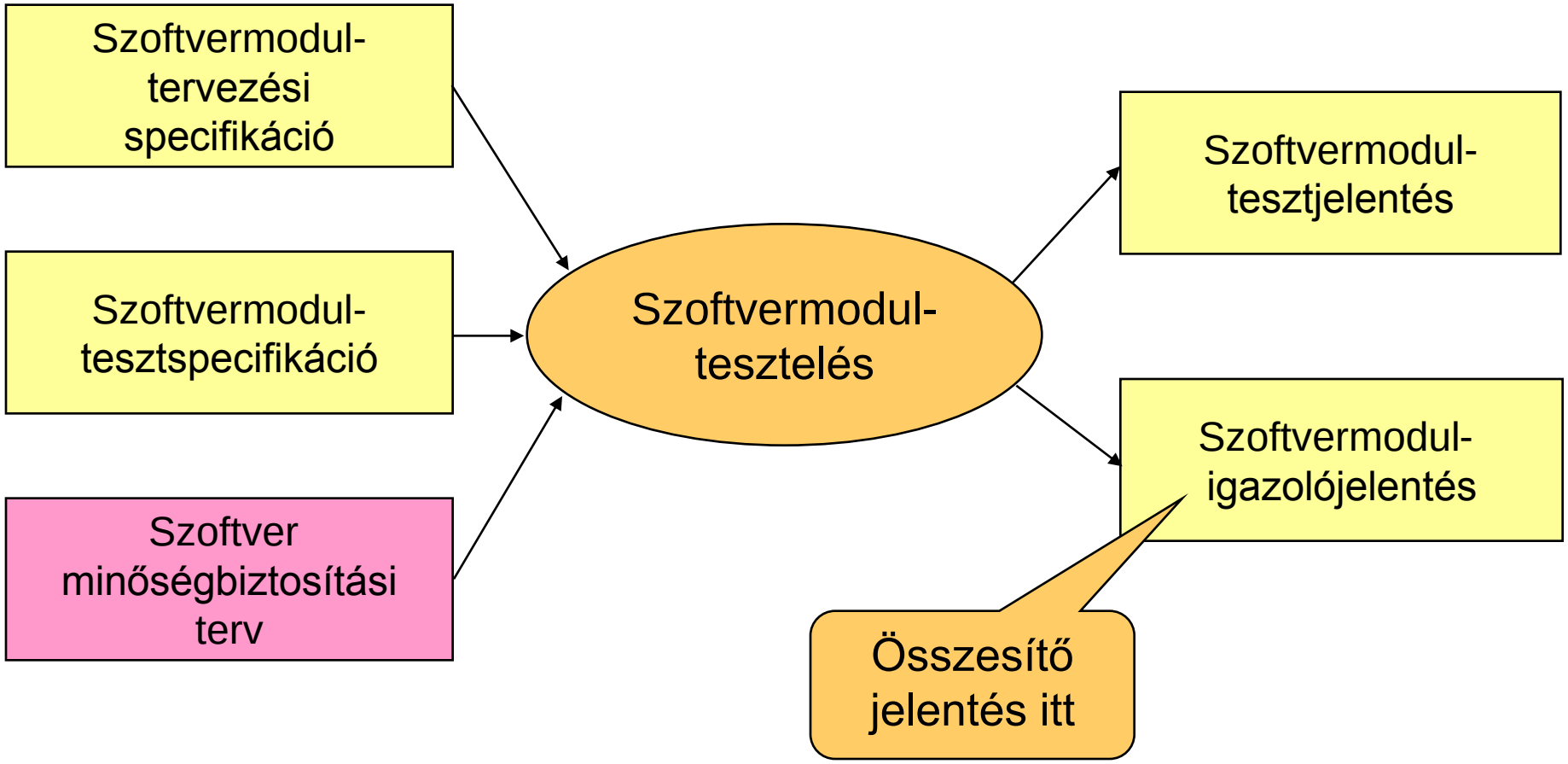
Szoftver modul/unit tesztelés

Majzik István, Micskei Zoltán
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék
http://www.mit.bme.hu/

Szoftvermodul tesztelés



Példa: Szabványok előírásai (EN 50128)

- Funkcionális és fekete doboz tesztelés (HR)
  - Határérték elemzés (HR)
  - Ekvivalencia osztályok és bemeneti adatfelosztás (HR)
  - Ok-okozati diagramok
  - Folyamatszimuláció
  - Prototípus készítés / animáció
- Teljesítménytesztelés
  - Lavina / stressz tesztelés (SIL 1 R -> SIL 3 HR)
  - Válaszidő- és memória-kikötések tesztelése (HR)
  - Teljesítmény követelmények tesztelése (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

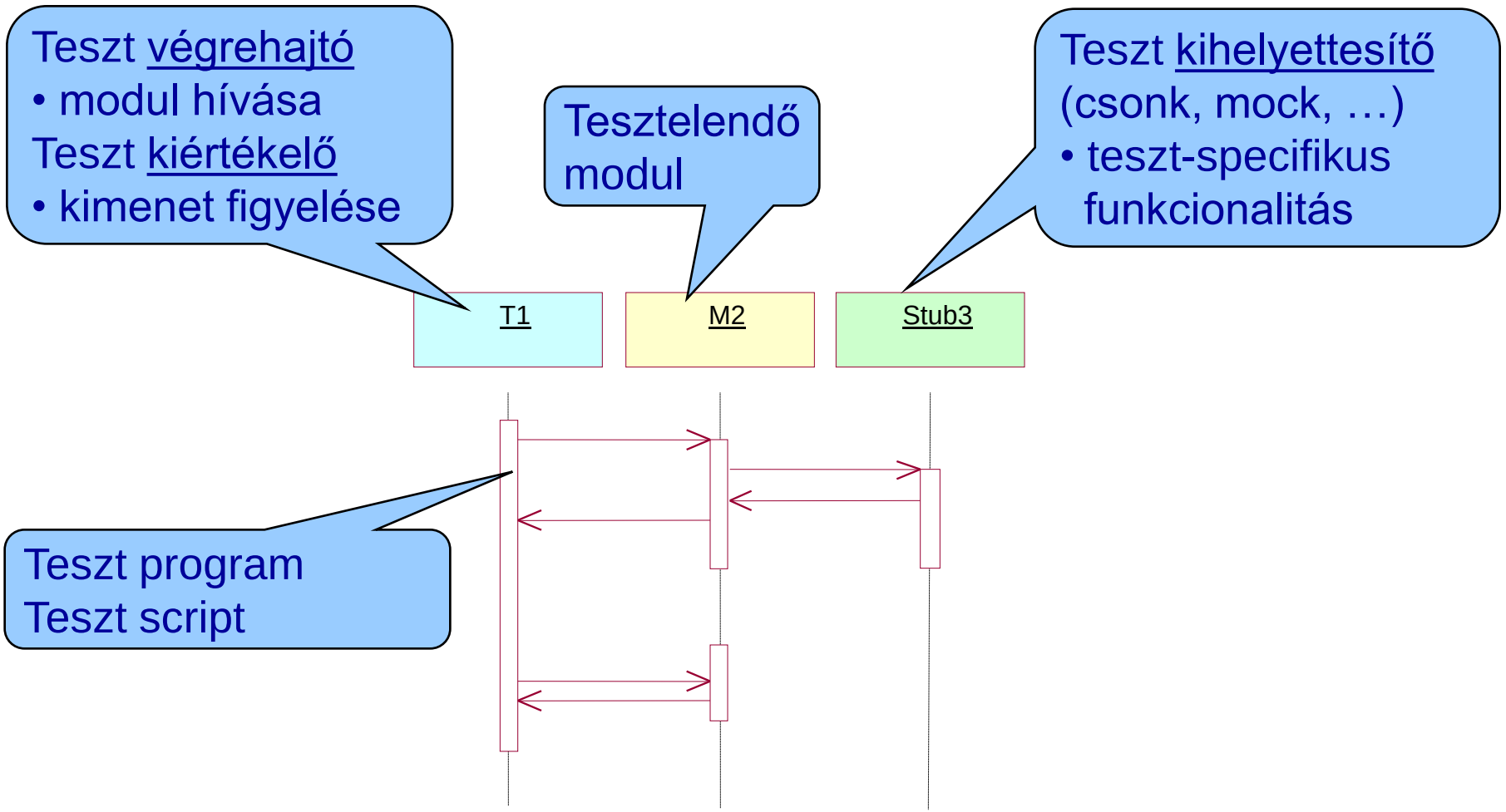
Kimerítő tesztelés:

- 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 *adott teszt adat(ok)ra*, akkor várhatóan *hasonló adatokra* is jól működik.

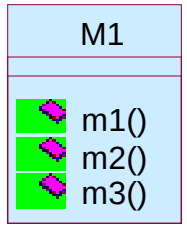
Tesztelési környezet: Egy modul tesztelése



Teszttervezés módszerei

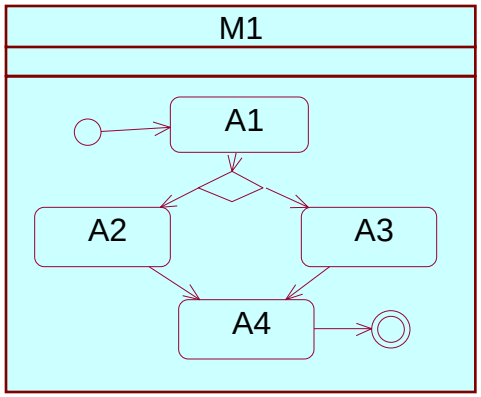
I. Specifikáció alapú tesztelés

- 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 módszerek
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”
- Bemenet/kimenet szerepét ismerni kell
  - A tesztelő tudásán múlik a módszer hatékonysága
- Meghatározás heurisztikus folyamat:
  - Egyező funkcionalitást biztosító adatok, hasonló eredmények
  - Érvényes és érvénytelen adatok

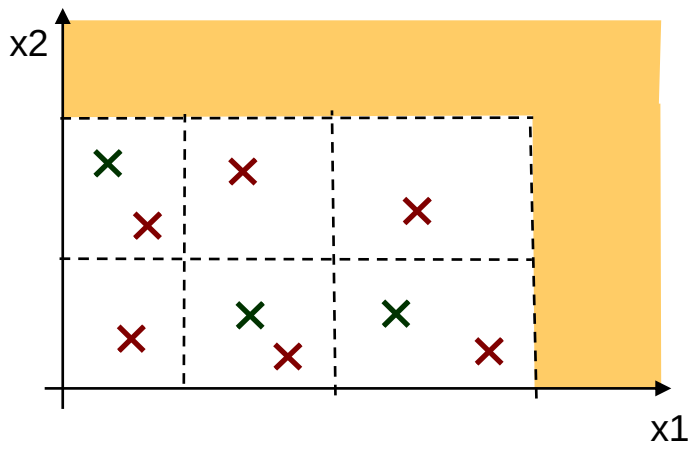
Példa: NextDate program ekvivalencia osztályok

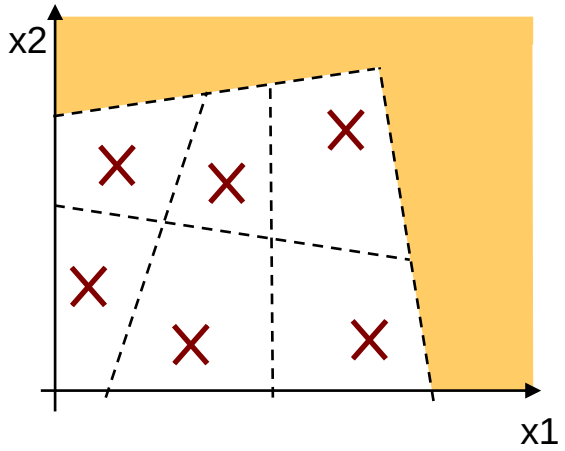
Bemenet	Érvényes	Érvénytelen
Hónap	V1: 30 napos hónap V2: 31 napos hónap V3: február	I1: >= 13 I2: <= 0 I3: nem szám I4: üres
Nap	V4: 1-30 V5: 1-31 V6: 1-28 V7: 1-29	I5: >= 32 I6: <= 0 I7: nem szám I8: üres
Év	V8: 1582-9999 V9: nem szökőév V10: szökőév V11: század nem szökőév V12: század szökőév	I9: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

Forrás: „How we test software at Microsoft”, Microsoft Press, ISBN 0735624259, 2008.

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
- Erős és gyenge ekvivalencia osztályok:



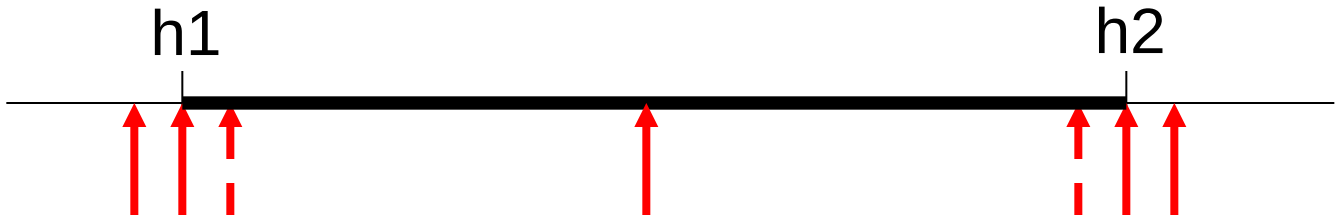


- Gyenge normál
- Erős normál

- Dimenziónként nem független: Erős osztályok

2. Határérték-analízis

- Az adattartományok határait vizsgálja
  - Egy-egy ekvivalencia osztály határaira 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 az 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

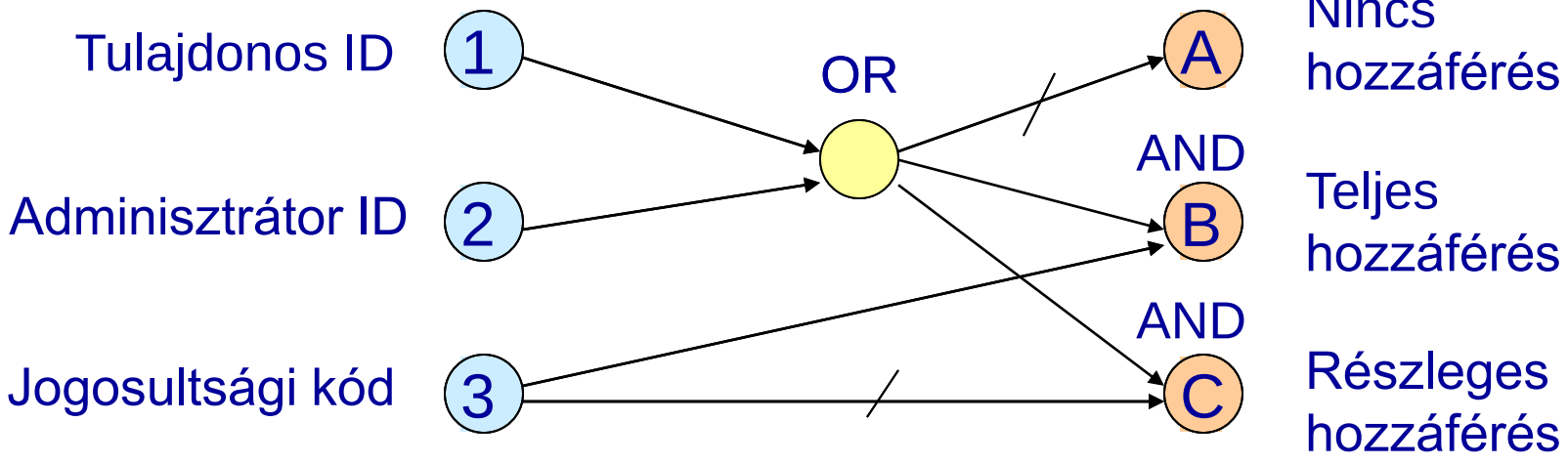
Tesztelési cél: A gráf szisztematikus végigjárása

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

Példa: Ok-hatás leírása

Bemenetek:

Kimenetek:



	T1	T2	T3	…
1	0	1	0	
2	1	0	0	
3	1	1	1	
A	0	0	1	
B	1	1	0	
C	0	0	0	

Bemenetek

Kimenetek

4. Kombinatorikus módszerek

Cél: Paraméterek kombinációjának tesztelése

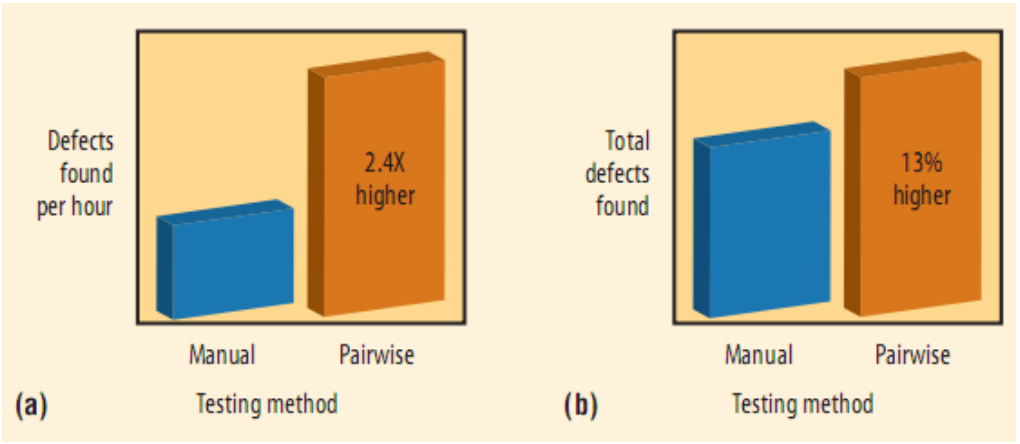
- Paraméterek kombinációja okozza a legtöbb hibát
- Ritka kombinációk veszélyesek lehetnek

- Ad hoc, „best guess” tesztelés
  - 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

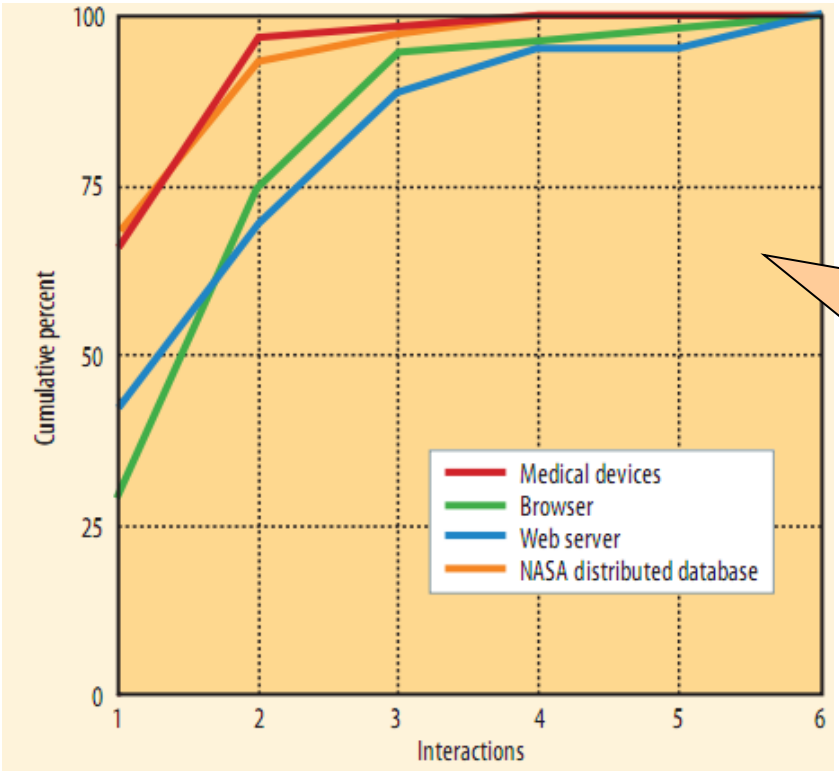
Példa: Pair-wise tesztelés

- Adottak a következő konfigurációs lehetőségek:
  - OS: Windows, Linux
  - CPU: Intel, AMD,
  - Protocol: IPv4, IPv6
- Minden választás: Hány kombináció van?
- Páronkénti tesztelés: Milyen tesztkészlet elég?
- 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)

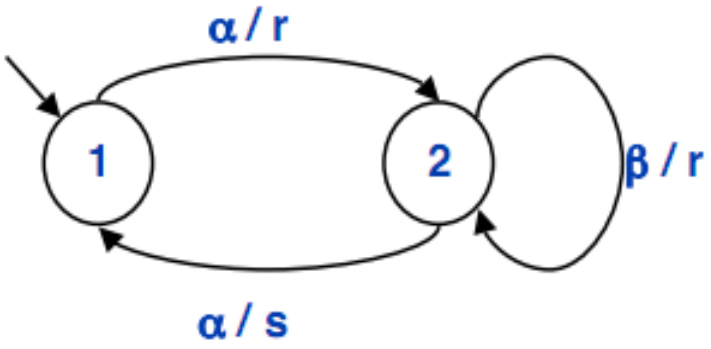


A hibák jelentős része 2 paraméter kapcsolatán múlik
(de alkalmazástól függően lehet még elég sok hiba, ami 3 vagy több paraméter speciális kombinációja esetén deríthető ki)

Forrás: R. Kuhn et al. „Combinatorial Software Testing”, IEEE Computer, 42:8, 2009

5. Véges automata alapú tesztelés

- A 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)

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

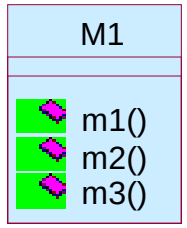
Kiegészítés: Véletlen tesztek

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

Teszttervezés módszerei

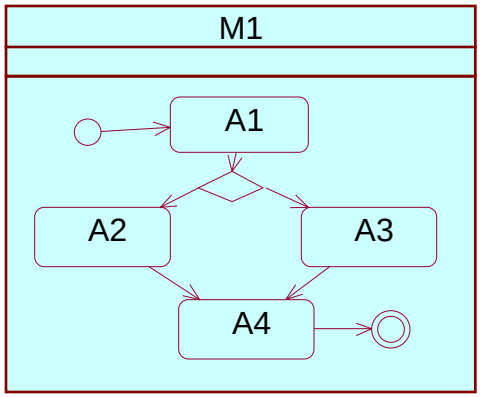
I. Specifikáció alapú tesztelés

- 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



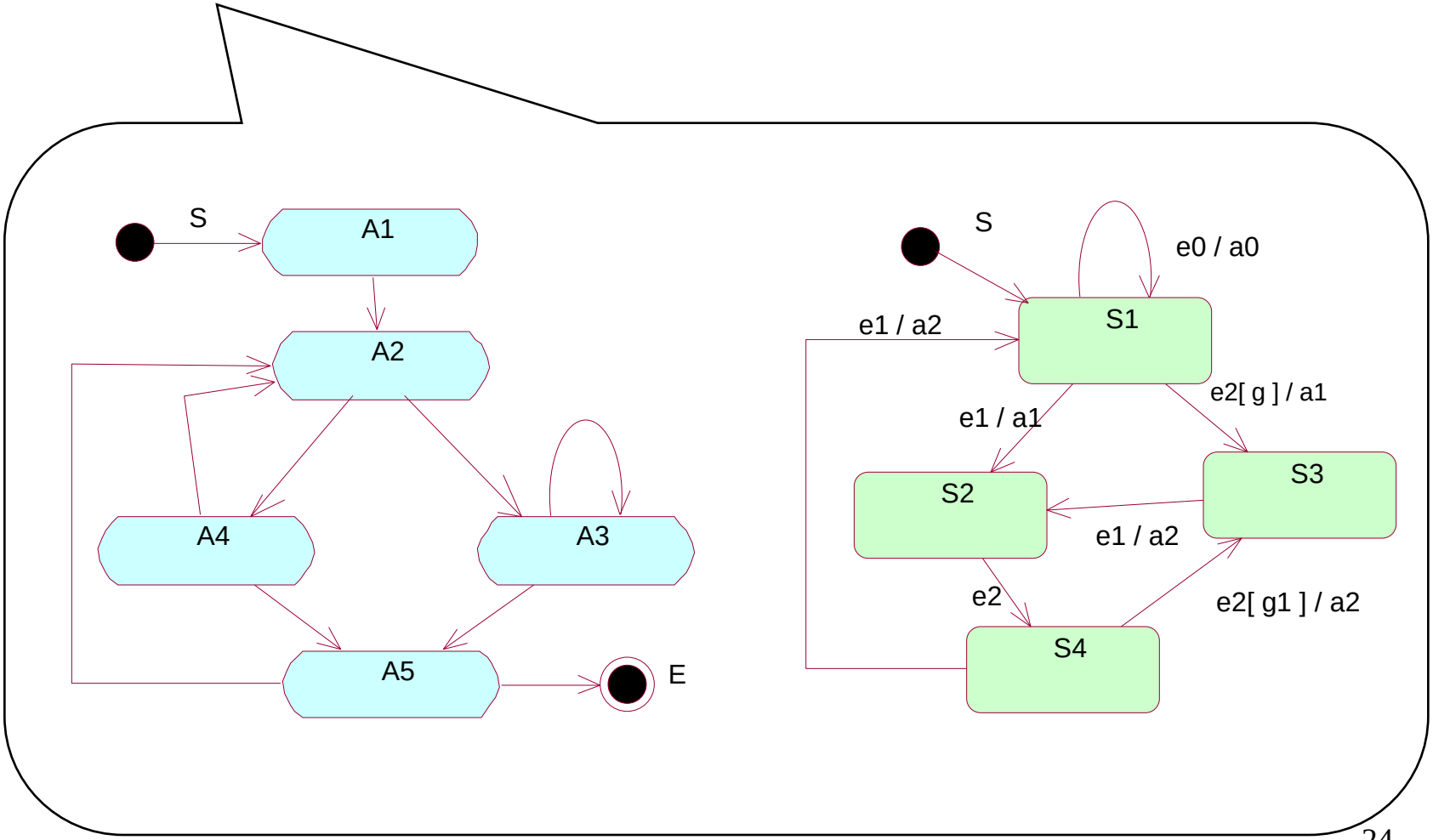
II. Struktúra alapú tesztelés

- 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



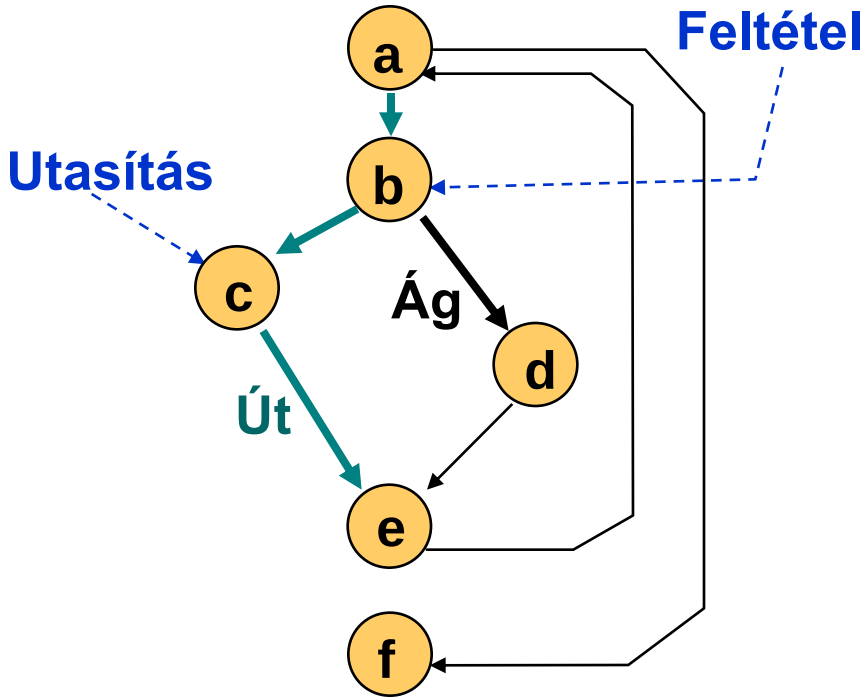
A belső struktúra

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

Alapfogalmak

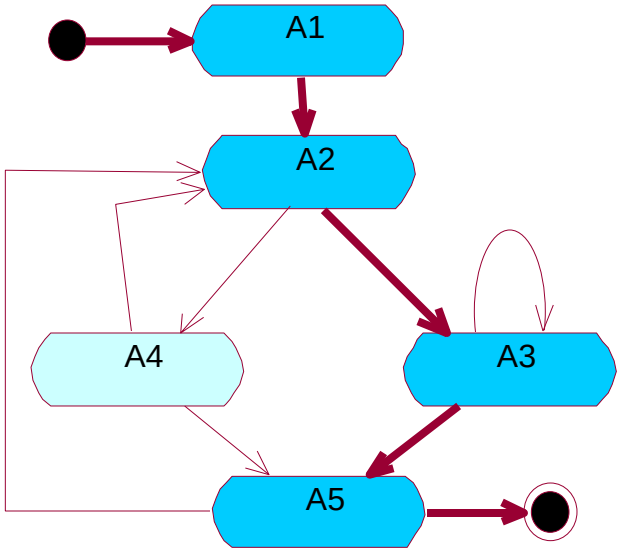
- Utasítás (statement)
- Blokk (block)
  - Utasítások egybefüggő sorozata, amik között nincs elágazás vagy függvényhívás
- Feltétel (condition)
  - Egyszerű vizsgálat, amiben nincs logikai (Boole) operátor
- Döntés (decision)
  - Egy ág bejárásának eldöntéséhez tartozó, nulla vagy több logikai operátorral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

1. Utasítás lefedettség (Statement coverage)

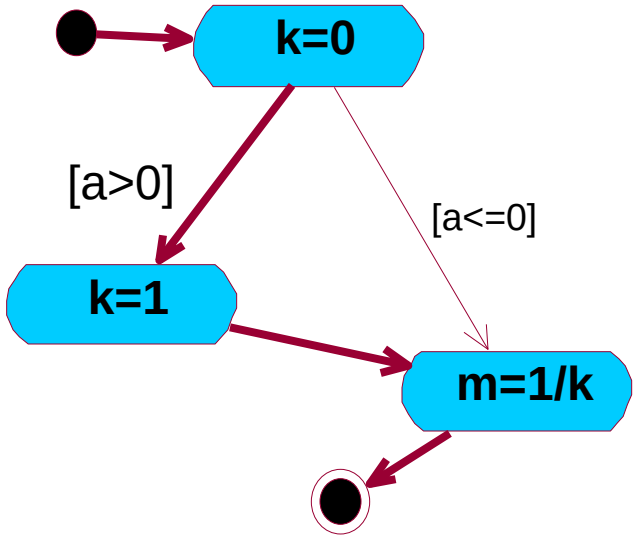
Definíció:

$$\frac{\text{Tesztelés során végrehajtott utasítások száma}}{\text{Összes utasítás száma}}$$

Utasításokat kihagyási feltételeit nem veszi figyelembe!



Utasítás fedettség: 80%



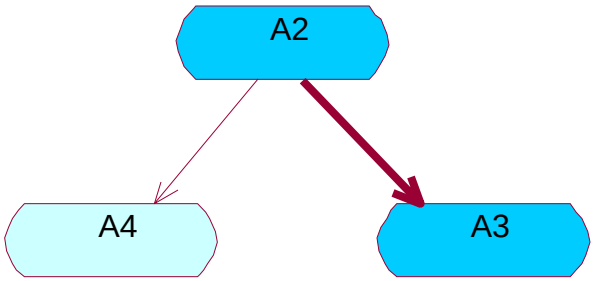
Utasítás fedettség: 100%

2. Döntés lefedettség (Decision coverage)

Definíció:

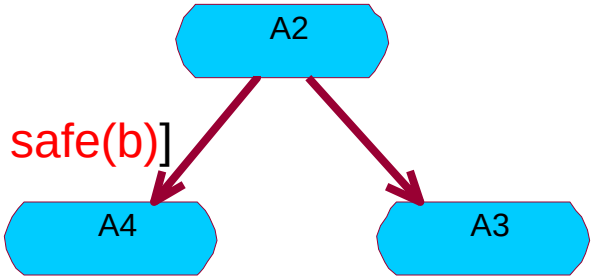
$$\frac{\text{Tesztelés során végrehajtott döntési ágak száma}}{\text{Összes lehetséges döntési ág száma}}$$

Nem vesz figyelembe minden feltétel-kombinációt!



Döntési ág fedettség: 50%

[safe(c) || safe(b)]



Döntési ág fedettség: 100%

3. Feltétel lefedettség (Condition coverage)

Generikus fedettségi mérték feltétel fedettségekhez:

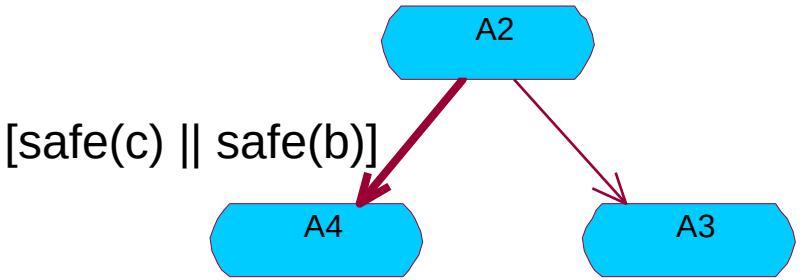
$$\frac{\text{Feltételek tesztelt kombinációinak száma}}{\text{Feltételek megcélzott kombinációinak száma}}$$

Megcélzott kombinációk feltétel lefedettség esetén:

- Minden feltétel legyen igaz és hamis beállítású is 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



Másféle definíció:

- Minden feltétel legyen igaz és hamis kiértékelésű is
  - Ez nem ugyanaz mint a fenti, a lusta kiértékelés miatt

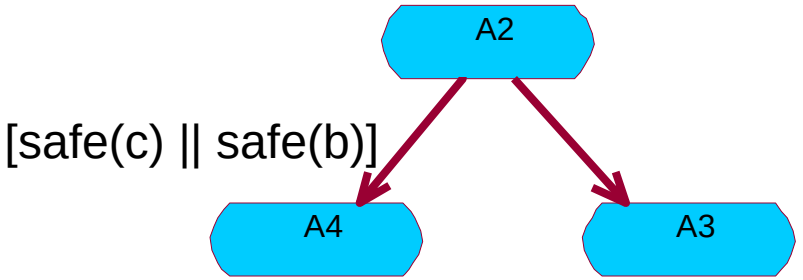
4. Feltétel/döntés lefedettség

Condition/Decision Coverage (C/DC)

Definíció (megcélzott kombinációk):

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

Példa 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

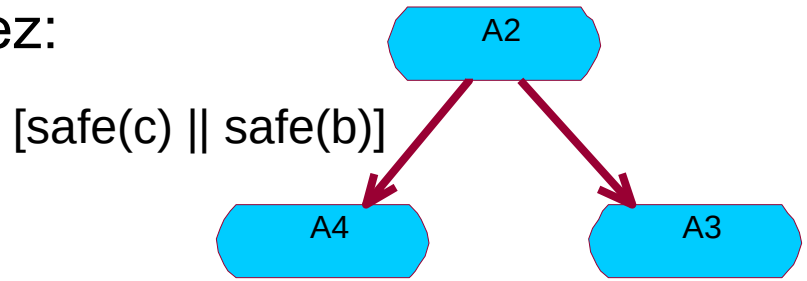
Modified Condition/Decision Coverage (MC/DC)

Definíció (megcélzott kombinációk):

- 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

Példa 100%-os MC/DC lefedettséghez:

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



6. Minden feltétel kombináció lefedettsége

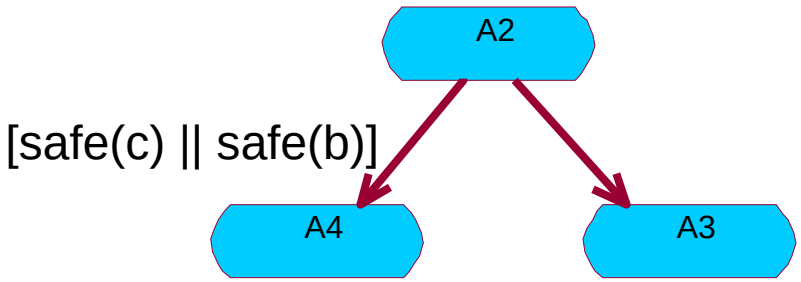
Multiple Condition Coverage

Definíció (megcélzott kombinációk):

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

Példa 100%-os feltétel kombináció lefedettséghez:

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



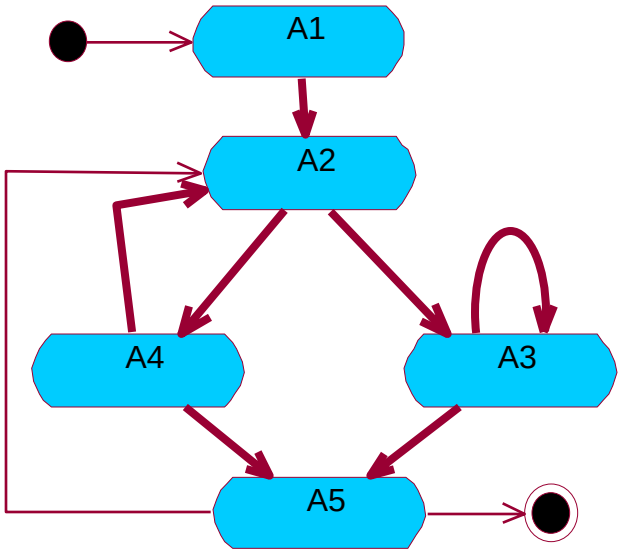
7. Alap út lefedettség (Basis path coverage)

Definíció:

$$\frac{\text{Tesztelés során bejárt független utak száma}}{\text{Összes független út száma}}$$

100% út lefedettség együtt jár:

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



Út lefedettség: 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 másikban nincs meg
- A független utak maximális száma:
  - CK, ciklomatikus komplexitás
  - Szabályos vezérlési gráf alapján meghatározható (vezérlési gráf összekötött, 1 kimenet és 1 bemenet):
    CK(G)=E-N+2, ahol

    E: élek száma

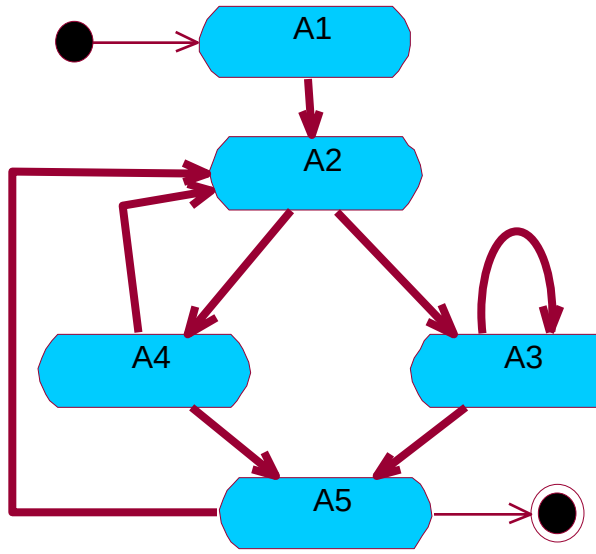
    N: csomópontok száma a G vezérlési gráfban
- A független utak halmaza nem egyedi

Tesztelés az út fedettség alapján 1/2

- Cél: Független
  - Független utal
    Van olyan utas
    ami a másikba
- A független ut
  - CK, cikloma
  - Szabályos vez
    (vezérlési gráf összekötött, 1-1 kimenet és bemenet):
    CK(G)=E-N+2, ahol

    E: élek száma

    N: csomópontok száma a G vezérlési gráfban
- A független utak halmaza nem egyedi



N=5,
E=8,
CK=5
max. 5
független út!

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
  - Szimbolikus végrehajtás: SMT megoldóval
  - Korlátok: Ciklusok, aritmetika, külső könyvtárak, …

Kiegészítő fedettségi mértékek

- Loop
  - Ciklusok 0 (ha 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 folyam 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

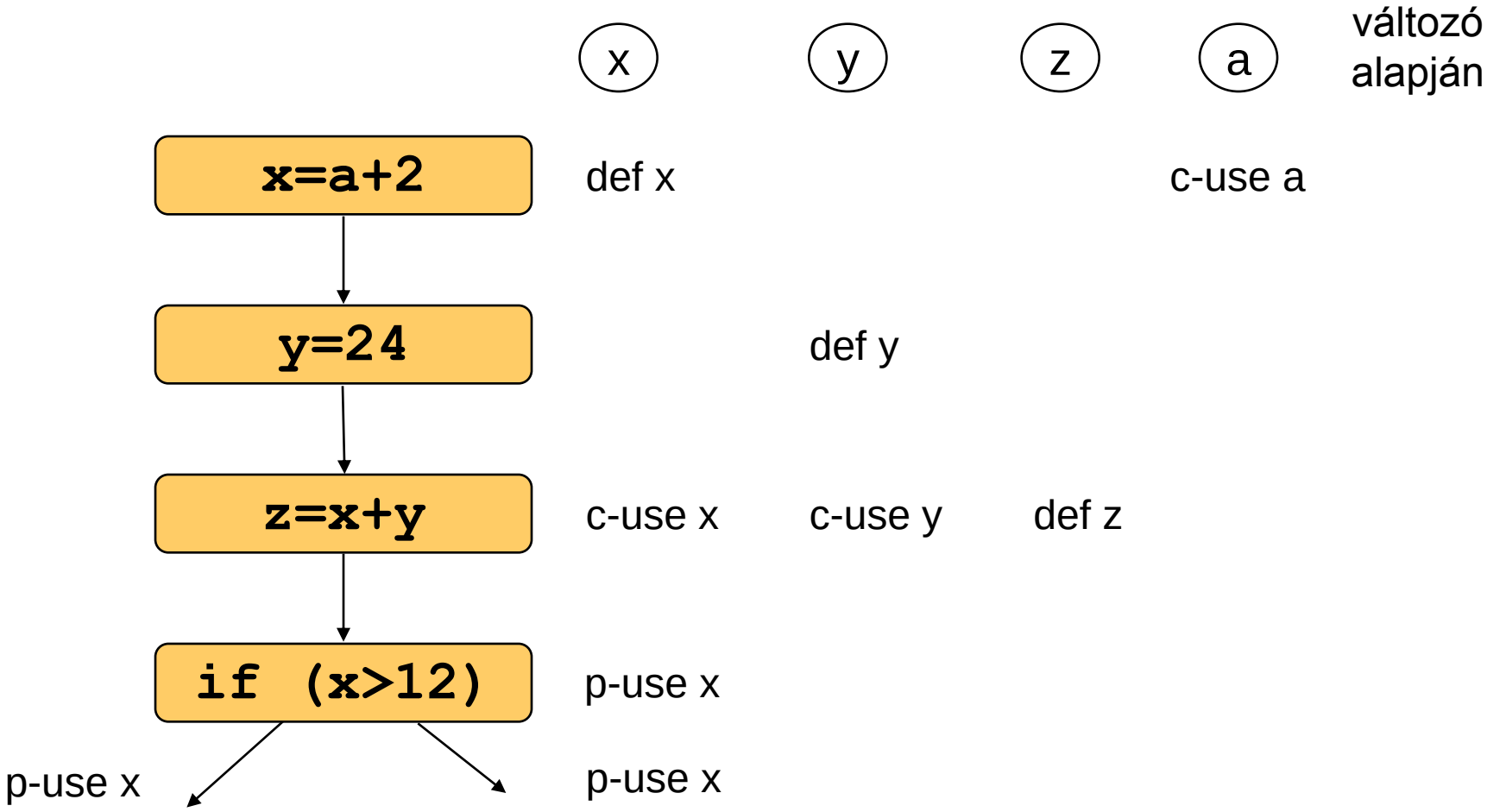
Mértékszámok (kritériumok) áttekintése

- Vezérlési folyam 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
  - def-use v (vagy rövidebben d-u 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)

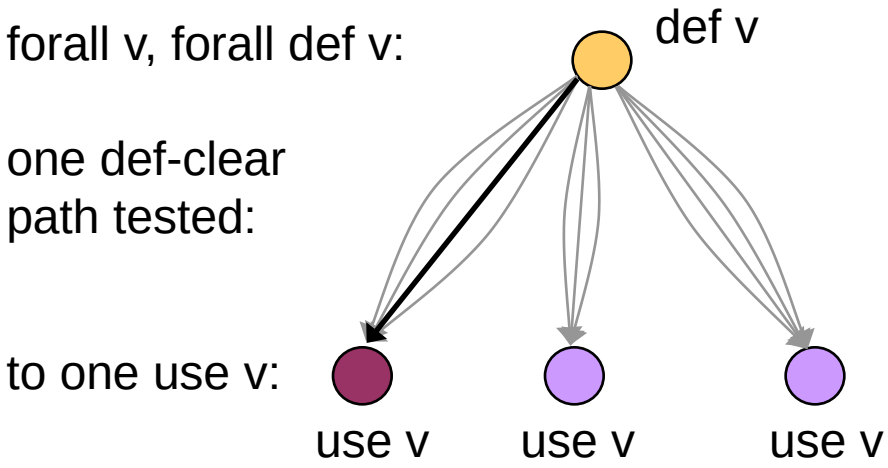
Példa a címkézésre



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**)



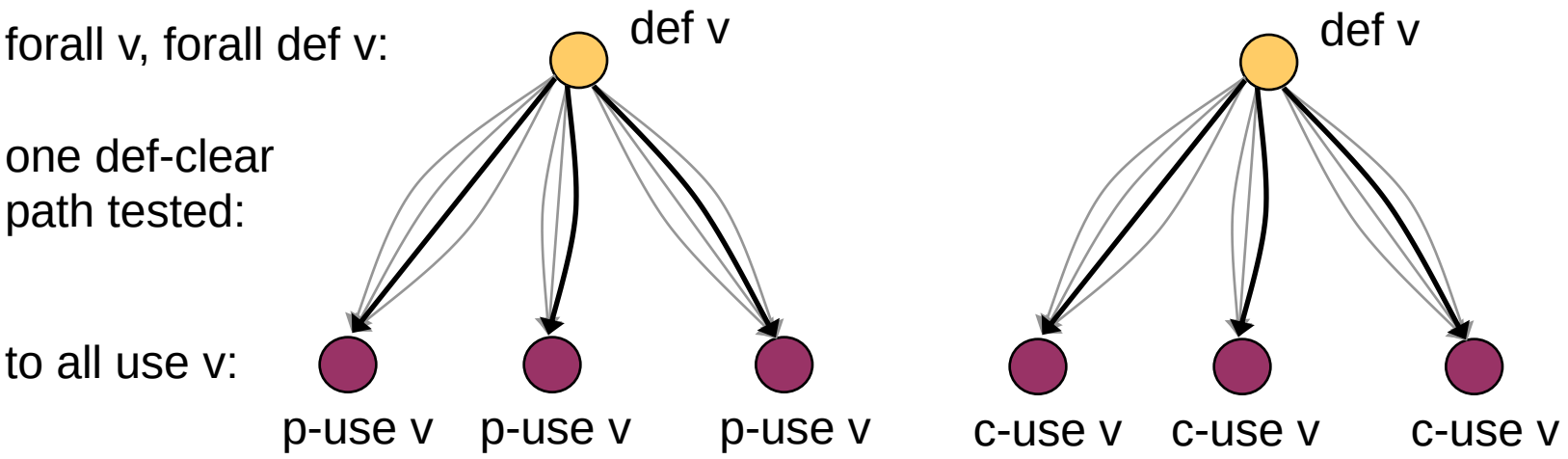
All-p-uses, all-c-uses kritériumok

- 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:

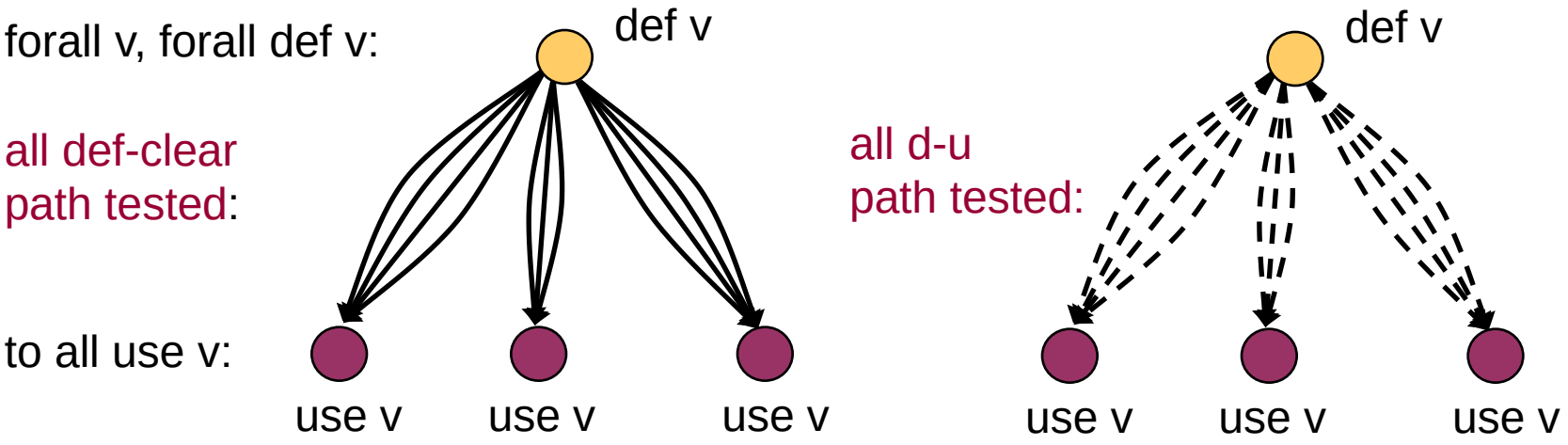
  Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:
  Minden **c-use v** utasításig és (ha **c-use v** nincs)
  legalább egy **p-use v** utasításig
  legalább egy **def-clear v** útvonal tesztelése

- **All-uses**:

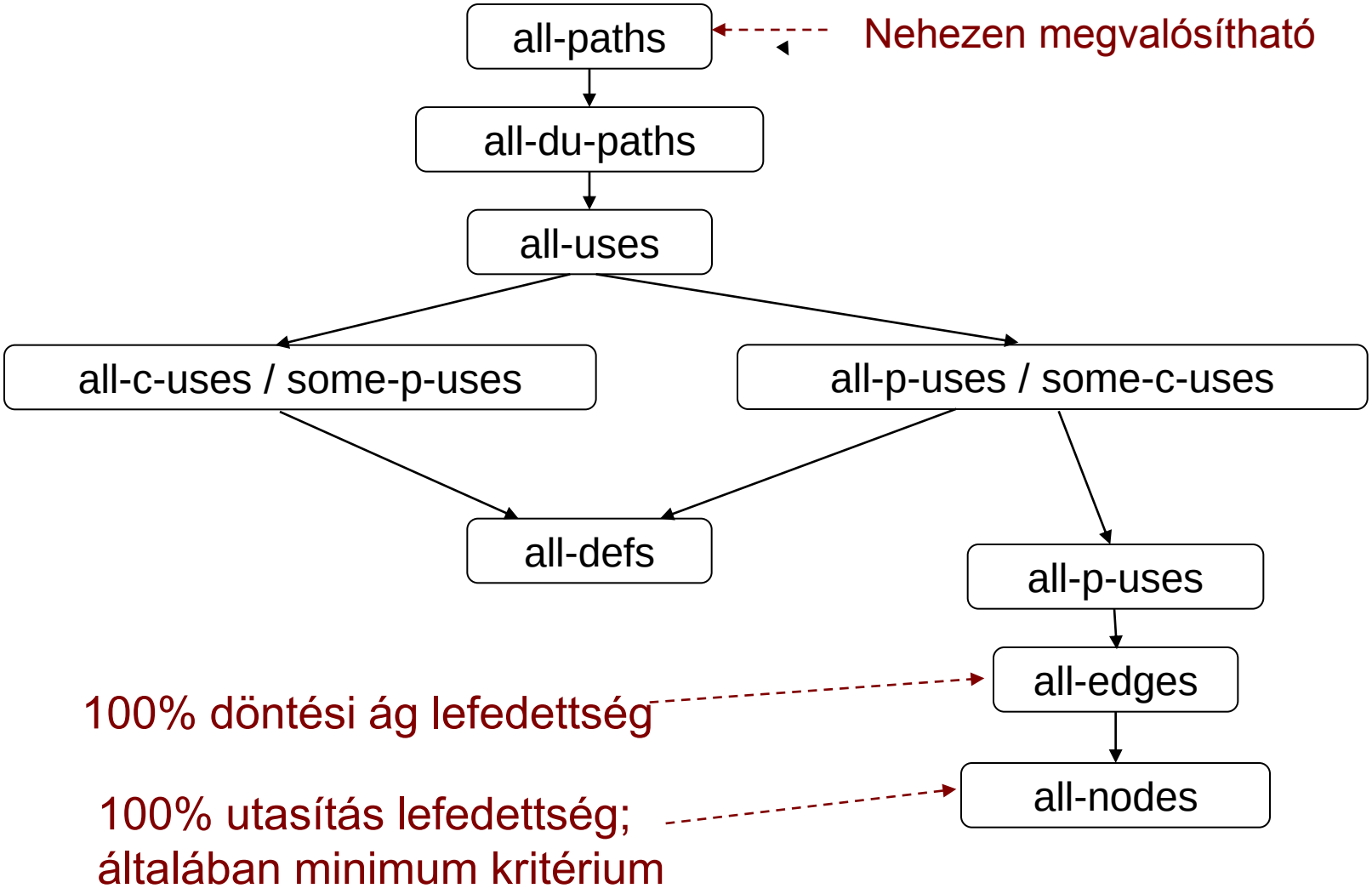
  Minden **v** változóra, minden **def v** utasításra:
  Minden **use v** utasításig legalább egy **def-clear v** útvonal tesztelése
  - Az eddigi kritériumokat magába foglalja

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 folyam 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 az egyszerűbb 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 tesztelés: 86%-os kódfedés

    + strukturális tesztelés: 91%-os kódfedés

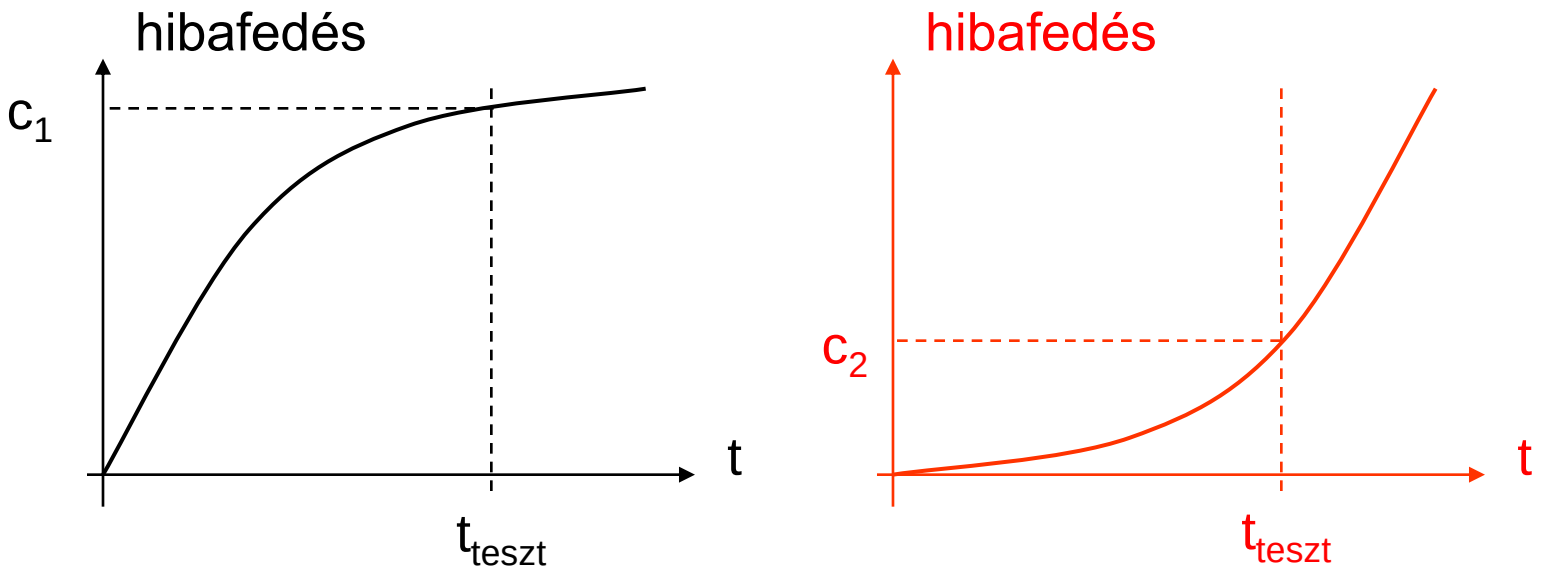
Tesztek végrehajtása

Milyen sorrendben hajtsuk végre a teszteket:

Ha várhatóan kevés a hiba:

Először a hatékony (nagyobb hibafedésű) teszteket!

- Hosszabb utak tesztje
- 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 tesztelhet)
  - 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 (amikor a kódrészlet elveszíti környezetét)