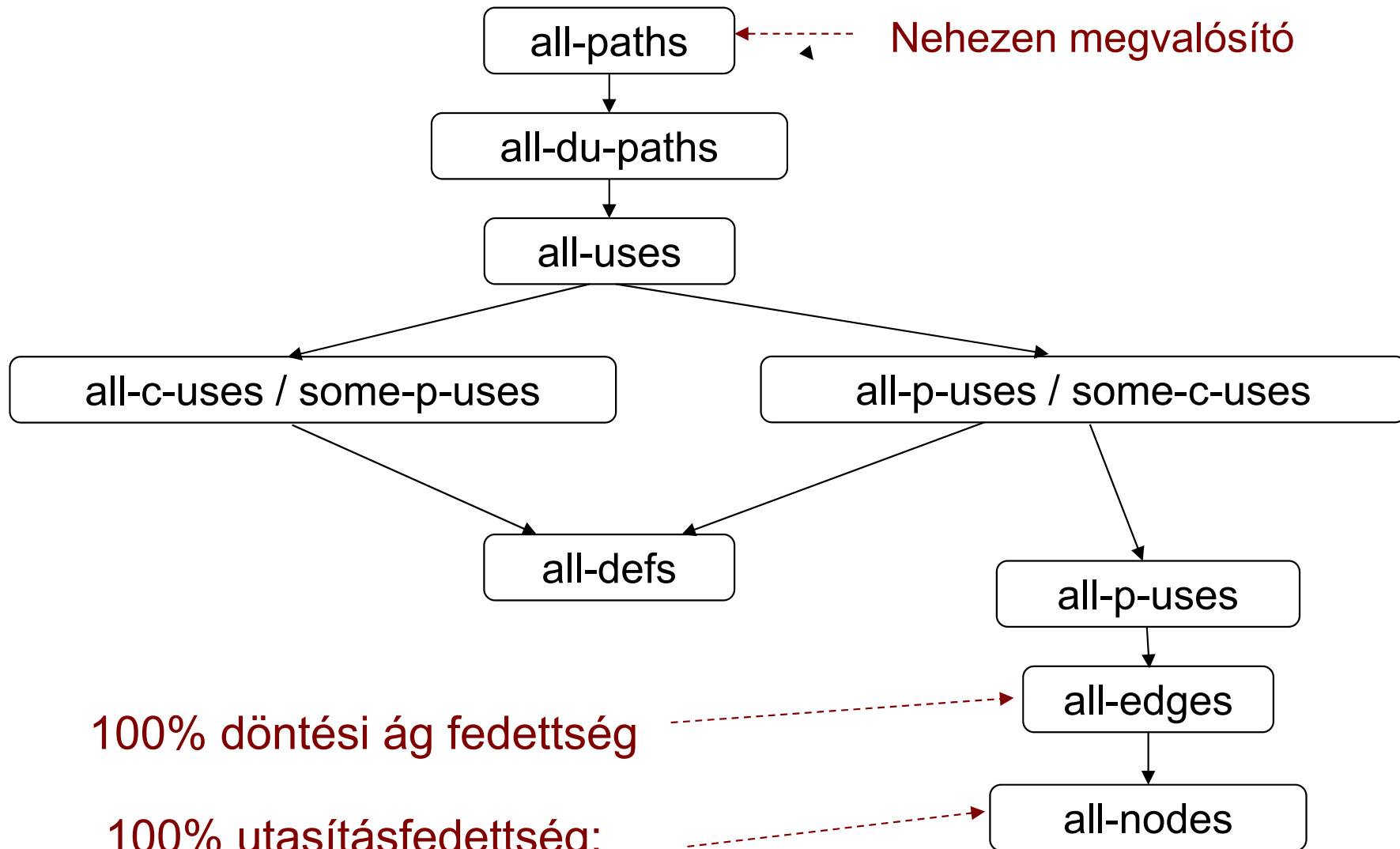
- Az eddigi kritériumokat magába foglalja

# All-paths és all-du-paths

- **All-paths:**
  - Minden  $v$  változóra, minden **def v** utasításra:  
**Minden use v** utasításig **minden** bejárható **def-clear v** útvonal tesztelése
  - Hurkok esetén problémás a definíció teljesítése (bejárások száma)
- **All-du-paths:**
  - Minden  $v$  változóra, minden **def v** utasításra:  
**Minden use v** utasításig **minden d-u v** útvonal tesztelése



# Adatfolyam alapú kritériumok hierarchiája



# Mértékszámok (kritériumok) áttekintése

- **Vezérlési folyamat alapú kritériumok**
  - Utasítás lefedettség
  - Döntési ág lefedettség
  - Feltétel lefedettségek
  - Útvonal lefedettség
- **Adatfolyam alapú kritériumok**
  - Definiálás – használat fedettségek
  - Definíciómentes útvonalak fedettsége
- **Módszerek kombinációja**

# Teszttervezési módszerek összefoglalása

- Specifikáció és struktúra alapú módszerek
  - Sokféle módszer illetve technika
  - Mindegyik alkalmazásához gyakorlat kell
- A gyakorlatban általában csak a legegyszerűbb módszereket használják
  - Biztonságkritikus rendszerek: Vannak előírt módszerek (pl. DO178B szabvány: MC/DC szerinti tesztelés)
- Technikák kombinációja hatásos általában:
  - Példa (MS tanulmány):
    - specifikáció alapú: 83%-os kódfedés
    - + exploratory: 86%-os kódfedés
    - + strukturális: 91%-os kódfedés

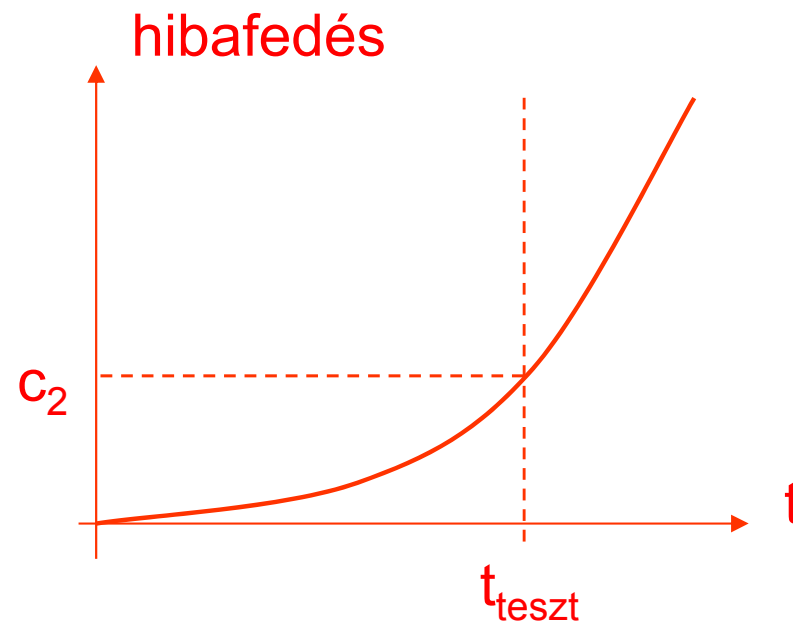
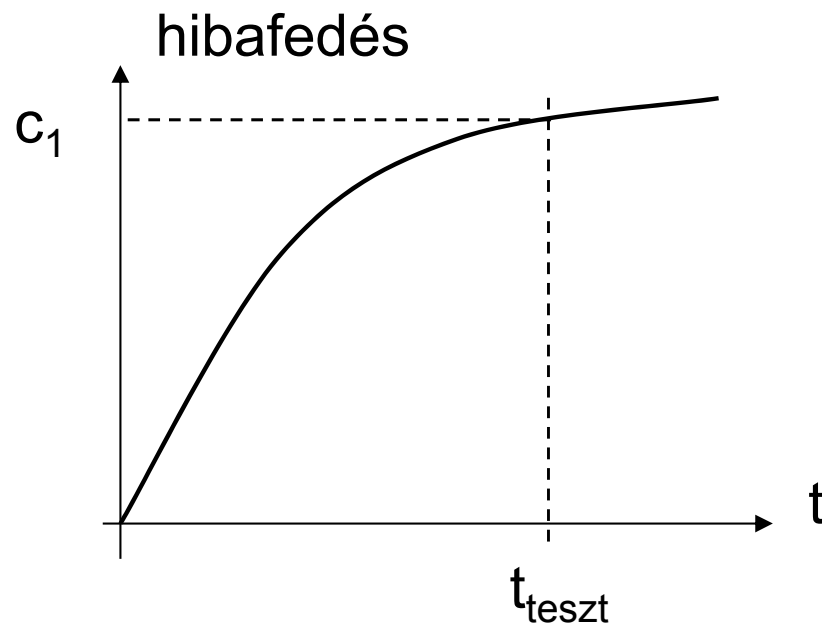
# Tesztek végrehajtása

Milyen **sorrendben** hajtsuk végre a tesztek:

Ha várhatóan kevés a hiba:

Először a *hatékony* (nagyobb hibafedésű) tesztek!

- Hosszabb utak,
- összetett feltételű elágazások tesztje





# Mire jók a teszt fedettségi mértékek?

- Mire jók?
  - Megtalálhatók azok a programrészek, ahol hiányos a tesztelés
    - Ez alapján bővíthető a teszt készlet
  - Azonosíthatók a redundáns tesztek (azonos részeket fednek le)
    - Adatfüggésre is figyelni kell (más adattal más hibát tesztel)
  - **Indirekt** mértéke a kód minőségének a sikeres tesztekhez tartozó fedettség
    - Inkább mértéke a tesztkészlet teljességének
  - A tesztelés befejezése a mértékekhez köthető
- Mire nem jók?
  - Az implementációból kihagyott (nem megvalósított) követelmények tesztelése
  - Kódrészletek kiragadásával történő tesztelés eredményessége kérdéses (a kódrészlet elveszíti környezetét)