

# Deklaratív programozás

Szeredi Péter<sup>1</sup> Hanák Péter<sup>2</sup>  
BME Számítástudományi és Informatikai Tanszék

<sup>1</sup>szeredi@cs.bme.hu

<sup>2</sup>hanak@emt.bme.hu

2024. ősz

Az előadók köszönetüket fejezik ki Kápolnai Richárdnak, aki 2011 és 2017 között volt a funkcionális programozás előadója, valamint Hanák Dávidnak az ETS 2001-es kifejlesztéséért és 2024-es megújításáért.

Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés

## A tantárgy témája

- Deklaratív programozási nyelvek – gyakorlati megközelítésben
- Két fő irány:
  - funkcionális programozás **Elixir** nyelven,
  - logikai programozás **Prolog** nyelven.

# I. rész

## Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés

- 1 Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés
- 2 Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat
- 3 Programozás, funkcionális programozás

Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés Tudnivalók, követelmények

## Tartalom

- 1 Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés
  - Tudnivalók, követelmények
  - A deklaratív programozási paradigma áttekintése

## Honlap, Elektronikus TanárSegéd, Teams csoport

- Honlap: <https://dp.iit.bme.hu>,  
a jelen félév honlapja: <https://dp.iit.bme.hu/dp-current>
- ETS, az Elektronikus TanárSegéd<sup>1</sup>  
<https://dps.iit.bme.hu/ets>, csak a tantárgy jelenlegi hallgatói tudnak belépni a Neptun-kódjukkal
- *Deklaratív programozás* Teams csoport

<sup>1</sup>Az ETS 2024-es új kiadása, megújítása Hanák Dávidnak köszönhető.

Forrás: <https://github.com/dhanak/ets/>

## DP-követelmények: gyakorlatok

### Gyakorlatok

- Az 1. oktatási héttől kezdve lesznek tantermi gyakorlatok, mégpedig az ötkredites VISZAD01 kurzus hallgatói számára minden héten, a háromkredites VISZAD00 kurzus hallgatói számára minden második héten. Részletes beosztás a honlapon.
- A gyakorlatok anyagát elektronikus formában a honlapon tesszük közzé.
- A tantermi gyakorlatokon nagyon ajánlott a hordozható számítógép (laptop) használata, különösen az FP-gyakorlatokon, ahol a *Livebook Elixir* notebook-formában adjuk ki a feladatsorokat.
- További Elixir gyakorlási lehetőség az EDUX, Prolog gyakorlási lehetőség a PLWIN rendszerben (lásd honlap).
- A gyakorló, valamint a házi feladatok megoldását távkonzultációval is segítjük (Teams), ha lesz rá igény.

## DP-követelmények: kis házi feladatok

### Kis házi feladatok (KHF)

- 3 feladat funkcionális, 3 logikai programozási nyelven, az ütemterv szerint.
- Kiírás a honlapon, beadás szintén elektronikus úton (ld. honlap, ETS).
- **Kötelező** legalább két FP és két LP KHF érvényes és sikeres beadása.
- A KHF-ek egyre összetettebbek és részben **egymásra épülnek** – érdemes **minél előbb** elkezdni a KHF-ek beadását!
- Egy KHF beadása érvényes, ha az összes beadási tesztesetre jól fut le.
- A KHF-ek az ún. éles tesztelés során kapnak pontszámot (ezek az éles tesztesetek a beadási tesztesetekhez hasonlóak, de nem ugyanazok).
- Minden KHF sikeres megoldásáért – azaz az összes éles tesztelés megoldásáért – 1-1 jutalompont (azaz a 100 alappont feletti pont) jár.
- Ha valaki mindhárom KHF-et megoldja az adott nyelven, azzal **megduplázza** a pontszámát, azaz 3 helyett 6 pontot kap.
- Minden **KHF**-nek külön határideje van, **pótlási lehetőség nincs**.
- A beadási határidejéig a KHF többször is beadható, az utolsót értékeljük.

## DP-követelmények: nagy házi feladat

### Nagy házi feladat (NHF)

- Programozás mind funkcionális, mind logikai nyelven.
- Mindenkinek önállóan kell kódolnia (programoznia)!
- Elvárás: hatékony (időlimit!), jól dokumentált („kommentezett”) programok.
- A programokhoz 5–10 oldalas fejlesztői dokumentáció PDF-ben.
- Az FP NHF kiírása szeptember, az LP NHF-é október végén a honlapon.
- Az FP NHF beadása október közepén, az LP NHF-é november közepén, elektronikus úton (ld. honlap, ETS).
- A beadáskor és a pontozáskor most is külön-külön teszt sorozatot használunk (nehézségben hasonlókat, de nem azonosakat).
- Azok a programok, amelyek megoldják az éles tesztesetek 80%-át, *létraversenyen* vesznek részt (hatékonysági, gyorsasági plusz pontokért).
- Azok a hallgatók, akik **mindkét** nyelvből bejutnak a létraversenybe, és a kis házi feladatokra vonatkozó követelményeket is teljesítik, **megajánlott** jegyet kapnak.
- A beadási határidejéig az NHF többször beadható, az utolsót értékeljük.

## DP-követelmények: nagy házi feladat (folyt.)

### Nagy házi feladat (folyt.)

- Pontozása mindkét nyelvből:
  - helyes (azaz jó eredményt időkorláton belül adó) futás esetén a 10 teszt eset mindegyikére 0,5-0,5 pont, összesen max. 5 pont;
  - a dokumentációra, a kód olvashatóságára, kommentezettségére max. 2 pont;
  - tehát nyelvenként összesen max. 7 pont szerezhető.
- Így az NHF súlya az osztályzatban: 14% (a 100 pontból 14).
- Az NHF beadása **nem kötelező, de ajánlott!** Hogy miért? Többek között
  - egy-egy nagyobb feladat megoldásával lehet igazán megérteni, megérezni a funkcionális, ill. a logikai programozási szemléletet;
  - mindkét NHF hatékony megoldásával megajánlott jegyet lehet szerezni, ami a külföldön tanulóknak, „home office”-ban dolgozóknak, sok zéhát írónak stb. különösen hasznos lehet;
  - maguk a feladványok is érdekesek, például abból a szempontból, hogy hogyan lehet hatékonyan algoritmizálni őket;
  - lehetőséget adnak egy új szakmai területre, a korlátprogramozásba (constraint programming) való „belekóstolásra”.

## DP-követelmények: zárthelyik

### Nagyzárthelyik, pótzárthelyik (NZH-k, PZH-k)

- Két NZH-t tartunk, egyet a funkcionális, egyet a logikai részből.
- Két PZH-t tartunk, mindkét PZH-n bármelyik NZH-t lehet pótolni, akár mind a kettőt (de szűkebb időkerettel).
- Mind a funkcionális, mind a logikai részből **kötelező** a zárthelyi érvényes teljesítése, kivéve megajánlott jegy esetén (lásd alább).
- 40%-os szabály: **nyelvenként** a maximális pontszám 40%-a kell az érvényességhez.
- Zárthelyi időpontok: lásd a honlapon.
- A zárthelyik súlya az osztályzatban: 43%-43% (a 100 pontból max. 86).

## DP-követelmények: megajánlott jegy, önálló feladatmegoldás

### A megajánlott jegy feltételei

- Alapfeltételek: a KHF követelmények teljesítése; az NHF „megvédése”.
- Jó (4): a nagy házi feladat mindkét nyelvből bejut a létraversenybe.
- Jeles (5): legalább 40%-os eredmény a létraversenyen, mindkét nyelvből.

Az NHF „megvédése” azt jelenti, hogy a hallgatónak személyes vagy távjelenléti formában el kell magyaráznia a tantárgy egy oktatójának, hogyan oldotta meg az NHF-et, és válaszolni kell tudnia az oktató kérdéseire.

Magától értetődő, hogy **minden házi feladatot önállóan kell elkészíteni.**

Másolás esetén kötelesek vagyunk fegyelmi eljárást indítani, lásd a 3/2011. (III.23.) rektori utasításban a *"Beadandó feladat, szakdolgozat, diplomatervezet elkészítése mással"* tételt.

## DP-követelmények: IMSc-pontozás

- A tantárgyból kétféle módon szerezhető IMSc pont:
  - egyes zárthelyik során pluszfeladatok megoldásával (max. 13 pont),
  - a létraversenyen a megajánlott jeles érdemjegyhez szükséges 40%-os teljesítés felett minden további 10%-os teljesítésért mindkét nyelv esetén 1–1 pont (összesen max. 12 pont).
- A hallgató a fenti módokon szerzett pontok összegét kapja, de a VISZAD00 kurzus esetén legfeljebb 15 IMSc pontot.
- Az IMSc pontok gyűjtése teljesen független a tantárgyban szerezhető ZH és HF pontoktól. Ezen pontok megszerzése és a fakultatív feladatok megoldása nélkül is jeles szinten teljesíthetők a tantárgy követelményei.
- Az IMSc pontok megszerzése az IMSc programban nem résztvevő hallgatók számára is lehetséges.

## Tartalom

- 1 Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés
  - Tudnivalók, követelmények
  - A deklaratív programozási paradigma áttekintése

## Deklaratív programozás

- A „deklaratív programozás” jelentése (Wikipédia):  
(...) a deklaratív programozás egy programozási paradigma, (...) amely kifejezi a számítás logikáját anélkül, hogy leírná a vezérlési folyamatát.  
(...) **declarative programming is a programming paradigm (...) that expresses the logic of a computation without describing its control flow.**
- A „deklaratív” jelző értelmezése (Topszótár):
  - **kijelentő**, kinyilatkoztató
  - ellentmondást nem tűrő
- A „deklaratív” jelző a nyelvészetből származik, pl. „kijelentő mondat”.
- Milyen más mondatfajták vannak?
  - kérdő,
  - **felszólító** (imperatív) stb.
- A számítógépek belső nyelve (gépi kódja) alapvetően **felszólító** jellegű: add hozzá, szorozd meg, ugorj, ...
- A magas szintű programnyelvek többsége is **imperatív**:  
while ... do ..., goto ..., értékadás (írd felül a változó értékét) stb.

## Deklaratív programozás (folyt.)

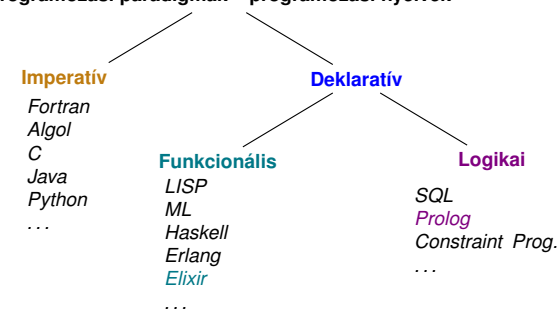
- Lehet-e pl. C-ben deklaratívan programozni?  
Igen, pl. ciklus helyett rekurzió használatával:  

```
int fact(int n) {if (n > 0) return n * fact(n-1);
                else return 1;
                }
```
- Igen, de ez lassúúú! ~> Ún. jobbrekurzív (farokrekurzív, tail recursive) változata a ciklussal azonos hatékonyságú kóddá fordul.
- Mi az előnye a deklaratív szemléletnek? A programkód sokkal közelebb áll a specifikációhoz, helyességéről sokkal könnyebb meggyőződni.
- A deklaratív megközelítés jelmondata:  
**MIT** és nem **HOGYAN**  
vagy kicsit enyhítve:  
Inkább **MIT**, mint **HOGYAN**  
(**WHAT** rather than **HOW**)
- A **deklaratív** nyelvekben a **változó** a **matematika** változófogalmának felel meg: **egyetlen**, esetleg még ismeretlen értéket jelöl.

## Funkcionális és logikai programozás

- A **deklaratív** programozás két fő ága egy-egy alapvető **matematikai fogalom**hoz kapcsolódik:
  - Funkcionális programozás (FP) – **függvények**
  - Logikai programozás (LP) – **relációk**

### Programozási paradigmák – programozási nyelvek



- A kurzus tárgya: az **Elixir** funkcionális és a **Prolog** logikai programozási nyelv.

## 1. példa: Listák összefűzése Elixirben és Prologban

- Az Elixir és a Prolog nyelvek (közös) szintaxisa a láncolt listák jelölésére:
  - `[]` – üres lista
  - `[Head|Tail]` – egy olyan lista, amelynek feje `Head`, farka pedig `Tail`
- Példa: az 1, 2, 3 számokból álló lista: `[1| [2| [3| []]]]`
- Ugyanez az adatstruktúra tömörebben is leírható: `[1,2,3]`
- Írjunk egy `app` nevű kétargumentumú **Elixir függvényt** (`app/2`):
 

```
# app(l1, l2): l1 és l2 listák összefűzöttje (l1@l2)
def app([], b) do b end # [] @ b = b
def app([x|a], b) do [x|app(a,b)] end # [x|a] @ b = [x|a@b]
```
- Ennek egy 3-argumentumú **Prolog predikátum** felel meg, (`app/3`), a 3. argumentum az összefűzött lista (az **Elixir függvény** eredménye):
 

```
% app(L1, L2, L12): L1 és L2 listák összefűzöttje L12 (L1@L2=L12)
app([], B, B). # [] @ B = B
app([X|A], B, [X|C]) :- # [X|A] @ B = [X|C] ha
    app(A, B, C). # A @ B = C
```
- Az `C` segédváltozó az `A@B` részeredményt tárolja.
- Az `app/3` Prolog predikátum jobbrekurzív (konstans vermet használ)!

## Az `app/3` Prolog predikátum használata

- Prologban megengedett, hogy egy **adatstruktúrában behelyettesíthető** változó szerepeljen:
 

```
app([], B, B).
app([X|A], B, [X|C]) :- app(A, B, C).
```
- A Prolog változó pointerként is felfogható: az `app` először felépíti az eredménylista első láncszemét (`[X|C]`), majd az `app` jobbrekurzív hívásával kitölti az eredménylista `C` farkát, pl. `?- app([1], [2], L).`
- Az `app/3` predikátum nemcsak összefűzésre használható:
 

```
?- app([1,2], [3,4], L). => L = [1,2,3,4] ? ; no
?- app([1,2], B, [1,2,3,4]). => B = [3,4] ? ; no
?- app([1,2], B, [1,3,4,5]). => no
?- app(A, B, [1,2]). => A = [], B = [1,2] ? ;
A = [1], B = [2] ? ;
A = [1,2], B = [] ? ; no
```
- Egy **behelyettesíthető** változó többször is előfordulhat egy hívásban:
 

```
?- app(A, A, [1]). => no
?- app(A, A, [1,1]). => A = [1] ? ; no
```
- Az `app/3` predikátum `append/3` néven **beépített** predikátumként elérhető.

## 2. példa (Prolog): egy szám prím voltának ellenőrzése

- Írjunk egy `prime(P)` eljárást (predikátumot), amely eldönti hogy `P` prim-e.
- Az alábbi kód egy „végrehajtható specifikáció”.
- A jobboldalon angol nyelvű kommentként, a baloldalon Prolog kódként:
 

```
prime(P) :- # P is a prime if
    integer(P), P > 1, # P is an integer and P > 1 and
    P1 is P-1, # P1 = P-1 and
    \+ # it is not the case that
    ( # ( there exists an I such that:
      between(2, P1, I), # 2 <= I <= P1 and
      P mod I =:= 0 # P modulo I equals 0
    ). # )
```
- Az `X is Expr` egy **beépített predikátum (BIP)**, amely az `Expr` aritmetikai kifejezést kiértékeli és az eredményt `X`-be rakja.
- Az `Expr1 =:= Expr2` **BIP** mindkét argumentumát (`Expr1` és `Expr2`) kiértékeli, és pontosan akkor sikerül, ha ezek az eredmények egyenlők; analóg a helyzet az `Expr1 > Expr2` esetén, stb.
- A `between(From, To, Int)` könyvtári eljárás `Int`-ben felsorolja a `From` és `To` közé eső egész számokat.

## 3. Prolog példa: Magasabbrendű predikátumok

- Írjunk egy `double(N, D)` predikátumot, amely `N`-ben egy számot vár, és a kétszeresét adja vissza `D`-ben:
 

```
% double(N, D): D = 2*N
double(N, D) :- D is 2*N.
```
- A `maplist(Pred, L1, L2)` magasabbrendű eljárás `Pred`-ben egy kétargumentumú eljárás **nevét** várja el, míg `L1` és/vagy `L2` lista kell legyen. Az eljárás `Pred`-et futtatja az `L1` és `L2` azonos indexű elemeire, pl. `?- maplist(double, [1,3,4,6], L).`  $\Rightarrow$  `L = [2,6,8,12] ?`
- Egy nemdeterminisztikus példa:
 

```
% neighbor(I, J): J 1-gyel tér el I-től.
neighbor(I, J) :- J is I+1.
neighbor(I, J) :- J is I-1.
```
- Példafutások:
 

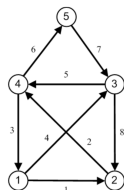
```
?- maplist(neighbor, [5,8], L).
L = [6,9] ? ; L = [6,7] ? ; L = [4,9] ? ; L = [4,7] ? ; no
?- L = [_N1,_N2], neighbor(5, _N1), neighbor(8, _N2).
L = [6,9] ? ; L = [6,7] ? ; L = [4,9] ? ; L = [4,7] ? ; no
```

## 4. példa (Prolog): Euler-séta keresése

- Wikipedia: *Egy irányítatlan gráfban Euler-sétának hívunk egy sétát, ha minden élet pontosan egyszer érint.*

Állítás: *Egy irányítatlan gráfban pontosan akkor van Euler-séta, ha 0 vagy 2 csúcspontnak van páratlan fokszáma.*

Ez fennáll a jobboldali „házikó” gráfra: csak az 1 és 2 csúcsok fokszáma páratlan.



- Egy gráf A és B csúcsai közötti élet az A-B Prolog kifejezéssel jelöljük.
- Egy gráfot az élei listájával ábrázolunk, pl. a fenti gráf egy ábrázolása: [1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4, 3-5, 4-5].
- Egy másik ábrázolás: [1-2, 2-4, 4-1, 1-3, 3-4, 4-5, 5-3, 3-2], ez a fenti ábrán az éleken szereplő számozást követő Euler-sétának felel meg
- Számoljuk meg egy  $n$  ( $= 8$ ) élű gráf lehetséges „ábrázolásait”:
  - minden egyes él kétféle sorrendben írható, ez  $2^n$  (256) lehetőség;
  - az  $n$  él  $n!$  ( $8! = 40320$ ) féle módon rendezhető el, így
  - az ábrázolások száma  $2^n * n!$ , ami  $n = 8$  esetén  $\sim 10$  millió.

## Euler-séta keresése – egy egyszerű Prolog megoldás

```
% walk(G): A G lista egy Euler-sétát ad meg.
walk([_ _]). % Egy egyetlen élből álló gráf egy sétát ad meg.
walk(G) :- % A G gráf egy sétát ad meg, ha
    G = [_-Q|T], % első élének Q végpontja ugyanaz,
    T = [Q-_|_], % mint a második élének kezdőpontja, és
    walk(T). % a gráf farka is egy Euler-sétát ad meg.

% same_edge(E0, E): E0 és E ugyanazt az (irányítatlan) élet jelöli.
same_edge(A-B, A-B). same_edge(A-B, B-A).

same_graph0(G0, G) :- % G0 and G ugyanazt a gráfot jelöli, ha
    maplist(same_edge, % G1-et úgy kapjuk G0-ból, hogy 0 vagy
            GO, G1), % több élének irányát megfordítjuk, és
    permutation(G1, G). % G a G1 éllista egy permutációja.
                        % (permutation/2 a library(lists) könyvtárban van)

draw0(GO, W) :- % GO a W sétával azonos gráfot ábrázol, ha
    same_graph0(GO, W), % GO és W ugyanazt a gráfot jelöli, és
    walk(W). % W egy séta.
```

A draw0/2 predikátum 2.7 mp alatt sorolja fel az összes megoldást (i5-6300U @ 2.40GHz processzoron).

## Euler-séták – az élforgatás és a permutáció egybeolvasztása

- A permutáció egy másik könyvtári eljárásra, a select/3-ra épül:

```
% select(E, L, RL): E az L lista eleme, és a RL listát az E adott
% előfordulásának L-ből való elhagyásával kapjuk.
% Röviden: E-t L-ből elhagyva RL marad.
```

- A permutáció megvalósításának egy lehetséges módja:

```
% permutation(L, P): Az L lista permutációja P.
permutation([], []). % [] permutációja [].
permutation(L, [First|Perm]) :- % L permutációja [First|Perm], ha
    select(First, L, Rest), % First-t L-ből elhagyva Rest marad, és
    permutation(Rest, Perm). % Rest permutációja Perm.
```

- Ha a fenti kódba beszurjuk az élforgatást, ezt a predikátumot kapjuk:

```
% same_graph1(GO, G): GO és G ugyanazt a gráfot jelöli.
same_graph1([], []). % [] és [] ugyanazt a gráfot jelöli.
same_graph1(L, [E|Perm]) :- % L és [E|Perm] ugyanazt a gráfot jelöli, ha
    select(First, L, Rest), % First-t L-ből elhagyva Rest marad, és
    same_edge(First, E), % First és E ugyanazt az élet jelöli, és
    same_graph1(Rest, Perm). % Rest és Perm ugyanazt a gráfot jelöli.

draw1(GO, W) :- same_graph1(GO, W), walk(W). % Futási idő: 3.5s :-).
```

## Euler-séták – az áttörés

- Gyorsítsuk fel a kódot a klóztörzs átrendezésével!

```
draw1(GO, W) :- draw2(GO, W) :-
    /* generate-and-test */ same_length(GO, W), % GO and W are of
    walk(W), % equal length
    same_graph1(GO, W), same_graph1(GO, W).
    /* constrain-and-generate */
```

- draw2 0.43 msec alatt fut le, kb.  $10^4$ -szer gyorsabban mint draw1/draw0!
- same\_length/2 egy könyvtári eljárás (library(lists)). Azt jelenti, hogy a két argumentum azonos hosszúságú lista:
 

```
| ?- same_length([1,2,3], L). => L = [_A,_B,_C] ? ; no
```
- Ha valamelyik argumentum változó (pl. L), akkor ez egy csupa különböző változóból álló megfelelő hosszúságú listával helyettesítődik.
- Mi történik, ha walk/1-et egy ilyen listával hívjuk meg?
 

```
| ?- L = [_,_,_], walk(L). => L = [_A-_B,_B-_C,_C-_D] ?
```
- Az L változó egy „séta-mintát” kap értékül: az első él végpontja (\_B) ugyanaz a változó lesz, mint a második él kezdőpontja stb. Amikor egy ilyen változó-előfordulás behelyettesítődik, a másik előfordulás ugyanezt az értéket veszi fel, nagymértékben szűkítve a keresési teret.

## 5. példa (Prolog): adott értékű kifejezés előállítás

- Nevezünk **alapkifejezésnek** egy olyan aritmetikai kifejezést amely csak a négy alapműveletet (+, -, \*, /) tartalmazza
- A feladat: írjunk programot a következő feladvány megoldására: Adott számokból építsünk egy adott értékű alkifejezést! (Feltételezhető, hogy az adott számok mind különbözőnek.)
- Példa: keressünk egy olyan aritmetikai kifejezést, amely az 1, 3, 4, 6 számokból áll, és értéke 24 (nehéz feladat!)
- Pontosítás:
  - A számok nem „tapaszthatók” össze hosszabb számokká
  - Mindegyik adott számot pontosan egyszer kell felhasználni, sorrendjük tetszőleges lehet
  - Nem minden alapműveletet kell felhasználni, egyfajta alapművelet többször is előfordulhat
  - Zárójelek tetszőlegesen használhatók
- Példák a fenti szabályoknak megfelelő, az 1, 3, 4, 6 számokból felépített aritmetikai kifejezésekre:  $1 + 6 * (3 + 4)$ ,  $(1 + 3)/4 + 6$

## Adott értékű kifejezés előállítása – a Prolog kód

**Kék/narancs** színnel jelezzük a beépített/könyvtári predikátumokat

```
% Kif az L listabeli számokból felépített, Ertek értékű kifejezés.
levelek_ertek_kif(L, Ertek, Kif) :-
    permutation(L, PL),          % PL az L levéllista permutációja,
    levelek_kif(PL, Kif),        % Kif egy PL levéllistájú alkifejezés,
    catch(Kif := Ertek, _,      % Kif értéke Ertek, ha a kiértékelés hibát
          fail).                % dob (pl. 0-val osztás), hiúsuljunk meg

% Kif egy tetsz. olyan alkifejezés, amelynek levéllistája az adott L
levelek_kif(L, Kif) :-
    L = [Kif].                  % Ha L egyelemű, akkor Kif legyen az elem
levelek_kif(L, Kif) :-
    append(L1, L2, L),          % L-t bontsuk szét L1 ⊕ L2-re
    L1 \= [], L2 \= [],         % ahol sem L1, sem L2 nem []
    levelek_kif(L1, K1),        % K1 legyen egy tetsz. L1 levlistájú kif.
    levelek_kif(L2, K2),        % K2 legyen egy tetsz. L2 levlistájú kif.
    member(Op, [+,-,*,/]),      % Op legyen egy tetsz. alapművelet
    Kif =.. [Op,K1,K2].         % Kif legyen egy olyan kétargumentumú kif.
                                % melynek művelete Op, operandusai K1 és K2
```

## Kitekintés – korlátprogramozás Prologban

**CLPFD: Constraint Logic Programming over Finite Domains**  
(Korlát-LP véges tartományokon)

### A 711-es feladvány (David Gries, May 1982)

<https://www.cs.cornell.edu/gries/TechReports/82-493.pdf>

Egy vevő négy árucikket vett egy 711-es boltban (ez egy áruházlánc az USA-ban). A pénztáros becsomagolta a vásárlást, és azt mondta:

- 7 dollár 11 centet kérek.
- A vevő visszakérdezett: *Azért kér \$7.11-t, mert ez egy 711-es bolt?*
- Nem, mondta a pénztáros, *összeszoroztam az árakat és \$7.11 jött ki.*
- *Dehát az árakat össze kell adni, nem pedig szorozni,* mondta a vevő.
- *Ó, teljesen igaza van!* válaszolt a pénztáros
- *Újraszámolom ... a végösszeg \$7.11.*

A feladat: A fenti beszélgetés alapján állapítsuk meg a négy árucikk árát!

**Fontos:** A számításokat pontosan, kerekítés nélkül kell elvégezni!

## A 711-es feladvány CLPFD megoldása: constrain-and-generate

```
:- use_module(library(clpfd)).

problem711(Vs) :-
    Vs = [A,B,C,D],           % A 4 árucikk ára
    domain(Vs, 1, 711),      % Az árak centben vannak
    A+B+C+D #= 711,          % Az árak összege 711 cent
    % A*B*C*D/100^4 = 711/100, % A $-ban számolt árak szorzata 7.11
    % szorozzuk meg mindkét oldalt 100^4-nel:
    A*B*C*D #= 711*100^3,    %
    A #=< B, B #=< C, C #=< D, % Az árakat rendezzük
    labeling([ff], Vs).       % Keresés a first fail elvnek
                                % megfelelően: mindig a legszűkebb
                                % választási pontot járjuk be

| ?- problem711(Vs). => Vs = [120,125,150,316] ? ; no
```

Néhány statisztikai infó, SICStus Prologban (a teljes keresési tér bejárásakor):

- Szűkítések száma: 21712 (hányszor szűkült egy változó tartománya)
- Futási idő: **0.015 sec**, visszalépések száma (keresési fa ágai): **147**  
(a „brute force” keresés  $711^4 = 2.56 * 10^{11}$  visszalépést igényelne)

## II. rész

# Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat

- 1 Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés
- 2 Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat
- 3 Programozás, funkcionális programozás

## Tartalom

- 2 Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat
  - FPE-1 – Elixir: születés, szakirodalom, telepítés, szövegszerkesztők
  - FPE-1 – Az Elixir interaktív használata (IEx)

## Az Elixir nyelv

- 2012: megszületik Brazíliában (**José Valim**)
- Ruby, Erlang és Closure alapokon
- **Funkcionális** és **konkurens**
- **Elosztott** és **hibatűrő** alkalmazások fejlesztésére készült
- A BEAM virtuális gépre fordít (bytecode)
- Fő jellemzői:
  - A nyelvben minden kifejezés
  - Rekurzió és magasabb rendű függvények (ciklusok helyett)
  - Mintaillesztés
  - Nincs semmi megosztva, a processzek üzenetekkel kommunikálnak
  - Teljes körű Unicode támogatás, UTF-8 sztringek, karakterláncok
  - Erlang függvények hívhatók Elixirből, Elixir függvények Erlangból
  - Metaprogramozás, polimorfizmus támogatása
  - Dokumentálás támogatása (Markdown formatting language)
  - Beépített eszközkészlet támogatja a fejlesztést

## José Valim az Elixir nyelv születéséről 2014-ben 1

*A couple of decades ago, memory was a very limited resource. It made sense back then for our software to take hold of some piece of memory and mutate it as necessary. However, allocating this memory and cleaning up after we no longer needed it was a very error-prone task. Some memory was never freed; sometimes memory was allocated over another structure, leading to faults. At the time, garbage collection was a known technique, but we needed faster CPUs in order to use it in our daily software and free ourselves from manual memory management. That has happened—most of our languages are now garbage-collected.*

*Today, a similar phenomenon is happening. Our CPUs are not getting any faster. Instead, our computers get more and more cores. This means new software needs to use as many cores as it can if it is to maximize its use of the machine. This conflicts directly with how we currently write software.*



## José Valim az Elixir nyelv születéséről 2014-ben 2

*In fact, mutating our memory state actually slows down our software when many cores are involved. If you have four cores trying to access and manipulate the same piece of memory, they can trip over each other. This potentially corrupts memory unless some kind of synchronization is applied.*

*In the Erlang VM, all code runs in tiny concurrent processes, each with its own state. Processes talk to each other via messages. And since all communication happens by message-passing, exchanging messages between different machines on the same network is handled transparently by the VM, making it a perfect environment for building distributed software!*

*However, I felt there was still a gap in the Erlang ecosystem. I missed first-class support for some of the features I find necessary in my daily work—things such as metaprogramming, polymorphism, and first-class tooling. From this need, Elixir was born.*

## José Valim az Elixir nyelv születéséről 2014-ben 3

*Elixir is a pragmatic approach to functional programming. It values its functional foundations and it focuses on developer productivity. Concurrency is the backbone of Elixir software. As garbage collection once freed developers from the shackles of memory management, Elixir is here to free you from antiquated concurrency mechanisms and bring you joy when writing concurrent code.*

*A functional programming language lets us think in terms of functions that transform data. This transformation never mutates data. Instead, each application of a function potentially creates a new, fresh version of the data. This greatly reduces the need for data-synchronization mechanisms.*

*All this is powered by the Erlang VM, a 20-year-old virtual machine built from scratch to support robust, concurrent, and distributed software. Elixir and the Erlang VM are going to change how you write software and make you ready to tackle the upcoming years in programming.*

Forrás: Előszó Dave Thomas: *Programming Elixir*  $\geq 1.6$  című könyvéhez

## Elixir-szakirodalom

### Könyvek

- Dave Thomas: *Programming Elixir*  $\geq 1.6.$ , 2018  
<https://pragprog.com/titles/elixir16/programming-elixir-1-6>
- Ulisses Almeida: *Learn Functional Programming With Elixir*, 2018  
<https://pragprog.com/titles/cdc-elixir/learn-functional-programming-with-elixir>
- Saša Jurić: *Elixir in Action*, 2024  
<https://www.manning.com/books/elixir-in-action-third-edition>

### További olvasnivalók

- Írások az Elixir nyelv érdekességeiről: <https://dp.iit.bme.hu/readings.html>
- Elixir Getting Started: <https://elixir-lang.org/getting-started/introduction.html>
- Elixir Tutorial: <https://www.tutorialspoint.com/elixir/index.htm>
- Elixir Documentation: <https://elixir-lang.org/docs.html>
- Elixir School: <http://elixirschool.com/>
- Lásd még: <https://elixir-lang.org/learning.html>

Gyakorlóhely (Exercism): <https://exercism.org/tracks/elixir>

Ajánlott videók: <https://dp.iit.bme.hu/videos>

## Elixir: használat, telepítés

- Elixir homokozó: <https://dps.iit.bme.hu/educ/>.<sup>2</sup>
- Az Elixir előtt a megfelelő verziójú Erlangot is telepíteni kell.
- Telepítés: <https://elixir-lang.org/install.html>
  - **asdf** verziókezelő (több verzió telepíthető vele párhuzamosan).
  - Különbéféle csomagkezelők: Debian, Ubuntu, Windows, Mac Os (nem mindig a legfrissebb verziót telepítik).
- **mise** verziókezelő (*asdf*-en alapul, ugyancsak több verziót tud kezelni): <https://mise.jdx.dev/getting-started.html>. Az Erlangot a **mise** alpból ismeri (lásd: *Plugins*, *Core Plugins*), az Elixir telepítése itt van leírva: <https://github.com/mise-plugins/mise-elixir>.
- Mivel az *asdf* – és így a *mise* is – forrásfájlokat tölt le és fordít, különféle programokra, könyvtárakra van szükségük, különösen ezekre: *git*, *g++*, *libncurses-dev*, *automake*, *autoconf*, *libssl-dev*.

<sup>2</sup>Köszönet Gergely Vikornak az EDUX kitalálásáért, elkészítéséért!  
Forrás: <https://github.com/vikger/educ/>

## Elixir telepítése *mise*-zel

A *mise*-t a <https://mise.jdx.dev/getting-started.html> weblapon leírtak szerint kell telepíteni; többféle eljárás lehetséges.

Ezután érdemes telepíteni a *mise* egy segédcsomagját, majd pedig az Erlang *rebar* nevű csomagkezelőjét, az Erlangot és az Elixirt az alábbi parancsokkal:

```
mise use -g usage          # install mise completions
mise use -g rebar@latest  # install rebar
mise use -g erlang@latest # install erlang
mise use -g elixir@latest # install elixir
```

Ha nem a *latest* verziót akarjuk telepíteni, helyette a verziószámot kell megadni. Az elérhető pluginok, ill. plugin-verziók a `mise plugins ls-remote`, ill. a `mise ls-remote` paranccsal listázhatók, pl. `mise ls-remote erlang@27`. Még aktiválnunk kell a *mise*-t meg a parancskiegészítő módot, ehhez, Linux és Bash használatot feltételezve, a `.bashrc` fájlba az alábbi két sort kell beírni:

```
eval "$(mise activate bash)"
eval "$(mise complete bash)"
```

majd újra beolvasni a `.bashrc`-t: `source .bashrc`.

## Elixir Livebook telepítése

- A *Livebook* telepítéséről itt lehet olvasni: <https://livebook.dev/#install>.
- Macre és Windowsra telepítőkkal lehet főlrakni.
- Linuxon csak kicsit bonyolultabb (hála az Elixir *escript* funkciójának), a leírás itt található: <https://github.com/livebook-dev/livebook#direct-installation-with-elixir>.
- Ha az Elixirt és Erlangot a *mise*-zel telepítettük, akkor az Erlang függőségeit, amelyek az említett szakaszban vannak felsorolva (`inets`, `os_mon`, `runtime_tools`, `ssl`, `xmerl`), nem az operációs rendszer, hanem az Erlang már említett *rebar* csomagkezelőjével kell telepíteni.
- `rebar3 local install inets stb`.
- A függőségek telepítése után kell futtatni a <https://github.com/livebook-dev/livebook#escript> szakaszban megadott parancsokat.

De ha nem akarunk a telepítésekkel bajlódni, akkor használhatjuk a dockerizált Elixirt és Livebookot. Részletek a következő dián.

## Elixir: használat Docker konténerekkel

- Elixir Docker: <https://elixir-lang.org/install.html#docker>
  - Run iex (interactive mode): `docker run -it --rm elixir`
  - Run elixir (compiler & iex): `docker run -it --rm elixir bash`
- Elixir notebook, azaz *Livebook for Elixir*: <https://livebook.dev/>
  - Docker: <https://github.com/livebook-dev/livebook#docker>
  - Lokális tárhely a `-v $(pwd):/data` opcióval megadott mappában; `$(pwd)` használata esetén abban a mappában, ahol a `docker ...` parancsot kiadjuk. Tulajdonososi jogok beállítása a `-u $(id -u):$(id -g)` opcióval.
 

```
docker run -p 8080:8080 -p 8081:8081 --rm --pull always \
-u $(id -u):$(id -g) -v $(pwd):/data ghcr.io/livebook-dev/livebook
```

## Elixir: szövegszerkesztők

- Editors for Elixir: <https://github.com/elixir-editors>
  - vim-elixir for VIM: <https://github.com/elixir-editors/vim-elixir>
  - emacs-elixir for Emacs: <https://github.com/elixir-editors/emacs-elixir>
  - language-elixir for Atom: <https://github.com/elixir-editors/language-elixir>
  - **Visual Studio Code with ElixirLS:** <https://thinkingelixir.com/elixir-in-vs-code/>
  - IntelliJIdea with intellij-elixir plugin: <https://github.com/KronicDeth/intellij-elixir>

## Funkcionális programozás Elixir nyelven

Az Elixir-nyelvű funkcionális programozásról szóló első előadáson alapvetően a *Livebook for Elixir* segítségével tesszük meg az első lépéseket, ismerkedünk meg a funkcionális programozás alapjaival: két függvényt (app/2, fac/1) tárgyaltunk meg részletesen, elemezzük a kódjukat és a működésüket.

A Livebook-példák interaktív Markdown formátumban innen tölthetők le: <https://dp.iit.bme.hu/dp24a/dp24a-fp1ea.livemd>, képekkel együtt: <https://dp.iit.bme.hu/dp24a/dp24a-fp1ea.zip>, illetve olvasható-nyomtatható PDF-ként: <https://dp.iit.bme.hu/dp24a/dp24a-fp1ea.pdf>.

Mivel egyetlen programozási nyelvet sem lehet lineárisan, minden részletre kitérve ismertetni, megtanulni, ezért a fontos dolgokra később is visszatérünk. A következő diákon az Elixir interaktív használatáról olvashatnak, és kisebb példákat találnak a listakezelésről.

## Tartalom

- 2 Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat
  - FPE-1 – Elixir: születés, szakirodalom, telepítés, szövegszerkesztők
  - FPE-1 – Az Elixir interaktív használata (IEx)

## Interactive Elixir (REPL: read-eval-print loop)

```
$ iex
Erlang/OTP ...
Interactive Elixir ...
  press Ctrl+C to exit
  (type h() ENTER for help)
iex(1)> 3.2 + 2.1 * 2
7.4
iex(2)> :atom
:atom
iex(3)> Atom
Atom
iex(4)> "string"
"string"
iex(5)> {:ennes, :%, A, :':', 9.8}
{:ennes, :%, A, :':', 9.8}
iex(6)> [:lista, :%, A, :':', 9.8]
[:lista, :%, A, :':', 9.8]
iex(7)> i :':':
...Data type
Atom...
```

```
iex(8)> Ctrl+C
BREAK: (a)bort (A)bort with dump (c)ontinue
      (p)roc info (i)nfo (l)oaded (v)ersion
      (k)ill (D)b-tables (d)istribution
Ctrl+C
$
iex(8)> Ctrl+G
User switch command
--> h
  c [mn]          - connect to job
  i [mn]          - interrupt job
  k [mn]          - kill job
  j              - list all jobs
  s [shell]       - start local shell
  r [node [shell]] - start remote shell
  q              - quit erlang
  ? | h          - this message
--> q
$
```

## Interactive Elixir (IEx): parancsok

```
iex(1)> h().
Welcome to Interactive Elixir.
...
c/1          - compiles a file
c/2          - compiles a file and writes bytecode to the given path
cd/1         - changes the current directory
clear/0      - clears the screen
exports/1    - shows all exports (functions + macros) in a module
h/1         - prints help for the given module, function or macro
i/0         - prints information about the last value
i/1         - prints information about the given term
ls/0        - lists the contents of the current directory
ls/1        - lists the contents of the specified directory
pwd/0       - prints the current working directory
r/1         - recompiles the given module's source file
v/0         - retrieves the last value from the history
v/1         - retrieves the nth value from the history
...
To learn more about IEx as a whole, type h(IEx).
```

## Saját program fordítása, futtatása

### fpea.ex – Faktoriális

```
defmodule Fpea do
# Fájlnév csupa kisbetűvel, szavak között aláhúzás (snake_case)
# Modulnév egybe, szavak nagy kezdőbetűvel (BumpyCase, CamelCase)
  @spec fac(n::integer) :: f::integer # Típuszspecifikáció
  # f = n! (azaz f az n faktoriálisa) # Fejkomment
  def fac(0), do: 1 # ha az n=0 mintaillesztés sikeres
  def fac(n), do: n * fac(n-1) # ha az n=0 mintaillesztés sikertelen
end

iex(1)> c "fpea.ex" # fordítás
[Fpea]
iex(2)> Fpea.fac(5) # futtatás
120
iex(3)> fac(5) # a modulnevet ki kell írni
** (CompileError) iex:3: undefined function fac/1
iex(4)> Fpea.fac 5 # argumentum körül a zárójel sokszor elhagyható
120
```

## Elixir docker – IEx

```
# tárhely a docker konténerben
$ docker run -it --rm -w /home elixir
Erlang/OTP ...
Interactive Elixir ...
iex(1)> pwd
/home
iex(2)> Enum.map 1..5, fn(x) -> -x end
[-1, -2, -3, -4, -5]
iex(3)> Ctrl+C kétszer

# tárhely a hoszton
$ docker run -it --rm -v "$PWD":/home -w /home elixir
iex(1)>ls
fpea.ex      fpea.exs    ...
iex(2)> c "fpea.ex"
[Fpea]
iex(3)> exports Fpea
fac/1
4> Fpea.fac 5
120
```

## Elixir docker – bash

```
# tárhely a hoszton
$ docker run -it --rm -v "$PWD":/home -w /home elixir /bin/bash
root@...:/home#
# ls *.ex *.exs
fpea.ex      fpea.exs
# iex fpea.ex
Erlang/OTP ...
Interactive Elixir ...
iex(1)> Fpea.fac 5
120
iex(2)> Ctrl+C kétszer
$root@...:/home# ^D exit
$
```

## III. rész

### Programozás, funkcionális programozás

- 1 Deklaratív programozás, követelmények, áttekintés
- 2 Elixir: fő jellemzői, szakirodalom, telepítés, használat
- 3 Programozás, funkcionális programozás

## Tartalom

- 3 Programozás, funkcionális programozás
  - FPE-2 – Programozás és funkcionális programozás

## Programozás az 1970-es évek első feléig

- Sokféle, de egyszerű CPU: assembly nyelvek
- Ún. autokódok („emberközeli gépi kód”): MOST (Odra), FOCAL (PDP)
- FORTRAN, COBOL
- LISP, BASIC (interpretált)
- ALGOL
- Pascal (oktatási célra)

Tipikus jellemzők (a LISP többnyire kivétel):

- Monolit programozás (nincsenek modulok)
- GOTO használata
- Szubrutinok (nem rekurzív), eljárások (rekurzív is lehet)
- Típusok nincsenek vagy megkerülhetőek
- Túlzottan megengedő, sokszor rosszul definiált szintaxis
- Globális, átírható (frissíthető) változók, nincs deklarációkényszer
- Bottom-up (alulról felfelé haladó) kódolás
- Párhuzamos és elosztott programozást nem támogatja

⇒ Nem megbízható, nem biztonságos, nehezen karbantartható stb. szoftver

## Egy hírhedt hiba a NASA-nál a 1960-as évek elejéről

```
DO 10 I=1.10
...
10 CONTINUE
```

amit így értelmezett a FORTRAN fordító (mert a szóközöket egyszerűen figyelmen kívül hagyta!):

```
DO10I=1.10
...
10 CONTINUE
```

vagyis létrehozta a DO10I változót, ami a 1.1 értéket vette fel, miközben a programozó egy DO-ciklust akart írni (pont helyett vesszővel):

```
DO 10 I=1,10
...
10 CONTINUE
```

## Programozás az 1970-es évek második felétől

- „C”, később C++ programozási nyelv
- Absztrakt adattípusok
- Simula, ALGOL 68
- Structured Programming (Dahl, Dijkstra, Hoare), 1972
- Modular Programming, Modula (Wirth, 1972)
- CDL (Compiler Description Language, Koster, 1971)
- ELAN (Educational Language, Koster, 1974)
- Objektum-orientált programozás
- Ada
- Eiffel (Meyer), Sather (UCLA)
- Specifikációs nyelvek (pl. „Z”)
- SML, OCAML **funkcionális programozási nyelvek**

⇒ Törekvés megbízható, biztonságos, karbantartható szoftverre

## Néhány fontos könyv(em) a programozásról



## Funkcionális programozás, nyelvek

Hallott már korábban (a DP felvételét megelőzően) a funkcionális programozásról?

Ha igen, milyen programozási nyelv(ek) jut(nak) az eszébe?

Mi jut a Google „eszébe”, ha a *books* és *functional programming* szavakra keresek rá? <sup>3</sup>

<sup>3</sup> A találati sorrend nagyjából a következő diákon látható sorrend volt 2021-ben, a többszörös vagy hasonló találatok közül csak egyet-kettőt hagytam meg.

## Könyvek a funkcionális programozásról 1



JavaScript, Scala, Haskell, TypeScript, Python, Kotlin, F#, C++, C#

## Könyvek a funkcionális programozásról 2



Rust, Swift, Elm, Clojure, Java, PHP, OCaml, Lisp

## Könyvek a funkcionális programozásról 3



### Scheme, SML, Erlang, Ruby, Elixir

## Funkcionális programozási nyelvek, nyelvcsaládok

- Lisp (Common Lisp) – az ős, Scheme, Clojure (JVM-en fut) [ID]
- SML, Caml, Caml Light, OCaml, Alice, F# (.NET) [S]
- Clean, Haskell (pure FP languages) [S]
- Erlang, Elixir (Erlang VM-en [BEAM] fut) [ID]
- Elm (JavaScriptre fordít) [S]
- Funkcionális is: Kotlin (JVM-re, JavaScriptre, LLVM közvetítésével gépi kódra fordít), Python, Julia, Scala, Rust, Swift, ... [ID]
- Funkcionális, logikai és imperatív: Flix (ML-család, JVM-re fordít) [S]

ID: dinamikusan típusos, S: statikusan típusos

## Funkcionális programozás (FP): mi az?

- Programozás *függvények alkalmazásával*.
- Ritkábban *applikatív programozásnak* is nevezik (vö. function application).
- A függvény: leképezés – az argumentumából állítja elő az eredményt.
- A tiszta (matematikai) függvénynek nincs *mellékhatása*.
- Az FP fő jellemzői:
  - függvények (csak **bemenő** paraméterek + **visszatérési** érték),
  - nem frissíthető változók, kötések,
  - rekurzió (algoritmusok, adatok – **listák**, fák),
  - magasabb rendű függvények.
- A mellékhatás kizárása (vagy kordában tartása) miatt az FP-nyelvek különösen alkalmasak a párhuzamos programozásra (többmagos processzorok, elosztott rendszerek).

## Funkcionális programozási szemlélet

- Minek köszönhető a funkcionális programozási *szemlélet* terjedése?
  - A mellékhatások eliminálása – vagy inkább csak kordában tartása, minimalizálása,
  - a sok kis függvényből álló programszerkezet biztonságossá teszi a programozást.
- Ugyanezen okokból elosztott rendszerek programozására is alkalmasabbak az ilyen nyelvek az imperatív, objektum-orientált nyelveknél.
- Nem használnak közös memóriát – nincs rá szükségük –, a processzek üzeneteket küldenek egymásnak.
- Az egyes CPU-k teljesítménye nem nő drasztikusan, de nő a magok száma a számítógépeinkben – ezek között el kell osztani a munkát.

## Az Erlang nyelv

- 1985: megszületik „Ellemtelben” (Ericsson–Televerket labor)
  - A név eredete: A. K. **Erlang** dán matematikus, ill. **Ericsson language**
  - 1985-86: első interpreter Prologban! (**Joe Armstrong**)
- 1991: első megvalósítás, első projektek
- 1997: első OTP (Open Telecom Platform) + **BEAM virtuális gép** (B's – Bogdan's, Björn's – Erlang Abstract Machine)
- 1998-tól: nyílt forráskódú, szabadon használható  
<http://www.erlang.org/>
- **Funkcionális** alapú (functionally based)
- **Konkurens** (párhuzamos) programozást segítő (concurrency-oriented)
- **Hibatűrő** (fault-tolerant) – hatékony hibakezelés
- **Skálázható** (scalable)
- Gyakorlatban használt  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang\\_\(programming\\_language\)#Distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_(programming_language)#Distribution),  
<https://www.erlang-solutions.com/>

„Programming is fun!”

## Tartalom

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (1. rész)
  - FPE-2 – Termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (2. rész)

## IV. rész

### Típusok, termék, azonosítók, változók

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örökifejezés

## Típusok<sup>4</sup>

Az Elixir erősen típusos nyelv, dinamikus típusellenőrzéssel.

Értéktípusok	Value types
Atom	Atom
Tetszőleges hosszú egész szám	Arbitrary-sized integer (integer)
Lebegőpontos szám	Floating-point number (float)
Függvény	Function
<i>Tartomány</i>	<i>Range</i>
<i>Reguláris kifejezés</i>	<i>Regular expression (regex)</i>
<i>Sztring</i>	<i>String</i>

Kollekció-típusok	Collection types
Ennes	Tuple
Lista	List
Bináris	Binary
Szótár	Map
Struktúra	Struct

<sup>4</sup>A felsorolás nem teljes. A dőlt betűs típusok más alaptípusokra épülnek.



## Atom

- Kettősponttal (:) kezdődik
- Kezdődhet az angol ábécé nagybetűjével is, kettőspont nélkül, de ez konvenció szerint a modulnevekre van fenntartva
- A : után UTF-8 kódolású karaktersorozat, Elixir operátor vagy sztring állhat
- Az UTF-8 kódolású karaktersorozatban betűk, számjegyek és kétféle írásjel ( \_ , @ ) lehetnek
- A karaktersorozat végén általában kérdőjel (?) vagy felkiáltójel (!) is lehet
- Saját magát jelöli, nem sztring: egy atom értéke maga a neve
- Két azonos nevű atom mindig egyenlő, akárhol is vannak definiálva
- Hasonló a Prolog névkonstanshoz (atomhoz)
- C++, Java nyelvekben a legközelebbi rokon: enum
- Példák: :jános, :is\_bin?, :vált@2, :<>, : "fun/3", : "éljen soká!", :Éljen\_soká!, : "Őrült Űrőr tűrjön", Dp, Gy1

## Szám

- Egész (integer)
  - Decimális, pl. 1234
  - Hexadecimális, pl. 0xcafe
  - Oktális, pl. 0o765
  - Bináris, pl. 0b1010
  - Tagolható, pl. 123\_456\_789
  - Korlátlan pontosságú, pl. 123456789012345678901234567890
  - Karakterkód (Unicode codepoint)
    - Ha nyomtatható: ?z
    - Ha vezérlő: ?\n
- Lebegőpontos (float)
  - Pl. 3.14159,
  - Vezető nullával, pl. 0.14159
  - Exponenssel pl. 0.2e-22
  - IEEE 754 szerinti, dupla pontosságú<sup>5</sup>

<sup>5</sup>64 bit, kb. 16 számjegy, max. exponens kb. 10<sup>308</sup>

## Függvény (Function) 1 (fájl: fpea.ex)

- A függvény is érték: változóhoz köthető, adatstruktúra eleme lehet, függvény eredménye lehet, paraméterként átadható stb.  
Azaz: a függvény is ún. *first class citizen, teljes jogú polgár*
- Példák:
 

```
iex> fac = &Fpea.fac/1 # &: capture operator
&Fpea.fac/1
iex> fac.(5) # pont és zárójelpár kell, szöközőkkel tagolható
120
iex> Kernel.+(3,2) # infix operátor alkalmazása prefix helyzetben
5
iex> fs = [&Kernel.+/2, &*/2, &:math.sin/1] # :math Erlang modul!
[&:erlang.+/2, &:erlang.* /2, &:math.sin/1]
iex> (hd fs).(3,2)
5
iex> (hd tl fs).(3,2)
6
iex> (hd tl tl fs).(:math.pi * 90 / 180)
1.0
```

## Függvény (Function) 2 (fájl: fpea.ex)

- További példák: anonim függvény definiálása, hívása, névhez kötése
 

```
iex> fn ki -> "Szia, " <> ki <> "!" end # <>: konkaténálás
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>
iex> fn ki -> "Szia, "<>ki<>"!" end.("Péter") # pont, zárójel!
"Szia, Péter!"
iex> szia = fn ki -> "Szia, " <> ki <> "!" end
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>
iex> szia
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>
iex> szia("Bea")
"Szia, Bea!"
```
- További példa: függvénydefiníció def-fel, defp-vel
 

```
def sum_of_squares(a,b), do: sqr(a) + sqr(b)
defp sqr(a), do: a*a # p[rivát], azaz lokális a modulon belül
iex> Fpea.sum_of_squares 3, 4.5
29.25
```
- Függvény típusa: (arg1 típusa, arg2 típusa, ...) :: eredmény típusa  
Pl. a sum\_of\_squares/2 függvényé: (number, number) :: number

## Paraméter alapértelmezett (default) értéke (fájl: fpea.ex)

- Egy függvény egy vagy több paraméterének adhatunk alapértelmezett értéket a `\` jelöléssel. Az ilyen paraméter opcionális, a többi elvárt.
- Ha egy függvényt
  - az elvártnál kevesebb paraméterrel hívunk meg, a hívás meghiúsul;
  - az elvart számú paraméterrel hívunk meg, az összes opcionális paraméter az alapértelmezett értékét veszi fel;
  - az elvártnál több paraméterrel hívunk meg, az aktuális paraméterek értékét balról jobbra haladva veszik fel az opcionális paraméterek.
- Példák alapértelmezett értékekkel

```
def sum_of_sqrs_b5(a, b \\ 5), do: sqr(a) + sqr(b)
iex> Fpea.sum_of_sqrs_b5 3, 4.5
29.25
iex> Fpea.sum_of_sqrs_b5 3
34
def sum_of_sqrs_b5(a \\ 6, b \\ 5), do: sqr(a) + sqr(b)
iex> Fpea.sum_of_sqrs_a6b5 3
34
iex> Fpea.sum_of_sqrs_a6b5
61
```

## Lista (List)

- Korlátlan számú, tetszőleges kifejezésből álló, *láncolt* sorozat
- Lineáris rekurzív adatstruktúra:
  - vagy üres (`[]` jellel jelöljük),
  - vagy egy elemből áll, amelyet egy lista követ: `[x | xs]`
- Első eleme, ha van, a lista *feje*
- Első eleme utáni, esetleg üres része a lista *farka*

```
iex> [:elem] # egyelemű lista
[:elem]
iex> [:elem|[]] # fejből és üres farkból létrehozott lista
[:elem]
iex> [:elem1|[:elem2]] # fejből-farkból létrehozott lista
[:elem1, :elem2]
iex> [:elem,123,3.14,'elem'] # több elemű listák
[:elem, 123, 3.14, 'elem']
iex> [:elem,123|3.14,'elem']
[:elem, 123, 3.14, 'elem']
iex> [:egy|[:két]] ++ [:elem,123|3.14,'elem'] # ++: konkatenáció
[:egy, :két, :elem, 123, 3.14, 'elem']
```

## Ennes (Tuple), tartomány (Range)

### Ennes (Tuple)

- Rögzített számú, tetszőleges kifejezésből álló, fix sorrendű kollekción

### Példák:

```
iex> {0xiff, :erlang, Armstrong, 'Joe'++[0], [], {}}
{511, :erlang, Armstrong, [74, 111, 101, 0], [], {}}
iex> {plus, per, sin} = # mintaillesztések kötésekkel
{&Kernel.+/2, &//2, &:math.sin/1}
{&:erlang.+/2, &:erlang.//2, &:math.sin/1}
iex> {plus.(3,4), per.(3,4)} # infix volt, prefix lett
{7, 0.75}
iex> sin.(90*.:math.pi/180)
1.0
```

### Tartomány (Range)

- Egész számok sorozata a `[start, end]` tartományban
- Példa tartomány és lépésköz<sup>6</sup> definiálására, használatára:

```
iex> {18..23, 18..10}
{18..23, 18..10//-1}
iex> for i <- 18..10 // -3, do: i
[18, 15, 12]
```

<sup>6</sup>A lépésközt (`//`) az Elixir v12.1-ben vezették csak be.

## Karakterlánc (single-quoted)

- Rövidítés, karakterkódok listája: `'erl' ≡ [?e,?r,?l] ≡ [101,114,108]`
- Az Elixir/Erlang shell a nyomtatható karakterkódok (7..13, 27, 32..126) listáját karakterláncként írja ki
- Ha ezektől különböző érték is van a listában, listaként írja ki
- Példák:

```
iex> [101,114,108]
~c"erl"
iex> [31,101,114,108]
[31, 101, 114, 108]
iex> [a,101,114,108] # szabad változó tilos tömör kif-ben
error: undefined variable "a"
iex> [:a,101,114,108]
[:a, 101, 114, 108]
iex> 'erl' ++ 'ang' # konkatenálható
~c"erlang"
```

- A karakterlánc NEM sztring!

## Tartalom

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (1. rész)
  - FPE-2 – Termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (2. rész)

## Term

- A *term* tetszőleges adatstruktúra
- Minden terméknek van *értéke* és *típusa*
- A term maga is kifejezés
- Közelítő rekurzív definíciója:  
Szám-, atom-, függvény- és más értékekből, ill. *termekből* konstruktorokkal felépített, *tovább nem egyszerűsíthető* kifejezés
- Példák
  - kötött = 2021
  - Term (tovább nem egyszerűsíthető, tömör<sup>7</sup>)  
123456789  
{'Diák Detti', [{:khf, [:prolog, :elixir, :prolog]]}  
[:erlang.+ /2, kötött, fn(x,y) -> x\*y end]}
  - Nem term (tovább egyszerűsíthető vagy nem tömör)  
5+6 *# műveletet tartalmaz*  
(:erlang.+ /2) . (5,6) *# függvényalkalmazást tartalmaz*  
szabad *# szabad változó*

<sup>7</sup>Egy kifejezés akkor tömör, ha kiértékelhető, azaz nincs benne szabad változó

## Azonosító (identifier)

- Kisbetűvel vagy aláhúzásjellel (  ) kezdődő, betűket, számjegyeket<sup>8</sup> és aláhúzásjeleket tartalmazó, opcionálisan kérdő- vagy felkiáltójellel végződő karaktersorozat
- Konvenció szerint a ?-lel végződő azonosító kiértékelése igazságértéket ad eredményül, a !-lel végződő kiértékelése pedig kivételt dob, ha meghiúsul
- Konvenció szerint az azonosító részeit aláhúzásjellel tagoljuk (ún. megengedő snake\_case), vö. atom szintaxisa
- Példák:  
what\_s\_in\_a\_name name? exec!  
\_unused rómeó\_és\_Júlia year\_2021
- Az azonosító változót vagy függvénynevet jelöl
- Valójában a függvénynev is változó, vagy még inkább: a változó is függvény, mégpedig paraméter nélküli, *konstans függvény* (vö.  $\pi$ )

<sup>8</sup>UTF-8 kódolású betű, ill. decimális számjegy; lásd <https://hexdocs.pm/elixir/unicode-syntax.html>

## Változó

- Egy változó lehet *szabad* vagy *kötött*
- A szabad változónak nincs értéke, típusa
- A kötött változó valamely konkrét term *szinonimája*
- A változóhoz köthető új érték, de ez korábbi felhasználását nem módosítja
- A ^ (pin) operátor a kötött változó értékét fixálja: nem köthető új értékhez
- Példák  
iex> x = fn(x) -> 2\*x end *# a külső és a belső x nem ugyanaz!*  
#Function<44.40011524/1 in :erl\_eval.expr/5>  
iex> y = x  
#Function<44.40011524/1 in :erl\_eval.expr/5>  
iex> ^x = y.(2)  
\*\* (MatchError) no match of right hand side value: 4  
iex> x = y.(2)  
4  
iex> y  
#Function<44.40011524/1 in :erl\_eval.expr/5>

## Változó hatásköre, komment, igazságérték

- Változó hatásköre: lexikális
  - A függvény törzsében és fejében definiált változók (utóbbiak másnéven: formális paraméterek) lokálisak a függvényre nézve
  - Modulban is lehet változót definiálni, ami csak modulszinten látható, a modulban definiált függvényekből nem
  - `with` kifejezéssel is definiálhatunk lokális változót, például
 

```
iex> with a = 5, b = 7, do: a*a + 2*a*b + b*b
144
iex> a = 11; with a = 5, b = 7, do: a*a + 2*a*b + b*b; a
11
```
- Komment: `#` jellel kezdődik, a sor végéig tart
- Igazságérték, másnéven logikai érték (boolean)
  - Három atomot tekintünk igazságértéknek: `:true`, `:false`, `:nil`
  - Mindhárom írható kettőspont nélkül is: `true`, `false`, `nil`
  - A `false` és `nil` *hamis*, minden más érték (nemcsak a `true`) *igaz*<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Angolul szokás megkülönböztetni a *true*-t a *truthy*-tól, a *false*-t a *falsy*-tól, pl. JavaScript, Java, Elixir.

## Tartalom

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (1. rész)
  - FPE-2 – Termék, azonosítók, változók
  - FPE-2 – Típusok (2. rész)

## Típusok<sup>10</sup>

Az Elixir erősen típusos nyelv, dinamikus típusellenőrzéssel.

Értéktípusok	Value types
Atom	Atom
Tetszőleges hosszú egész szám	Arbitrary-sized integer (integer)
Lebegőpontos szám	Floating-point number (float)
Függvény	Function
<i>Tartomány</i>	<i>Range</i>
<i>Reguláris kifejezés</i>	<i>Regular expression (regex)</i>
<i>Sztring</i>	<i>String</i>

Kollekció-típusok	Collection types
Ennes	Tuple
Lista	List
Bináris	Binary
Szótár	Map
Struktúra	Struct

<sup>10</sup>A felsorolás nem teljes. A dölt betűs típusok más alaptípusokra épülnek.

## Bináris (Binary)

- A bináris típusba tartozó értékek bitsorozatok
- Egy bináris érték jelölése `<< kif, ... >>` alakú
- A legegyszerűbb `kif` a `[0,255]` tartományba eső egész szám
- A számokat bájtént tároljuk a binárisban
 

```
iex> b = << 1, 2, 3 >>
<<1, 2, 3>>
iex> {byte_size(b), bit_size b}
{3, 24}
```
- A tárolásra használt bitek száma megszabható
 

```
iex> b = << 1::size(2), 1::size(3) >> # 01 001
<<9::size(5)>> # = 9 (decimálisként)
iex> {byte_size(b), bit_size b}
{1, 5}
```
- Egész és lebegőpontos számok és más értékek is tárolhatók binárisan
 

```
iex> << <<1>> :: binary, <<2.5>> :: binary >>
<<1, 64, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0>>
```
- A bináris tárolás hasznos médiafájlok és UTF-8 karakterek tárolására, processzek közötti kommunikációban stb.

## Sztring (String, double quoted)

- UTF-8 kódolású karakterek ábrázolása bájtok sorozataként (bináris típus)
- Következmények:
  - Az UTF-8 kódolás miatt a sztring rövidebb lehet az őt ábrázoló binárisnál
  - A lista- és a sztringműveletek különbözőek
- Példák:
 

```
iex> dxdy = "δx/δy"
"δx/δy"
iex> {String.length(dxdy), byte_size(dxdy)}
{5, 7}
iex> {String.at(dxdy,0), String.codepoints(dxdy)}
"δ", ["δ", "x", "/", "δ", "y"]
iex> [dx, dy] = String.split(dx, "/")
["δx", "δy"]
iex> dx <> "/" <> dy # <>: konkaténálás
"δx/δy"
```
- Sztringműveletekről, a *String* modul függvényeiről később lesz még szó

## Kulcs-érték lista (Keyword lists)

- Egy kulcs-érték párt kételemű ennesként írhatunk le: `{:key, value}`, ahol a kulcs csak atom, az érték tetszőleges típusú lehet
- Gyakran van szükség ilyen listákra, ezért az Elixir többféle jelölést, rövidítést, bizonyos esetekben zárójelkihagyást is megenged
- Példák
 

```
iex> [{:név, "Szöszi"}, {:szerelme, "jazz-zongorista"}, {:város, "Prága"}]
[név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"]
iex> [név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"]
[név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"]
iex> IO.inspect név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"
[név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"]
iex> inspect név: "Szöszi", szerelme: "jazz-zongorista", város: "Prága"11
" [név: \"Szöszi\", szerelme: \"jazz-zongorista\", város: \"Prága\"] "
iex> [:cseh_film, név: "Szöszi", város: "Prága", szerelme: "zongorista"]
[:cseh_film, {név: "Szöszi", város: "Prága", szerelme: "zongorista"}]
iex> {:cseh_film, név: "Szöszi", szerelme: "zongorista", város: "Prága"}
{:cseh_film, [név: "Szöszi", szerelme: "zongorista", város: "Prága"]}
```
- A kulcs-érték párokat leginkább függvényopciók megadására használjuk, pl. `limit: :infinity`, `charlists: :as_lists`

<sup>11</sup> `inspect == Kernel.inspect != IO.inspect`

## Ami közös a karakterláncban és a sztringben

- UTF-8 kódolású karakterekből állnak
- Lehetnek bennük ún. escape-szekvenciák:
 

<code>\a</code>	BEL (0x07)	<code>\b</code>	BS (0x08)	<code>\d</code>	DEL (0x7f)
<code>\e</code>	ESC (0x1b)	<code>\f</code>	FF (0x0c)	<code>\n</code>	NL (0x0a)
<code>\r</code>	CR (0x0d)	<code>\s</code>	SP (0x20)	<code>\t</code>	TAB (0x09)
<code>\v</code>	VT (0x0b)	<code>\uhhh</code>	Unicode codepoint in hexadecimal		
<code>\xhh</code>	single byte in hexadecimal				
- Néhány karakter speciális jelentését az elé írt `\` megszünteti, pl. `\\`
- Megengedik az ún. *interpolációt*, azaz változó helyettesítést az értékével (`"...#{<expr>}..."`) sztringben, illetve karakterláncban:
 

```
iex> name = "david" # Sztring
"david"
iex> "Helló, #{String.capitalize name}!"
"Helló, Dávid!"
iex> bubo = 'Bubo' # Karakterlánc
~c"Bubo"
iex> "Helló, #{List.to_string [bubo, ? , "Réka"]}!"
"Helló, Bubo Réka!"
```
- Vannak további közös vonások, lásd pl. *Heredocs*, *Sigils*

## Szótár (Map) 1

- A szótár kulcs-érték párok rendezett kollekcója
- Jelölés (map literal): `%{ key1 => value1, key2 => value2, ...}`
- Ha a kulcs atom, alternatív jelölés: `%{atom1: value1, atom2: value2}`
- A kulcsok és az értékek típusa tetszőleges; lehet kifejezés is
- Egy szótáron belül a kulcsok különböző típusúak lehetnek
- Példák:
 

```
iex> states = %{"UA"=>"Ukraine", "SK"=>"Slovakia", "AT"=>"Austria"}
%{"AT" => "Austria", "SK" => "Slovakia", "UA" => "Ukraine"}
iex> msgs = %{:error, :enoent} => :fatal, {:error, :busy} => :retry
%{:error, :busy} => :retry, {:error, :enoent} => :fatal
iex> colors = %{:red=>0xff0000, :green=>0x00ff00, :blue=>0x0000ff}
%{:green: 65280, red: 16711680, blue: 255}
iex> colors = %{:red: 0xff0000, green: 0x00ff00, blue: 0x0000ff}
%{:green: 65280, red: 16711680, blue: 255}
iex> mix = %{{&+/2}.(3,2) => "három+kettő", fütty: "dal"<>"olka"}
%{5 => "három+kettő", :fütty => "dalolka"}
```

## Szótár (Map) 2

- A szótár típust elsősorban asszociatív tömbként szokás használni
- Szótárból értéket a kulccsal lehet kinyerni szögletes zárójeles jelöléssel
- Ha a kulcs atom, a rövidebb pontos jelölés is használható
- Példák:

```
iex> states["UA"]
"Ukraine"
iex> states["HU"]
nil
iex> msgs[:error, :busy]
:retry
iex> colors[:green]
65280
iex> colors.red
16711680
iex> mix[(&Kernel.* / 2).(1,5)]
"három+kettő"
iex> mix.fütyü
"dalolka"
```

- További részletek a *Map* modul dokumentációjában

## Reguláris kifejezés (Regex) 1

- A reguláris kifejezést ritkán tekintik önálló típusnak; az Elixirben az
- Jelölés: `~r{regexp}`<sup>12</sup> vagy `~r{regexp}options`
- A reguláris kifejezés szintaxisa a PCRE<sup>13</sup> szerinti.

- Példák:

```
iex> Regex.run ~r{[cdr]}, "madár csicsérgés"
["d"]
iex> Regex.scan ~r{[cdr]}, "madár csicsérgés"
[["d"], ["r"], ["c"], ["c"], ["r"]]
iex> Regex.split ~r{[cdr]}, "madár csicsérgés"
["ma", "á", "", "si", "se", "gés"]
iex> Regex.replace ~r{[cdr]}, "madár csicsérgés", "."
"ma.á..si.se.gés"
```

- További részletek a *Regex* modul dokumentációjában

<sup>12</sup>A `~r{...}` jelölés is egy *szigil*, azaz bővívő jelölés. A szigilekről részletek a Kernel dokumentációjában találhatóak.

<sup>13</sup>Perl Compatible Regular Expressions, <http://www.pcre.org>

## Reguláris kifejezés (Regex) 2

- A `regexp` után egy vagy több egykarakteres opció állhat

Jel	Jelentés
f	Többsoros sztring első sorában kezdődjön az illesztés
i	Az illesztés ne különböztesse meg a kis- és nagybetűket
m	Többsoros sztring esetén a <code>^</code> és a <code>\$</code> az egyes sorok elejét és végét jelentse (a <code>\A</code> és <code>\z</code> jelentése változatlanul a sztring eleje és vége)
s	A <code>.</code> illeszkedjen az újsor-karakterekre is
U	Az egyébként mohó <code>*</code> és <code>+</code> módosítók legyenek lusták, azaz a minta a lehető leghosszabb karaktersorozat helyett a lehető legrövidebbre illeszkedjen
u	Engedje meg Unicode-specifikus minták, pl. <code>\p</code> használatát
x	Engedje meg a bővített mód használatát: ignorálja a szóköz-jellegű (ún. whitespace) karaktereket és a kommenteket (a <code>#</code> jeltől a sor végéig)

- Példák:

```
iex> Regex.run ~r{cs.*s}, "Madarak Csicsérgése"
["csérgés"]
iex> Regex.run ~r{cs.*s}i, "Madarak Csicsérgése"
["Csicsérgés"]
iex> Regex.run ~r{cs.*s}iU, "Madarak Csicsérgése"
["Csics"]
```

## V. rész

### Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örökifejezés

## Tartalom

- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
  - FPE-3 – Alapműveletek, beépített függvények
  - FPE-3 – Mintaillesztés

## Összehasonlító műveletek (relációk)

- Egy reláció (összehasonlítás) eredménye a `true` vagy `false` atom
- Termek összehasonlítási sorrendje (vö. típusok):  
`number < atom < reference < function < port < pid < tuple < list < binary`
- Kisebb, kisebb-egyenlő, nagyobb-egyenlő, nagyobb: `<`, `<=`, `>=`, `>`
- *Érték szerinti* egyenlőség (integer és float lehet egyenlő): `==`, `!=`
- *Szigorú egyenlőség* (integer és float nem lehet egyenlő): `===`, `!==`
- Példák: `5.0 == 5 == true`, `5.0 === 5 == false`

### Elrettentő példák:

```
10.1 - 9.9 == 0.2 ~> false
(10.1 - 9.9) * 10 ~>
1.9999999999999999
0.0000000000000001 + 1 == 1 ~> false
0.0000000000000001 + 1 == 1 ~> true
```



Lebegőpontos értékek összehasonlítása helyett vizsgáljuk a különbségüket a `<=` vagy `>=` relációval ( $\epsilon$ -nál kisebb-e a különbségük?)

## Aritmetikai és bitműveletek

- Aritmetikai műveletek (Kernel modul)
  - Előjel: `+`, `-` (precedencia: 1)
  - Multiplikatív műveletek: `*`, `/`, `div`, `rem` (precedencia: 2)
  - Additív műveletek: `+`, `-` (precedencia: 3)
- Bitműveletek (Bitwise modul)
  - `bnot` vagy `~~~`, `band` vagy `&&&` (precedencia: 2)
  - `bor` vagy `|||`, `bxor`, `bsl` vagy `<<<`, `bsr` vagy `>>>` (precedencia: 3)
- Megjegyzések
  - `+`, `-`, `*` és `/` egész és lebegőpontos operandusokra is alkalmazhatók
  - `+`, `-` és `*` eredménye egész, ha mindkét operandusuk egész, egyébként lebegőpontos
  - `/` eredménye mindig lebegőpontos
  - `div` és `rem` prefix helyzetűek, eredményük egész
  - `div`, `rem` és a bitműveletek operandusai csak egészek lehetnek
  - `~~~`, `&&&`, `|||`, `<<<`, `>>>` infix, a többi bitművelet prefix helyzetű
  - A bitműveleteket engedélyezni kell: `use Bitwise` vagy `use Bitwise[, (only_operators | skip_operators): true]`

## Logikai műveletek

- Prefix helyzetű operátor: `not` és `!`; `not` operandusa csak `boolean`, `!-é` tetszőleges típusú kifejezés lehet
- Infix helyzetű operátorok: `and` és `&&`, `or` és `||`<sup>14</sup>
  - `and` és `or` első operandusa csak `boolean`, `&&` és `||` első operandusa tetszőleges típusú kifejezés lehet<sup>15</sup>
  - Második operandusuk tetszőleges típusú kifejezés lehet
  - Eredményük típusa a két operandus típusának uniója
  - Lusta kiértékelésű, ún. *short-circuit* műveletek: ha az első operandus kiértékelése eldönti eredményt, a másodikra nem kerül sor

### Példák:

```
iex> !:atom && div(3,0) === 2
false
iex> :atom && div(3,0) === 2
** ...bad argument in ...: div(3, 0)
iex> :atom and rem(3,2) === 1
** ...expected a boolean on left-side of "and"

iex> true and rem(3,2)
1
iex> false and rem(3,2)
false
iex> nil && rem(3,2)
nil
```

<sup>14</sup> `not`, `and` és `or` használható örkifejezésben, `!`, `&&` és `||` nem.

<sup>15</sup> A `false` és `nil` értékű kifejezéseket kivéve minden más érték `true`-nak számít.

## Beépített függvények (Built-In Functions, BIFs)

- A BEAM-be beépített, rendszerint C-ben írt függvények
- Többségük az *erts* Erlang-könyvtár *erlang* moduljának része
- Elixir-specifikációjuk az Elixir Kernel moduljában található
- A csak az Erlang *erlang* moduljában definiált BIF-ek az `:erlang` modulnévvel hívhatók
- Az alaptípusokon alkalmazható leggyakoribb BIF-ek:
  - Számok: `abs(num)`, `trunc(num)`, `ceil(num)`, `floor(num)`, `round(num)`, `:erlang.float(num)`<sup>16</sup>
  - Sztring, bináris: `bit_size(string)`, `byte_size(string)`
  - Szótár: `map_size(map)`
  - Ennes: `tuple_size(tuple)`, `elem(tuple, index)`, `put_elem(tuple, index, value)`<sup>17</sup>
  - Lista: `length(list)`, `hd(list)`, `tl(list)`
- Az operátorok is BIF-ek a Kernel-ben, pl. `Kernel.*(3,4)`

<sup>16</sup> `:erlang.float` helyett 1-gyel oszthatjuk az egész számot, pl. `5/1`

<sup>17</sup> Megjegyzés:  $0 \leq \text{index} \leq \text{tuple\_size}(\text{tuple}) - 1$

## Tartalom

- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
  - FPE-3 – Alapműveletek, beépített függvények
  - FPE-3 – Mintaillesztés

## Egyéb alapfüggvények (típusvizsgálat és típuskonverzió)

- Típusvizsgálat (BIF-ek a Kernelben)
  - `is_integer(term)`, `is_float(term)`, `is_number(term)`,
  - `is_atom(term)`, `is_boolean(term)`, `is_nil(term)`,
  - `is_binary(term)`, `is_bitstring(term)`,
  - `is_tuple(term)`, `is_list(term)`, `is_map(term)`
  - `is_function(term)`, `is_function(term, arity)`
- Típuskonverzió (az egyes típusokhoz tartozó modulokban)
  - Atom: `to_charlist(atom)`, `to_string(atom)`,
  - Float: `to_charlist(float)`, `to_string(float)`,
  - Integer: `to_charlist(integer)`, `to_string(integer)`,
  - List: `to_atom(list)`, `to_charlist(list)`, `to_float(list)`, `to_integer(list)`, `to_integer(list, base)`, `to_string(list)`, `to_tuple(list)`
  - String: `to_atom(string)`, `to_charlist(string)`, `to_float(string)`, `to_integer(string)`, `to_integer(string, base)`,
  - Tuple: `to_list(tuple)`,
  - Map: `to_list(map)`,

## Mintakifejezés, minta, mintaillesztés (pattern matching)

- Mintakifejezés, röviden minta: termhez hasonló olyan kifejezés, amelyben nincs függvénykifejezés, de lehet benne szabad változó
- Egy szabad változó mindenre illeszkedik, és lehet rá hivatkozni
- Az aláhúzásjel (`_`) és a vele kezdődő változónév mindenre illeszkedik; az előbbire nem lehet, az utóbbira nem illik hivatkozni
- Egy mintában ugyanaz a változó többször is előfordulhat, ha mindenütt azonos értékre kell illeszkednie
- A mintaillesztés műveleti jele az `=`, bal oldalán a mintával, jobb oldalán egy tömör kifejezéssel (a mintaillesztés egyirányú)
- A mintaillesztés a minta nem fixált (vö. `^` operátor) változóit értékhez köti
- A kötés **nem** értékadás!
- Függvényhíváskor az aktuális paramétereket *illesztjük* a formális paraméterekre
- Ha egy változót értékhez kötünk, de nem használjuk, az Elixir figyelmeztet rá, kivéve akkor, ha a változónév `_`-sal kezdődik
- Figyelem: a Prologban a funkcionális nyelvekkel ellentétben *kétirányú* mintaillesztés van, *egyesítés* a neve



## Példák mintaillesztésre 1

```

iex> [x, &+/2] = [5, &+/2]
** (CompileError) ... & is not allowed in matches
iex> [x, f] = [5, &+/2]
[5, &:erlang.+/2]
iex> [x, f] = [5, f]
[5, &:erlang.+/2]
iex> a = fn(x) -> x+1 end
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>
iex> {a, b} = {fn(x) -> x+1 end, 23}
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>, 23
iex> fn(x) -> x+1 end = a
** (CompileError) ... fn is not allowed in matches
iex> 3 = szabad
** (CompileError) iex:505: undefined function szabad/0
iex> [z | zs] = [0,1,2,3]
[0, 1, 2, 3]
iex> [z1 | [z2 | [z3 | [z4 | zs]]]] = [0,1,2,3]
[0, 1, 2, 3]
iex> [z1, z2, z3 | [3]] = [0,1,2,3]
[0, 1, 2, 3]

```

## Példák mintaillesztésre 2

```

iex> [z1, z2, z3 | 3] = [0,1,2,3]
** (MatchError) no match of right hand side value: [0, 1, 2, 3]
iex> [z1, z2 | [3]] = [0,1,2,3]
** (MatchError) no match of right hand side value: [0, 1, 2, 3]
iex> {{a, b}, {a, b}} = {{:a, :b}, {:a, :b}}
{:a, :b}, {:a, :b}
iex> {{a, b, a}} = {{:a, :b, :b}}
** (MatchError) no match of right hand side value: {:a, :b, :b}
iex> {a, b, _b, _} = {:a, :b, :b, :a}
{:a, :b, :b, :a}
iex> {a, b}
{:a, :b}
iex> _b
warning: the underscored variable "_b" is used after being set...
please rename the variable to remove the underscore
:b
iex> x = %{b: "barna", z: "zöld"}
%{b: "barna", z: "zöld"}
iex> %{k1: v1, k2: v2} = x
** (MatchError) no match of right hand side value: %{b: "barna", z: "zöld"}

```

## Példák mintaillesztésre 3

```

iex> %{k1 => v1, k2 => v2} = x
** (CompileError) iex:3: cannot use variable k1 as map key inside a pattern...
iex> %{b: v1, z: v2} = x
%{b: "barna", z: "zöld"}
iex> {v1, v2}
"barna", "zöld"
iex> %{z: ~v1, b: v2} = x
** (MatchError) no match of right hand side value: %{b: "barna", z: "zöld"}
iex> %{z: v1, b: v2} = x
%{b: "barna", z: "zöld"}
iex> {v1, v2}
"zöld", "barna"
iex> %{b: v} = x # részleges mintaillesztés
%{b: "barna", z: "zöld"}
iex> v
"barna"
iex> ([y|ys] = yss) = [1, 2, 3] # réteges minta (layered pattern)
[1,2,3]
iex> {y, ys, yys}
{[1], [2, 3], [1,2,3]}

```

## Függvénydefiniálás mintaillesztéssel (fájl: fpea.ex)

- Már láttunk rá példákat korábban
- A funkcionális, ill. általában a deklaratív nyelvekben az *if*, *switch*, *case* stb. vezérlési szerkezetek helyett, ha lehet, mintaillesztést használunk
- *Klózoknak* nevezzük egy azonos nevű – vagy névtelen – és argumentumszámú függvény különféle esetekre illeszkedő verzióit
- Rekurzív függvényt csak *def* vagy *defp* definícióval lehet létrehozni

## • Példák

```

def head([], do: {:error, nil})
def head([_x|_xs]), do: {:ok, x}
iex> {(Fpea.head []), Fpea.head [3,4,5]}
{:error, nil}, {:ok, 3}
iex> tail = fn [] -> {:error, nil}; [_x|xs] -> {:ok, xs} end
#Function<44.40011524/1 in :erl_eval.expr/5>
iex> {tail.([]), tail.([3,4,5])}
{:error, nil}, {:ok, [4, 5]}
iex> cnt_a = fn [] -> 0; [_x|xs] -> (cnt_a xs) + 1 end
** (CompileError) iex:73: undefined function cnt_a/1 ...
def cnt_n([], do: 0; def cnt_n([_x|xs]), do: (cnt_n xs) + 1
iex> Fpea.cnt_n('alma')
4

```

## VI. rész

## Műveletek listákon

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örkifejezés

## Tartalom

- 6 Műveletek listákon
  - FPE-3 – Műveletek listákon
  - FPE-3 – Kis példák listák használatára

## Műveletek listákon 1

- A lista láncolt lineáris adatstruktúra, ezért olcsó az első elemét (a *fejét*) és az összes többi elemét (a *farkát*) megkapni, de drága az utolsó elemét elérni, mert végig kell gyalogni a listán
- A funkcionális nyelvekben, a többi adatstruktúrával egyezően, a lista nem frissíthető, az Elixirben sem: amikor a lista egy elemét le akarjuk cserélni, akkor *másolatot* kell készítenünk a lecserélendő elem előtti részlistáról
- A másolás során a lecserélendő elem előtti összes elemet félre kell raknunk, majd a lecserélendő elem utáni *megosztott* farokrész elé be kell fűznünk az új elemet, ezt követően pedig a félrerakott elemeket egyesével be kell fűznünk az új elemet már tartalmazó listarész elé
- Vagyis a lista adott elemi utáni farkáról nem készül másolat, mert az Elixir *megosztja* a lista farkát a régi és az új elemet tartalmazó listák között
- A lista annyira megkerülhetetlen adatstruktúra a funkcionális nyelvekben, hogy már eddig is sok példát láttunk a használatára. A következő dián összefoglaljuk a leggyakoribb listaműveleteket
- A sztring ugyan nem listaként van ábrázolva az Elixirben, de a használata hasonló, ezért a leggyakoribb sztringműveleteket is összefoglaljuk később egy dián

## Műveletek listákon 2

- Lista feje, farka, hossza: `hd(xs)`, `tl(xs)`, `length(xs)`<sup>18</sup>
- Két lista összefűzése (konkatenációja): `xs ++ ys`, eredménye `xs` összes eleme `ys` elé fűzve az eredeti sorrendben
- Két lista különbsége: `xs -- ys`, eredménye `xs` azon elemeinek listája az eredeti sorrendben, amelyek nincsenek benne `ys`-ben
- Tagsági vizsgálat: `x in xs` eredménye `true`, ha `x` eleme `xs`-nek
- Példák
 

```
iex> [:a, 'a', [65]] ++ [1+2, 2/1, 'a'] # 65 == ?A
[:a, 'a', 'A', 3, 2.0, 'a']
iex> Enum.to_list(1..100000) ++ [100001] # rossz hatékonyságú!
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ...100001]
iex> [:a, 'a', [65], 'a'] -- ["A", 2/1, 'a']
[:a, 'A', 'a']
iex> [:a, 'a', [65], 'a'] -- ["A", 2/1, 'a', :a, :a, :a]
['A', 'a']
iex> [1, 2, 3] -- [1.0, 2] # szigorú egyenlőség: 1 ≠ 1.0
[1, 3]
iex> "A" in ["A", 2/1, 'a', :a, :a, :a]
true
```

<sup>18</sup>`hd/1`, `tl/1`, `length/1`, `++/2`, `--/2`, `in/2` a Kernel modulban vannak definiálva

## Műveletek listákon 3

Nézzünk további hasznos függvényeket a List modulból!

- Lista első / utolsó eleme; ha nincs, default vagy nil:  
first(list, default \\ nil), last(list, default \\ nil)
- Egy elem első előfordulásának törlésével kapott lista:  
delete(list, elem)
- Adott pozíciójú elem törlésével / beszúrásával / cseréjével kapott lista:  
delete\_at(list, index), insert\_at(list, index, value),  
replace\_at(list, index, value), update\_at(list, index, fun)  
Indexelés 0-tól, negatív index a lista végéről indul. update\_at/3 a fun függvényt alkalmazza az adott pozíciójú elemre.
- Lista kilapításával / kilapítása után a tail elé fűzésével kapott lista:  
flatten(list), flatten(list, tail)
- Elem többszörözésével kapott lista: duplicate(elem, n)
- Listák listájából ennesek listája: zip(list\_of\_lists)
- Két kis példa:  
iex> List.zip(['abc', 'defgh', 'ijkl'])  
[{97, 100, 105}, {98, 101, 106}, {99, 102, 107}]  
iex> List.flatten(['abc', [['defgh']], ['ijkl']], 'zzz')  
'abcdefghijklzzz'

## Műveletek listákon 5

További függvények az Enum modulból:

- Lista legkisebb / legnagyobb eleme:  
min(list, sorter \\ &lt;=/2,  
empty\_fallback \\ fn -> raise(Enum.EmptyError) end)  
max/3 paraméterezése hasonló, &lt;=/2 helyett &gt;=/2-vel.  
Ha list üres, a 3. paraméterként átadott *függvény* aktivizálódik.
- Lista n elemű eleje, n elem utáni farka: take(list, n), drop(list, n)  
Ha n negatív, az elemeket a lista végéről kezdve emeli le / dobja el.
- Lista részlistája: slice(list, range) a range tartományba eső indexű elemek listája / slice(list, start, n) a start indextől kezdődő n elemű részlista. Ha range, ill. start negatív, indexelés a lista végéről.

Példák

```
iex> {(Enum.max 'mióta') === ?ó, (Enum.min [], fn -> 0 end)}  
{true, 0}  
iex> xs='indulakutyasatyukaludni'; {(Enum.take xs,-5), (Enum.drop xs,5)}  
{'ludni', 'akutyasatyukaludni'}  
iex> {(Enum.slice xs, 6..10), (Enum.slice xs, -10..-7)}  
{'kutya', 'tyuk'}
```

## Műveletek listákon 4

Milyen hasznos, gyakran használt függvények vannak még listákra?

- Konverziós függvények (ld. 94. dia), pl. List.to\_string, Tuple.to\_list
- Van három tesztelő függvény is:
  - improper?(list) igaz, ha list nem valódi lista<sup>19</sup>
  - starts\_with?(list, prefix) igaz, ha list prefix-szel kezdődik
  - ascii\_printable?(list, n \\ :infinity) igaz, ha list első n karaktere 7-bites ASCII-kódolású és nyomtatható, beleértve a vezérlő karaktereket is (\a, \b, \t, \n, \v, \f, \r, \e)

Az Enum modul függvényei is alkalmazhatók listákra:

- Lista megfordításával / megfordítása után a tail elé fűzésével kapott lista: reverse(list), reverse(list, tail)
- Lista adott indexű eleme, ha nincs ilyen, default vagy nil:  
at(list, index, default \\ nil)

Példák

```
iex> List.starts_with? 'almafa', [?a,?l]  
true  
iex> (Enum.at (Enum.reverse 'almafa'), 3) === ?m  
true
```

<sup>19</sup>Egy lista nem valódi, ha egy listakonstruktorban a fark *nem* lista, pl. [1,2|3], [:a,:b|nil]

## Műveletek listákon 6

És még néhány függvény az Enum modulból:

- Lista kettévágva: split(list, n) ugyanaz, csak rövidebben mint  
{(take list, n), (drop list, n)}
- Lista rendezve alapértelmezés / fun függvény szerint: sort(list),  
sort(list, fun)
- Lista többszörös értékek nélkül: uniq(list)

Példák

```
iex> xs='indulakutyasatyukaludni';{(Enum.split xs,5),(Enum.split xs,-5)}  
[{'indul', 'akutyasatyukaludni'}, {'indulakutyasatyuka', 'ludni'}]  
iex> Enum.sort xs  
'aaaaddiikkllnnstuuuuyy'  
iex> Enum.sort xs, &gt;=/2  
'yyuuuuttsnllkkkiiddaaaa'  
iex> Enum.uniq xs  
'indulaktys'
```

Az Enum modul függvényei – mind *mohó kiértékelésű* – egyéb korlátos, felsorolható (enumerable) adatstruktúrákra is alkalmazhatók.

Nem korlátos adatstruktúrákra a Stream modul függvényeit – ezek *lusta kiértékelésűek* – lehet, ill. kell használni.

## Tartalom

- 6 Műveletek listákon
- FPE-3 – Műveletek listákon
  - FPE-3 – Kis példák listák használatára

## Listakezelés – rövid példák 1

```
iex(1)> xs = [10,20,30] # mintaillesztés és változó kötése értékhez
[10, 20, 30]
iex(2)> x = hd xs      # hd: lista feje
10
iex(3)> rs = tl xs     # tl: lista farka
[20, 30]
iex(4)> {zs,xs} = {xs,[5,6]} # mintaillesztés és változó újrakötése
{[10, 20, 30], [5, 6]}
iex(5)> xs            # xs-hez új értéket kötöttünk
[5, 6]
iex(6)> zs            # xs változott, zs nem!
[10, 20, 30]
iex(7)> ^xs = [7,8,9] # ^: változó 'fixálása', csak mintaillesztés, kötés nélkül20
** (MatchError) no match of right hand side value: ~c"\a\b\t"21 22
iex(8)> hd tl xs     # összetett kifejezés is kiértékelhető
6
iex(9)> tl []        # mi az üres lista farka?
** (ArgumentError) errors were found at the given arguments:
 * 1st argument: not a nonempty list
   :erlang.tl([])

20 ^ az ún. 'pin' operátor
21 Az IEx karakterláncként írja ki a listát, ha összes eleme 7..13, 27 vagy 32..126 értékű egész szám.
22 A <...>, [...], (...), |...|, /.../, "... " és '...' is. Részletek a Kernel dokumentációjában található.
```

## Listakezelés – rövid példák 2

```
iex(10)> for i <- 7..13, do: [i]
[-c"a", -c"b", -c"t", -c"n", -c"v", -c"f", -c"r"]
iex(11)> for i <- 27..27, do: [i]
[-c"e"]
iex(12)> for i <- 32..126, do: [i]
[-c" ", -c"!", -c"\", -c"#", -c"$", -c"%", -c"&", -c"'", -c"(", -c")", -c"*",
-c"+", -c",", -c"-", -c".", -c"/", -c"0", -c"1", -c"2", -c"3", -c"4", -c"5",
-c"6", -c"7", -c"8", -c"9", -c":", -c";", -c"<", -c"=", -c">", -c"?", -c"@",
-c"A", -c"B", -c"C", -c"D", -c"E", -c"F", -c"G", -c"H", -c"I", -c"J", -c"K",
-c"L", -c"M", -c"N", -c"O", -c"P", -c"Q", ...]
iex(13)> IO.puts (for i <- 35..126, do: [i])
##$&!()*+,-./0123456789;<=>?@ABCDEFGHIJKLMNopqrstuvwxyz[\]^_`abcdefghijklmnopqrstuvwxyz{|}~
:ok
iex(14)> IO.inspect (for i <- 32..126, do: [i]), limit: :infinity
[-c" ", -c"!", -c"\", -c"#", -c"$", -c"%", -c"&", -c"'", -c"(", -c")", -c"*",
-c"+", -c",", -c"-", -c".", -c"/", -c"0", -c"1", -c"2", -c"3", -c"4", -c"5",
-c"6", -c"7", -c"8", -c"9", -c":", -c";", -c"<", -c"=", -c">", -c"?", -c"@",
-c"A", -c"B", -c"C", -c"D", -c"E", -c"F", -c"G", -c"H", -c"I", -c"J", -c"K",
-c"L", -c"M", -c"N", -c"O", -c"P", -c"Q", -c"R", -c"S", -c"T", -c"U", -c"V",
-c"W", -c"X", -c"Y", -c"Z", -c"[", -c "\", -c"]", -c" ", -c" ", -c"a",
-c"b", -c"c", -c"d", -c"e", -c"f", -c"g", -c"h", -c"i", -c"j", -c"k", -c"l",
-c"m", -c"n", -c"o", -c"p", -c"q", -c"r", -c"s", -c"t", -c"u", -c"v", -c"w",
-c"x", -c"y", -c"z", -c"{", -c"|", -c"}", -c"~"]
[-c" ", -c"!", -c"\", -c"#", -c"$", -c"%", -c"&", -c"'", -c"(", -c")", -c"*",
-c"+", -c",", -c"-", -c".", -c"/", -c"0", -c"1", -c"2", -c"3", -c"4", -c"5",
-c"6", -c"7", -c"8", -c"9", -c":", -c";", -c"<", -c"=", -c">", -c"?", -c"@",
-c"A", -c"B", -c"C", -c"D", -c"E", -c"F", -c"G", -c"H", -c"I", -c"J", -c"K",
-c"L", -c"M", -c"N", -c"O", -c"P", -c"Q", ...]
```

## Listakezelés – rövid példák 3

```
fpea.ex – Számlista összege
@spec sum(xs::[integer]) :: s::integer
# Az xs számlista összege s
def sum([], do: 0 # a ", do:" jelölés többsoros változata a "do ... end"
def sum(xs) do x = hd xs; rs = tl xs; x + sum rs end # újsor helyett ;

iex(15)> c "fpea.ex"
warning: redefining module Fpea (current version defined in memory)
fpea.ex:1
[Fpea]
iex(16)> xs = [10, 20.5, 30.5]
[10, 20.5, 30.5]
iex(17)> Fpea.sum xs
61.0
iex(18)> Fpea.sum tl xs
51.0
iex(19)> Fpea.sum(tl(tl(tl xs)))
0
iex(20)> Fpea.sum "abc" # "abc" != [97, 98, 99]: "abc" sztring, nem lista
** (ArgumentError) errors were found at the given arguments:
 * 1st argument: not a nonempty list
   :erlang.hd("abc")
fpea.ex:13: Fpea.sum/1
iex(21)> Fpea.sum 'abc' # 'abc' === [97, 98, 99]: 'abc' karakterkódok listája
294
```

## Listakezelés – rövid példák 4

fpea.ex – Két lista összefűzése

```
@spec append(xs::[any], ys::[any]) :: rs::[any]
# rs az xs lista ys elé fűzésével kapott lista
def append([], ys), do: ys
def append(xs, ys), do: [(hd xs) | (append (tl xs), ys)]
@spec revapp(xs::[any], ys::[any]) :: rs::[any]
# rs a megfordított xs lista ys elé fűzésével kapott lista
def revapp([], ys), do: ys
def revapp(xs, ys), do: revapp (tl xs), [(hd xs) | ys]
```

```
iex(22)> c "fpea.ex"
[Fpea]
iex(23)> xs
[10, 20.5, 30.5]
iex(24)> Fpea.append(xs, [:a,:b,:c,:d])
[10, 20.5, 30.5, :a, :b, :c, :d]
iex(25)> Fpea.revapp xs, [:a,:b,:c,:d]
[30.5, 20.5, 10, :a, :b, :c, :d]
```

Mint láttuk, az IEx a sorokat számozza (pl. iex(25)), hogy parancsokkal hivatkozni lehessen rájuk. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért elhagyjuk a sorszámokat.

## Tartalom

- 7 Műveletek sztringeken
  - FPE-3 – Műveletek sztringeken

## VII. rész

## Műveletek sztringeken

- 4 Típusok, termek, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örökifejezés

## Műveletek sztringeken 1

Mint tudjuk, a sztringek nem listák az Elixirben – mégcsak nem is kollekciónak –, de mivel kényelmes listaszerűen kezelni őket, a `String` modulban vannak ezt lehetővé tevő függvények.

Két fogalmat kell megkülönböztetnünk: a kódpontot (code point) és a grafémát (grapheme cluster, röviden grapheme).

- A **kódpont** egyetlen Unicode karakter, egy vagy több bájt ábrázolja

```
iex> {byte_size("á"), String.length("á")}
{2, 1}
```

- A **graféma** egy vagy több kódpont, ami egyetlen karakternek *látszik*

```
iex> str = "\u0065\u0302"; {byte_size(str), String.length(str)}
{3, 1}
iex> ".\u0302"23
"^"
iex> String.codepoints(str)
["e", "."] # Két egykarakteres sztring van a listában.
iex> String.graphemes(str)
["ê"] # Egyetlen egykarakteres sztring van a listában.
```

<sup>23</sup> Az U+0302 Unicode karakter az ún. *Combining Circumflex Accent*.

## Műveletek sztringeken 2

- <> a konkatenálás jele (már találkoztunk vele): "ál"<>"om"
- string első / utolsó grafémája, grafémáinak száma: first(string), last(string), length(string)
- Graféma string pos pozíciójában: at(string, pos)
- Tartalmazza-e string patts legalább egy elemét: contains?(string, patts)
- string elejéről / végéről / mindkettőről levágja a szóköz-jellegű (whitespace) UTF-8 karaktereket: trim\_leading(string), trim\_trailing(string), trim(string)

### • Példák

```
iex> str = " <> " <> "kutya füle" <> " "; String.at(str, 8)
"ü"
iex> String.contains?(str, "ü")
true
iex> String.contains?(str, ["ü", "ty", "n"])
true
iex> String.contains?(str, ["n"])
false
iex> {String.trim_leading(str), String.trim(str)}
{"kutya füle ", "kutya füle"}
```

## VIII. rész

# For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)

- 4 Típusok, termek, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örkifejezés

## Műveletek sztringeken 3

- Mint a listánál, csak graféma-elemekkel: slice(string, range), slice(string, start, n), duplicate(string, n), reverse(string), starts\_with?(string, prefix)
- Sztring két darabra vágva adott pozícióban: split\_at(string, pos); több darabra szabdalva UTF-8 whitespace-ek mentén:<sup>24</sup> split(string)
- Példák

```
iex> str = "indulakutyasatyukaludni"; String.reverse(str)
"indulakuytasaytukaludni"
iex> String.starts_with?(str, "indula")
true
iex> {String.slice(str, 6..10), String.slice(str, -10..-7)}
{"kutya", "tyuk"}
iex> String.duplicate("indul ", 3)
"indul indul indul "
iex> String.split_at(" <> " <> "kutya füle macska farka" <> " ", 12)
{" kutya füle", " macska farka "} # párt ad eredményül
iex> String.split(" <> " <> "kutya füle macska farka" <> " ")
["kutya", "füle", "macska", "farka"] # listát ad eredményül
```

<sup>24</sup>A vezető és záró UTF-8 whitespace-eket ignorálja

## Tartalom

- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
  - FPE-3 – For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)

## For-jelölés 1

Gyűjtemények (kollekciónak) kezelésére használjuk a for-jelölést, vagy az angol elnevezést teljesen átvéve: a for-komprehenziót). Most vegyünk sorra mindent, amit a for-jelölésről tudni kell (a szögletes zárójelek jelentése itt: *opcionális*).

A for-jelölés: `for q1[, q2, ..., qn][, into: coll], do: exp`, ahol

- a  $q_i$ 
  - 1 `pattern <- list` alakú generátor, vagy
  - 2 *predikátum* (igazságérték-eredményű függvény, feltétel);
- legalább egy  $q_i$ -nak generátornak kell lennie;
- a `pattern` mintának illeszkednie kell a `list` lista kiválasztandó elemeire, és ki kell elégítenie az adott `pattern <- list` generátortól jobbra álló összes  $q_i$  predikátumot;
- az `exp` tetszőleges, a `pattern` mintától függő vagy nem függő kifejezés;
- a generátorban a minta előállítására lista helyett más felsorolható kollekciónak, leggyakrabban tartomány-típusú értéket is megadhatunk.

(Folytatás a következő dián.)

## For-jelölés 2

A for-jelölés (folyt.): `for q1[, q2, ..., qn][, into: coll], do: exp`, ahol

- az opcionális `into: coll` opció után álló `coll`-al megadhatjuk, hogy *milyen típusú* felsorolható kollekciónak hozzon létre a for-jelölés, ha elhagyjuk, alapértelmezés szerint lista jön létre;
- `coll`-ként üres kollekciónak kell megadni: `""` (sztring), `%{}` (szótár), `[]` (lista), `<<>>` (bináris);
- a for-jelölésben definiált változók lokálisak;
- a for-jelölés értéke az összes olyan `expj` kifejezés kollekciónak, amelyre a **mintaillesztés sikerült és a predikátumok teljesültek**;
- a for-jelölés eddig bemutatott változata tehát egy vagy több kollekciónak elemein műveletek elvégzésére és/vagy bizonyos elemek szűrésére használható (vö. `Enum.map/2`, `Enum.filter/2`).
- Összefoglaló a for-jelölésről: <https://www.mitchellhanberg.com/the-comprehensive-guide-to-elixirs-for-comprehension/>
- A komprehenzió ma már sokféle programozási nyelvben megtalálható, lásd: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_comprehension](https://en.wikipedia.org/wiki/List_comprehension)

## For-jelölés 3

A for-jelölés `uniq`: opcióval:

`for q1[, q2, ..., qn][, into: coll], uniq: true|false, do: exp`, ahol

- a `uniq: true` opció hatására az előállított gyűjteménybe csak egymástól különböző értékek kerülnek be;
- csak lista, sztring és bináris esetén van értelme használni, hiszen a szótárban a kulcsok sohasem ismétlődhetnek.

A for-jelölés `reduce`: opcióval:

`for q1[, q2, ..., qn], reduce: acc0 do acc -> fun(pat, acc) end`, ahol

- a `reduce`: opcióval a for-jelölés nem az `Enum.map/2`-et, hanem az `Enum.reduce/3`-t váltja ki,
- az `acc0` az eredményt gyűjtő akkumulátor kezdőértéke,
- a `do ... end` között egy névtelen függvényt kell megadni (az `fn` és a hozzá tartozó `end` nélkül!), amelynek egyetlen argumentuma az `acc` akkumulátor (a neve bármi lehet), a törzsében pedig egy olyan kétargumentumú függvényt vagy operátort kell használni, amelynek két argumentuma közül az egyik a generátorban használt `pat` minta, a másik pedig ugyancsak az `acc` akkumulátor (az argumentumok sorrendjének hatása lehet az eredményre!).

## For-jelölés: kis példák 1

```
iex> for x <- 1..6 // 2, do: x      # {x | x ∈ {1,3,5}}
[1, 3, 5]
iex> for x <- [1,2,3], do: 2*x+1  # {2·x+1 | x ∈ {1,2,3}}
[3, 5, 7]
iex> for x <- 1..9, rem(x, 2) === 0, x > 2, do: 2*x
[8, 12, 16]
iex> for {k,v} <- [egy: 1, két: 2, há: 3], into: %{}, do: {k,v}
%{egy: 1, há: 3, két: 2}
iex> for {k,v} <- %{egy: 1, két: 2, há: 3}, into: [], do: {k,v}
[egy: 1, há: 3, két: 2]
iex> for c <- [?c, ?s, ?ö, ?k, ?a], into: "", do: <<>>
<<99, 115, 243, 107, 97>>
iex> for c <- [?c, ?s, ?o, ?k, ?a], into: "", do: <<>>
"csoka"
iex> for x <- 0..-2 // -2, y <- 1..x, do: {x,y}
[{0, 1}, {0, 0}, {-2, 1}, {-2, 0}, {-2, -1}, {-2, -2}]
iex> for x <- 0..-2 // -2, y <- 1..x, xy = {x,y}, do: xy
[{0, 1}, {0, 0}, {-2, 1}, {-2, 0}, {-2, -1}, {-2, -2}]
iex> for x <- 2..4, rem(x,3) !== 0, y <- 1..3, x > y, do: {x,y}
[{2, 1}, {4, 1}, {4, 2}, {4, 3}]
```

## For-jelölés: kis példák 2

```
iex> for i <- 1..3, j <- 2..1//-1, do: {i,j} # keresztorzatok listája
[{1, 2}, {1, 1}, {2, 2}, {2, 1}, {3, 2}, {3, 1}]
iex> for i <- 1..3, do: (for j <- 2..1//-1, do: {i,j}) # listák listája
[[{1, 2}, {1, 1}], [{2, 2}, {2, 1}], [{3, 2}, {3, 1}]]
iex> for i <- 1..3, j <- 2..1//-1, into: %{}, do: {i,j} # ismétlődő kulcs felülír!
%{1 => 1, 2 => 1, 3 => 1}
iex> for i <- 1..3, j <- 2..1//-1, into: %{}, do: {i+j*4,j} # így a kulcsok egyediek
%{5 => 1, 6 => 1, 7 => 1, 9 => 2, 10 => 2, 11 => 2}
iex> for _i <- 1..5, into: "", do: "1" # többszörözve
"11111"
iex> for _i <- 1..5, into: "", uniq: true, do: "1" # azonosak csak egyszer
"1"
iex> for _i <- 1..5, into: <<>>, do: <<1::size 1>> # 5 bit (0b11111), 1 byte
<<31::size(5)>>
iex> for _i <- 1..5, into: <<>>, uniq: true, do: <<1::size 1>> # 1 bit (0b1), 1 byte
<<1::size(1)>>
iex> for _i <- 1..5, into: <<>>, do: <<1::size 2>> # 10 bit (0b01010101, 0b01), 2 byte
<85, 1::size(2)>>
iex> for _i <- 1..5, into: <<>>, uniq: true, do: <<1::size 2>> # 2 bit (0b01), 1 byte
<1::size(2)>>
```

## For-jelölés: nagyobb példák (fájl: fpea.ex)

### • Pitagoraszai számhármások

```
@spec pitag(n::integer) :: ps::[[integer, integer, integer]]
# az n-nél nem nagyobb összegű pitagoraszai számhármások listája ps
```

```
def pitag(n), do:
  (ls = 1..n
   for a <- ls, b <- ls, a < b,
     c <- ls, a + b + c <= n,
     a * a + b * b === c * c,
     do: {a, b, c}
  )
```

```
iex> Fpea.pitag 12
[{3, 4, 5}]
iex> Fpea.pitag 36
[{3, 4, 5}, {5, 12, 13}, {6, 8, 10}, {9, 12, 15}]
```

### • Hányszor fordul elő egy elem egy listában?

```
@spec freq(val::any, ls::[any]) :: n::integer
# ls-ben a val értékű elemek száma n
```

```
def freq(elem, ls), do:
  length(for x <- ls, b = (x === elem), do: b) # b = ...: réteges minta!
```

```
iex> Fpea.freq ?a, 'almafa'
3
```

## Gyorsrendezés (Quicksort) for-jelöléssel (fájl: fpea.ex)

```
@spec qsort(us::[any]) :: ss::[any]
# Az us lista elemeinek monoton növekedő listája ss
def qsort([], do: [])
def qsort([pivot|tail]), do:
  qsort(for x <- tail, x < pivot, do: x) ++
  [ pivot | qsort(for x <- tail, x >= pivot, do: x) ]
```

### Példák:

```
iex> Fpea.qsort [34, 1, 55, 78, 43.2, :math.pi(), :math.exp(1), 31.7]
[1, 2.718281828459045, 3.141592653589793, 31.7, 34, 43.2, 55, 78]
iex> Fpea.qsort [:ab, :acb, :aca, :bca, :bbca, :bac, :abc, :a, :b, :c]
[:a, :ab, :abc, :aca, :acb, :b, :bac, :bbca, :bca, :c]
iex> Fpea.qsort 'the quick brown fox jumps over the lazy dog'
~c" abcdeefghhijklmnooopqrrsttuuvwxyz"
iex> Fpea.qsort ["ba", 'ba', :ba, 9.3, 6, &:math.exp/1, [4, 5], [], {2, 3}]
[6, 9.3, :ba, &:math.exp/1, 2, 3, [], [4, 5], ~c"ba", "ba"]
```

## Permutáció for-jelöléssel (fájl: fpea.ex)

```
@spec perms(xs::[any]) :: pss::[[any]]
# Az xs lista elemeinek összes permutációját tartalmazó lista pss
def perms([], do: [[]])
def perms(xs), do: for y <- xs, ys <- perms(xs--[y]), do: [y|ys]
```

### Példa:

```
iex> Fpea.perms [:a, :b]
[ [:a, :b], [:b, :a] ]
iex> Fpea.perms 'tér'
[
  [116, 233, 114],
  [116, 114, 233],
  [233, 116, 114],
  [233, 114, 116],
  [114, 116, 233],
  [114, 233, 116]
]
iex> 'tér'
[116, 233, 114]
```

Mivel az é nem 7 bites ASCII karakter, az IEx számlistaként írja ki az eredményt.



## IX. rész

## Kifejezés, feltételes kifejezés, őrkifejezés

- 4 Típusok, termék, azonosítók, változók
- 5 Műveletek, beépített függvények, típusvizsgálat és -konverzió, mintaillesztés
- 6 Műveletek listákon
- 7 Műveletek sztringeken
- 8 For-jelölés (for-komprehenzió, for-comprehension)
- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, őrkifejezés

## Tartalom

- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, őrkifejezés
  - FPE-3&4 – Kifejezés, szekvenciális kifejezés, őrkifejezés
  - FPE-4 – Feltételes kifejezés

## Kifejezések

- Elég alaposan kistafíroztuk magunkat különféle könyvtári függvényekkel (ideértve az infix pozíciójú műveleteket is) ahhoz, hogy összetettebb feladatokat oldjunk meg
- Nézzük most a kifejezés különféle változatait az Elixirben
- Először is szögezzük le *ismét*, hogy az Elixirben *minden* kifejezés – az összes többi funkcionális nyelvhez hasonlóan
- A kifejezés lehet:
  - Összetett kifejezés: tetszőleges adatstruktúra, lehetnek benne elvégzendő műveletek/függvényhívások is – sok példát láttunk rá
  - Term: mint az összetett kifejezés, de tömörenek, tovább már nem egyszerűsíthetőnek kell lennie – erről is volt már szó
  - Szekvenciális kifejezés – ilyen példák is voltak már, de azért összefoglaljuk a dolgokat
  - Őrkifejezés – ez új téma, hamarosan sorra kerül
  - Feltételes kifejezés – ez is új, hamarosan sorra kerül

## Kifejezés kiértékelése

- Funkcionális nyelvek esetében mindig *kiértékelésről* beszélünk, sohasem *végrehajtásról*; az utóbbi használatát meghagyjuk az imperatív nyelveknek :-)
- A kifejezés *kiértékelése* alapvetően *mohó* az Elixirben (eager, strict evaluation)
- Vannak kivételek, azaz vannak *lusta* kiértékelésű kifejezések (lazy, non-strict evaluation), pl. kétoperandusú logikai műveletek, ill. teljes modulok, pl. Stream

Vessük össze a mohó és a lusta kiértékelést az alábbi példák alapján!

```
iex> nevező = 0
0
iex> nevező > 0 && ( 1 / nevező ) < 1
false
iex> (&Kernel.&&/2).( nevező > 0, ( 1 / nevező ) < 1 ) # Mi más itt?
** (ArithmeticError) bad argument in arithmetic expression: 1 / 0 ...
iex> nevező == 0 && ( 1 / nevező ) < 1 # És mi más itt?
** (ArithmeticError) bad argument in arithmetic expression: 1 / 0 ...
```

## Szekvenciális kifejezés

- Kifejezések pontosvesszővel elválasztott, opcionálisan *zárójelezett* sorozata:  $\text{exp}_1; \text{exp}_2; \dots; \text{exp}_n$  vagy  $(\text{exp}_1; \text{exp}_2; \dots; \text{exp}_n)$
- Kell a zárójel, ha az adott helyen egyetlen kifejezésnek kell állnia
- A szekvenciális kifejezés értéke az utolsó részkifejezés –  $\text{exp}_n$  – értéke
- $\text{exp}_i$ -ben ( $i < n$ )
  - vagy változóhoz kötünk értéket,
  - vagy mellékhatást akarunk elérni (pl. kiírunk valamit),
  - egyébként a kifejezés értéke „elvész”
- Példák:

```
iex> sumsq = fn(x,y) -> sq = fn x -> x*x end;\
                               sq.(x) + sq.(y) end; sumsq.(3,5)
```

```
34
```

```
iex> [x=3; x+x]
```

```
** (SyntaxError) iex:1:5: syntax error before: ';'
```

```
iex> [(x=3; x+x)]
```

```
[6]
```

```
iex> "x értéke"; x
```

```
3
```

```
iex> IO.write "x értéke "; x
```

```
x értéke 3
```

## Örkifejezés, ór 1

- Láttuk, hogy egy függvény definiálásakor a különféle esetekre önálló klózokat írunk, az eseteket pedig mintaillesztéssel ismerjük föl
- De mintaillesztéssel nem lehet megkülönböztetni minden lehetséges esetet, pl. hogy egy érték lista-e vagy atom, negatív-e vagy pozitív
- Ilyenkor `when`-nel kezdődő *örkifejezést* (guard clause) használhatunk
- Az örnek **mellékhatás nélküli, hatékonyan kiértékelhető, kivételt soha nem dobó, igazságérték-eredményű** kifejezésnek kell lennie
- Az örkifejezésben lehet:
  - Term (tömör kifejezés)
  - Egyes modulok *guard*-ként definiált függvényei, például
    - a Kernel modul összes típus vizsgáló predikátuma (`is_TÍPUS`)
    - a Kernel modulban definiált `abs/`, `round/1`, `trunc/1`, `ceil/1`, `floor(/1, elem/2, tuple_size/1, hd/1, tl/1, length/1, in/2, bit_size/1, byte_size/1`
    - az Integer modulban definiált `is_even/`, `is_odd/1`
  - Örkből álló olyan kifejezés, mely aritmetikai, összehasonlító, logikai (kivétel: `&&`, `||`, `!`) és konkatenáló, továbbá binárisokra / sztringekre alkalmazható műveletekkel van összerakva

## Kifejezések csoportosítása

- A szekvenciális kifejezés egyfajta csoportosítást jelent
- A `do ... end` blokk a csoportosítás egy másik változata
- `do ... end` blokkot használunk pl. függvénydefiniációban, feltételes kifejezésben, `for`-jelölésben (`for`-komprehenzióban)
- Egy `do ... end` blokk belseje egy szekvenciális kifejezés, amely állhat egyetlen kifejezésből, vagy részkifejezések pontosvesszővel vagy új sorba írással elválasztott sorozatából
- A `do ... end` blokk valójában egy olyan kulcs-érték pár alternatív írásmódja, amelyben `do`: a kulcs, az érték pedig az esetleg zárójelbe tett szekvenciális kifejezés

Példák (fájl: `fpea.ex`):

```
def hello_1(msg, name), do: (IO.write msg; IO.puts ", mizújs, #{name}?")
def hello_2(msg, name), do: (      # csoportosítás zárójelezéssel
  IO.write msg                    # pontosvessző helyett új sorba
  IO.puts ", mizújs, #{name}?" )
def hello_3(msg, name) do        # zárójel helyett do...end
  IO.write msg
  IO.puts ", mizújs, #{name}?"
end
```

## Örkifejezés, ór 2

- Örkiejezésben tehát **nem** lehetnek
  - felhasználó által definiált függvények,
  - a modulokban *function*-ként definiált függvények,
 mert
  - mellékhatásuk lehet,
  - a kiértékelésük hatékonysága nem garantálható,
  - kivételt dobhatnak.
- Példa: faktoriális számítása (fájl: `fpea.ex`)  
A rekúzió soha nem áll le, ha  $n$  lebegőpontos vagy negatív:
 

```
def fac(0), do: 1
def fac(n), do: n * fac(n-1)

fac_2 kivételt dob, ha n nem egész, vagy ha negatív:

def fac_2(0), do: 1
def fac_2(n) when (is_integer n) and n > 0, do: n * fac_2(n-1)

iex> Fpea.fac_2 -1
** (FunctionClauseError) no function clause matching in ...
```

## Tartalom

- 9 Kifejezés, feltételes kifejezés, örkkifejezés
  - FPE-3&4 – Kifejezés, szekvenciális kifejezés, örkkifejezés
  - FPE-4 – Feltételes kifejezés

## Feltételes kifejezés

- A funkcionális nyelvű programok sok kis függvényből állnak, a meghívásuk sorrendjét, a klózok kiválasztását mintaillesztéssel és esetleg örökkel oldjuk meg
- Néha mégis szükség van olyan vezérlési szerkezetekre, amelyekhez hasonlóak gyakoriak az imperatív nyelvekben: *feltételes kifejezésekre*
- A funkcionális nyelvek vezérlési szerkezetei tehát, nem meglepő módon, maguk is *kifejezések*: van értékük, *teljes jogú polgárok*<sup>25</sup>
- Abból, hogy a vezérlési szerkezet kifejezés, következik, hogy (a kivételdobástól eltekintve) bárhogyan is érjen véget a kiértékelése, valamilyen értéket mindenképpen eredményül kell adnia
- Az Elixirben a feltételes kifejezést az `if`, `unless`, `cond` és `case` kulcsszavak egyike vezeti be – ezekről lesz szó a következőkben
- Lehetőleg ne vagy csak ritkán, jól megfontoltan használjunk feltételes kifejezést mintaillesztés és örök helyett: a feltételes kifejezéstől a függvény hosszabb, olvashatatlanabb lesz – szükségtelenül
- Ökölszabályként jegyezzük meg, hogy egy 15-20 sornál hosszabb klóz valószínűleg arra utal, valamit nem elég jól kódoltunk

<sup>25</sup>First-class citizens

## if és unless 1

- Két *paraméterük* van: egy feltétel és egy kulcs-érték lista, amelyben két kulcs van: `do:` és `else:`
- Ha a feltétel igaz, az `if` a `do:`-hoz tartozó értéket, ha hamis, akkor az `else:`-hez tartozót adja eredményül; az `unless` pont fordítva csinálja
- Az `else:` ág, azaz az `{:else, érték}` pár elhagyható, ilyenkor az eredmény `nil`, ha a feltétel `if` esetén hamis, `unless` esetén igaz
- `do: ..., else: ...` helyett `do ... else ... end` is írható
- Példák:
 

```
iex> if(true && 1, [{:do, "hm"}, {:else, "mh"}]) #függvényszerű
"hm"
iex> if false, do: "hm", else: "mh" #de van egyszerűbb írásmódja is
"mh"
iex> if false || 1, do: "hm" #az else: ág elhagyható26
"hm"
iex> if false, do: "hm" #ekkor nil az eredmény, ha a feltétel false
nil
iex> unless false, do: "hm", else: "mh" #unless fordítva csinálja
"hm"
```

<sup>26</sup>Ez nem szép ;-) az Elixirből: a funkcionális nyelvekben nem szokás valamelyik ág elhagyása.

## if és unless 2

- Az `if` és az `unless` makrók<sup>27</sup>
- Az `if`-ben és az `unless`-ben a feltételben igazságérték- (*truthy, falsy*) eredményű, egyébként tetszőleges függvények hívhatók meg
- Az `if`-ben és az `unless`-ben definiált változók *lokálisak*
- Példa:
 

```
iex> x = 1
1
iex> if true, do: (x = x + 1; x)
2
iex> x
1
```
- Ezért ha értéket akarunk kötni egy változóhoz, akkor ki kell használnunk, hogy `if` és `unless` kifejezések, van értékük:
 

```
iex> x = 1
1
iex> x = unless true, do: x + 1, else: x + 2
3
```

<sup>27</sup>Az Elixir a makró fordításkor fejti ki.

## cond (fájl: fpea.ex) 1

- A cond feltétel-érték párok sorozatát dolgozza fel
- A cond-ban – mint if-ben és az unless-ben – igazságérték-eredményű, egyébként tetszőleges függvények hívhatók meg a feltételben
- Mint minden kifejezés kiértékelése, a feltételes kifejezés is balról jobbra, fölülről lefelé halad
- Az első teljesülő feltételhez tartozó kifejezés értéke lesz az eredmény
- Ha egyik feltétel sem teljesül, a virtuális gép kivételt dob
- to\_decval\_cond eredménye egy hexadecimális számjegy decimális értéke; kivételt dob, ha nem hexadec számjeggyel hívjuk meg

```
def to_decval_cond(hexval) do
  cond do
    cond do
      ?0 <= hexval && hexval <= ?9 -> hexval - ?0
      ?a <= hexval and hexval <= ?f -> hexval - ?a + 10
    end
  end
end
iex> Fpea.to_decval_cond(?f)
15
```

## cond (fájl: fpea.ex) 2

- A kivételdobást elkerülhetjük a nil érték visszaadásával:

```
... ?a <= hexval and hexval <= ?f -> hexval - ?a + 10
true                               -> nil ...

iex> Fpea.to_decval_cond2(0)
nil
```

- vagy az Erlangban szokásos megoldással:

```
... ?0 <= hexval && hexval <= ?9 -> {:ok, hexval - ?0}
?a <= hexval && hexval <= ?f -> {:ok, hexval - ?a + 10}
true                               -> :error ...

iex> Fpea.to_decval_cond3(?z)
:error
```

- A fpea.ex fájlban van a három változat to\_decval\_cond, to\_decval\_cond2 és to\_decval\_cond3 néven

## case (fájl: fpea.ex)

- A case adott értéket illeszt mintákra, ami örökifejezéssel finomítható

```
def to_decval_case(hexval) do
  case hexval do
    hv when ?0 <= hv and hv <= ?9
      -> hv - ?0
    ?a -> 10
    ?b -> 11
    ?c -> 12
    ?d -> 13
    ?e -> 14
    ?f -> 15
    _ -> nil
  end
end
```

- Hangsúlyozzuk, hogy bár vannak feltételes kifejezések az Elixirben (ahogy a többi funkcionális nyelvben is), célszerű helyettük, ahol csak lehet, mintaillesztést használni, esetleg örrel kiegészítve
- A mintaillesztést és esetleg ört használó klózzokkal elegánsabban, átláthatóbban oldható meg az ilyen jellegű feladatok nagy része

## cond helyett case? (fájl: fpea.ex)

- A kiértékelendő kifejezés kiválasztására
  - a case kifejezést illeszt mintákra, esetleg örökifejezéssel finomítva
  - a cond tetszőleges igazságérték-eredményű függvényt elfogad
- cond helyett tehát akkor jó a case, hogy a választást örökkel oldjuk meg

```
def to_decval_cond(hexval), do:
  (cond do
    ?0 <= hexval and hexval <= ?9 -> hexval - ?0
    ?a <= hexval and hexval <= ?f -> hexval - ?a + 10
  end)

def to_decval_case2(hexval), do:
  (case hexval do
    _ when ?0 <= hexval and hexval <= ?9 -> hexval - ?0
    _ when ?a <= hexval and hexval <= ?f -> hexval - ?a + 10
    _ -> nil
  end)

iex> Fpea.to_decval_case2(?c)
12
```

- De minek bonyolítsuk a dolgot? ;-). Akkor használjunk case-t, ha mintaillesztéssel gyorsítani tudjuk az esetszétválasztást.

## Egy kis kitérő: .ex és .exs 1 (fájl: fpea.ex és test\_hexval.exs)

- Az fpea.ex fájl az iex fpea.ex paranccsal tölthetjük be, vagy ha már fut az IEx, akkor a c "fpea.ex"-szel  

```
iex> c "fpea.ex"
[Fpea]
```
- A betöltött modul(ok) nevét az IEx egy listában írja ki, most: [Fpea].
- Az .ex fájlban egy vagy több modulnak kell lennie, az Elixir ezeket a belső alakra fordítja le, és úgy értelmezi. Függvénydefiníció csak modulban lehet.
- Ha elixirc-vel fordítunk egy fájl, minden modulja külön \*.beam fájlhoz létre.
- Az iex az elérhető .beam fájlokat automatikusan betölti, ha hivatkozunk rájuk.
- A .exs arra utal, hogy a fájlban egy Elixir szkript van, amit az IEx nem fordít le, hanem közvetlenül interpretál.
- Egy Elixir szkriptben nem kell moduldefiníciónak lennie (de lehet benne).
- Az IEx azonnal kiértékeli a betöltött szkriptet.

## X. rész

### Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee
- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
- 12 Lineáris és elágazó rekurzió
- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

## Egy kis kitérő: .ex és .exs 2 (fájl: fpea.ex és test\_hexval.exs)

- ```
#def test(:cond) do # Csak modulban lehet függvénydefiníció.
  Fpea.to_decval_cond(?f)  |> IO.inspect()
  Fpea.to_decval_cond2(?6) |> IO.inspect()
  Fpea.to_decval_cond3(?z) |> IO.inspect()
#end

#def test(:case) do # Csak modulban lehet függvénydefiníció.
  Fpea.to_decval_case(?f)  |> IO.inspect()
  Fpea.to_decval_case2(?z) |> IO.inspect()
#end

iex> c "test_hexval.exs"
15
6
:error
...
[]
```
- test\_hexval.exs-ben nincs moduldefiníció (bár lehetne), ezért marad üresen a betöltés után a modulnevek listája.

## Tartalom

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee
  - FPE-4 – Projektszervezés és más hasznosságok: mix, dialyzer, benchee
  - FPE-4 – Hatékonyság mérése és javítása

## Projektszervezés Elixirben 1: mix

Itt az ideje, hogy foglalkozzunk egy kicsit az Elixir projektek szervezésével.

- Az Elixirhez sokféle modul van, a gyakran használtak (pl. Kernel, Enum, List, String) az Elixir-alapcsomag része, a többit (pl. Dialyxir, Benchee) utólag kell telepíteni, ha és amikor szükség van rájuk.
- Magának a fordítónak (elixir, elixirc, iex) is, a moduloknak is több verziója van, az újabb verziók nem mindig kompatibilisek a korábbiakkal: a függőségeket kezelni kell.
- Általában egy saját projekt is több modulból áll, plusz a teszteléshez használt adatokból, segédprogramokból – célszerű ezeket is jól áttekinthetően, rendben tartani.
- Ahhoz, hogy az Elixirhez kidolgozott segédesszközöket használni tudjuk, be kell tartani a konvenciókat – nemcsak a névadásra, hanem például a fájlokat tároló mappák szerkezetére vonatkozóakat is.
- Projektkezelésre a mix-et használják az Elixirhez. A mix az Elixir-csomag része.

<https://elixir-lang.org/getting-started/mix-otp/introduction-to-mix.html>

## Projektszervezés Elixirben 2: mix

Indítsuk el mix-et a ~/tmp/ mappában:

```
...$ cd ~/tmp
~/tmp$ mix --help
Mix is a build tool for Elixir
```

Usage: mix [task]

Examples:

```
mix           - Invokes the default task (mix run) in a project
mix new PATH  - Creates a new Elixir project at the given path
mix help      - Lists all available tasks
mix help TASK - Prints documentation for a given task
```

The --help and --version options can be given instead of a task for usage and versioning information.

Használhatjuk a dokkeres Elixirt is:

```
~$ docker run -it --rm -v "$PWD":/home -w /home elixir /bin/bash
.../home#
```

## Projektszervezés Elixirben 3: mix

Hozzunk létre egy új projektet egy új mappában. A projekt és a mappa neve legyen fp. A modul-sabloné Fp lesz, amit egyébként most nem fogunk használni (ez lenne a neve akkor is, ha nem lenne ott a --module opció).

```
# mix new fp --module Fp
* creating README.md
* creating .formatter.exs
* creating .gitignore
* creating mix.exs
* creating lib
* creating lib/fp.ex
* creating test
* creating test/test_helper.exs
* creating test/fp_test.exs
```

Your Mix project was created successfully.

You can use "mix" to compile it, test it, and more:

```
cd fp
mix test
```

Run "mix help" for more commands.

```
# ls -F fp
lib/ mix.exs README.md test/
```

## Projektszervezés Elixirben 4: mix

Nézzük, mi van a mix.exs fájlban<sup>28</sup>:

```
~/tmp$ cd fp
~/tmp/fp$ cat mix.exs
defmodule Fp.MixProject do
  use Mix.Project

  def project do
    [
      app: :fp,
      version: "0.1.0",
      elixir: "~> 1.17",
      start_permanent: Mix.env() == :prod,
      deps: deps()
    ]
  end

  # Run "mix help compile.app" to learn about applications.
  def application do
    [
      extra_applications: [:logger]
    ]
  end
end
```

(Folytatás a következő dián.)

<sup>28</sup>Mi más lenne, ha nem Elixir-kód. :-)

## Projektszervezés Elixirben 5: mix

(Az előző dia folytatása.)

```
# Run "mix help deps" to learn about dependencies.
defp deps do
  [
    # {:dep_from_hexpm, "~> 0.3.0"},
    # {:dep_from_git, git: "https://github.com/elixir-lang/my_dep.git", tag: ...}
  ]
end
end
```

- `mix.exs` két publikus és egy privát függvényt definiál.
- `project` a projektkonfigurációról tárol adatokat, `application`-nel pedig egy applikációs fájlt lehet generálni – ezek részleteibe nem megyünk bele.
- A `deps` privát függvény törzsében kell leírni a függőségeket, megadni a kívánt modulok nevét és paramétereit.
- Két új modult fogunk használni, a `Dialyxir`-t és a `Benchee`-t:  
<https://github.com/jeremyjh/dialyxir>  
<https://github.com/bencheeorg/benchee>
- A következő dián a `mix.exs` fájlt láthatjuk ismét az új függőségekkel.

## Projektszervezés Elixirben 6: mix

```
# Run "mix help deps" to learn about dependencies.
defp deps do
  [
    {:dialyxir, "~> 1.4", only: [:dev, :test], runtime: false},
    {:benchee, "~> 1.0", only: :dev},
    # {:dep_from_hexpm, "~> 0.3.0"},
    # {:dep_from_git, git: "https://github.com/elixir-lang/my_dep.git", tag: ...}
  ]
end
```

Telepítsük és fordítsuk le az új modulokat!<sup>29</sup>

```
~/tmp/fp$ mix do deps.get, deps.compile
Resolving Hex dependencies...
Resolution completed in 0.051s
New:
  benchee 1.3.1
  deep_merge 1.0.0
  dialyxir 1.4.3
  erlex 0.2.7
  statistex 1.0.0
...
Compiling ...
```

<sup>29</sup>Az új modulok az adott projekt részei lesznek, lokálisak, nem globálisak.

## Szignatúravizsgálat: mix dialyzer

- A projekt forrásfájljainak a `lib` mappában kell lenniük: rakjunk be ide egy Elixir programot, pl. az egyik kisházat, rontsunk el egy-két specifikációt, és dializáljuk.
- A dializálás a `lib` mappában lévő **összes** `.ex` fájlt vizsgálja.
- Az első futtatás soká tart, mert a `dialyzer` rengeteg ún. PLT-fájlt telepít a modulokhoz tartozó típuszignatúrákkal (PLT = Persistent Lookup Table).
- A dializálás a `.beam` fájlokat elemzi, ezért ha változott valamelyik forrásfájl, az elemzés előtt fordítás készül belőle.

```
@spec sum(xs::[integer()]) :: s::[integer()]
# Az xs számlista összege s
def sum([x|xs]), do: x + sum(xs)
def sum([]), do: 0

~/tmp/fp$ mix dialyzer
lib/sum.ex:2: Invalid type specification for function 'Elixir.Sum':sum/1.
The success typing is 'Elixir.Sum':sum([number()]) -> number()
But the spec is 'Elixir.Sum':sum(xs::[integer()]) -> s::[integer()]
The return types do not overlap
```

## Fordítás, futtatás mix-szel: mix compile; iex with mix

- Fordítani a `mix compile`-lal lehet, a `_build/dev/lib/fp/ebin/` mappába kerül a lefordított fájl, pl. a `sum.ex` esetében `Elixir.Sum.beam` néven.
- Az `iex`-nek az indításakor megadhatjuk a projektünk elérési útjait és függőségeit: `iex -S mix`
- Betölteni, újratölteni egyszerű a programunkat az `r` paranccsal (korrektebben: az `r` helper funkcióval):

```
iex> r Sum
```

- A `Sum` modulban definiált függvények meghívása (most csak egy van):

```
iex> Sum.sum [1,2,3,4,5]
15
```

- A modult záró `end` után lehetnek olyan függvényhívások, melyeket az `iex` a betöltéskor kiértékel; az `I0.inspect` ezek eredményét kiírja a képernyőre, pl. `1..5 |> Enum.to_list() |> Sum.sum() |> I0.inspect()`. Ha újraindítjuk a programot az `r` helper függvénnyel, az eredmény megjelenik a képernyőn:

```
iex> r Sum
...
15
:reloaded, [Sum]
```

## Mérések, profilozás: benchee

- Már láttuk, hogyan kell telepíteni a benchee modult.
- Most nézzünk egy példát a használatára, vizsgáljuk meg a `Sum.sum/1` függvény működését.
- A `Benchee.run/1` függvényt kell meghívni egy fájlban, pl. a `benchee_sum.exs`-ben. Ennek egy szótár a paramétere, amiben a függvényhívásokat kell megadni egy-egy névtelen függvény törzsében:
 

```
Benchee.run(%{"sum" => fn -> 1..10_000 |> Range.to_list() |> Sum.sum() end,
              })
```
- Az elemzést a `mix run lib/benchee_sum.exs`-szel indítjuk el.
- Ha azt is szeretnénk tudni, hogy melyik függvény milyen gyakran és mennyi ideig fut, akkor a `profile_after` opciót kell megadnunk, így:
 

```
Benchee.run(%{"sum" => fn -> 1..10_000 |> Range.to_list() |> Sum.sum() end,
              },
              profile_after: true
            )
```

## Mérési, profilozási eredmények: benchee

- ... `"sum" => fn -> 1..10_000 |> Range.to_list() |> Sum.sum() end ...`
- A mérés **5 s**-ig tart; sok egyébvel együtt a mérési idő is beállítható.

| Name | ips    | average   | deviation | median    | 99th %    |
|------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| sum  | 5.37 K | 186.15 us | ±13.10%   | 173.67 us | 236.99 us |

- **ips**: iteration per second; **99th**: a mért értékek 99%-a legalább ennyi

Profile results of #PID<0.166.0>

| #                                               | CALLS | % TIME | us/CALL |      |
|-------------------------------------------------|-------|--------|---------|------|
| Total                                           | 12506 | 100.0  | 4261    | 0.34 |
| :lists.seq/3                                    | 1     | 0.00   | 0       | 0.00 |
| Range.to_list/1                                 | 1     | 0.02   | 1       | 1.00 |
| anonymous fn/0 in :elixir_compiler_2.__FILE__/1 | 1     | 0.02   | 1       | 1.00 |
| :erlang.apply/2                                 | 1     | 0.09   | 4       | 4.00 |
| :lists.seq_loop/4                               | 2501  | 21.99  | 937     | 0.37 |
| Sum.sum/1                                       | 10001 | 77.87  | 3318    | 0.33 |

Profile done over 6 matching functions

- Az egészlistát a `:lists.seq_loop/4` Erlang-függvény állítja elő, a `:lists.seq/3` és `Range.to_list` csak az előkészítésben vesznek részt.
- A futási idő 77.87%-át a `Sum.sum/1` függvény használja fel.

## Tartalom

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee
  - FPE-4 – Projektszervezés és más hasznosságok: mix, dialyzer, benchee
  - FPE-4 – Hatékonyság mérése és javítása

## „Send more money” 1

- Valahol Angliában táviratot kézbesít a postás: SEND + MORE = MONEY.
- A címzett választáviratot küld a fiának: „Küldök, de mennyit?”. És a viszontválasz: „Megírtam! Minden betű más számjegy. Oldd meg!”
- A fiú nyilván nem szerénykedik, ötszámjegyű összeget kér, ezért az M nem lehet 0.
- Az egyszerű *generate-and-test* módszer nem elég jó, mert  $10^8$  nagyságrendű a variációk száma. Ezért már az első változatban figyelembe vesszük, hogy a betűk különböző számjegyeket jelentenek.
- Először a segédfüggvényt írjuk meg az összeg ellenőrzéséhez az

$$1000s + 100e + 10n + d + 1000m + 100o + 10r + e =$$

$$10000m + 1000o + 100n + 10e + y$$

egyenlet felhasználásával.



## „Send more money” 2: Sendmory.check\_sum/1

```
@type d() :: 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
@type octet() :: d(),d(),d(),d(),d(),d(),d(),d()
```

```
@spec check_sum(c::octet()) :: b::boolean()
# b igaz, ha a c jelölt teljesíti az összeadási feltételt
defp check_sum(s,e,n,d,m,o,r,y) do
  send = num([s,e,n,d])
  more = num([m,o,r,e])
  money = num([m,o,n,e,y])
  send+more === money
end
```

A num/1 függvény a számjegyek listáját egész számmá alakítja:

```
@spec num(ns::[d()]) :: n::integer()
# Az ns számjegylista decimális számként n.
def num(ns) do for n <- ns, reduce: 0, do: (acc -> 10*acc + n) end
```

## „Send more money” 3: Sendmory.smm1/0

```
@spec smm1() :: [octet()]
# Ellenőrzések generálás közben is.
def smm1() do
  ds = 0..9
  for s <- ds,
    e <- ds, e != s,
    n <- ds, not (n in [s,e]),
    d <- ds, not (d in [s,e,n]),
    m <- 1..9, not (m in [s,e,n,d]),
    o <- ds, not (o in [s,e,n,d,m]),
    r <- ds, not (r in [s,e,n,d,m,o]),
    y <- ds, not (y in [s,e,n,d,m,o,r]),
    check_sum(s,e,n,d,m,o,r,y),
  do: s,e,n,d,m,o,r,y
end
```

| Name | ips  | average   | deviation | median    | 99th %    |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| smm1 | 2.09 | 478.31 ms | ±0.72%    | 477.12 ms | 483.46 ms |

Mindössze kétszer fut le egy másodperc alatt! Nagyon gyenge! Hol lehetne javítani rajta?

## „Send more money” 4: Sendmory.smm1/0

| #                                               | CALLS    | %     | TIME    | uS/CALL |
|-------------------------------------------------|----------|-------|---------|---------|
| Total                                           | 77326776 | 100.0 | 7263355 | 0.09    |
| :lists.reverse/1                                | 1        | 0.00  | 0       | 0.00    |
| anonymous fn/0 in :elixir_compiler_2.__FILE__/1 | 1        | 0.00  | 0       | 0.00    |
| anonymous fn/2 in Sendmory.smm1/0               | 10       | 0.00  | 1       | 0.10    |
| Sendmory.smm1/0                                 | 1        | 0.00  | 1       | 1.00    |
| :erlang.apply/2                                 | 1        | 0.00  | 3       | 3.00    |
| anonymous fn/3 in Sendmory.smm1/0               | 100      | 0.00  | 10      | 0.10    |
| anonymous fn/4 in Sendmory.smm1/0               | 900      | 0.00  | 140     | 0.16    |
| anonymous fn/5 in Sendmory.smm1/0               | 7200     | 0.01  | 917     | 0.13    |
| anonymous fn/6 in Sendmory.smm1/0               | 45360    | 0.08  | 5723    | 0.13    |
| anonymous fn/7 in Sendmory.smm1/0               | 272160   | 0.50  | 36193   | 0.13    |
| anonymous fn/8 in Sendmory.smm1/0               | 1360800  | 2.59  | 188308  | 0.14    |
| Sendmory.num/1                                  | 4898880  | 4.30  | 312577  | 0.06    |
| Enum.reduce/3                                   | 5612357  | 4.86  | 352752  | 0.06    |
| Sendmory.check_sum/1                            | 1632960  | 5.52  | 400715  | 0.25    |
| Enum.reduce_range/5                             | 3567385  | 8.03  | 583426  | 0.16    |
| :lists.member/2                                 | 7129620  | 8.48  | 616031  | 0.09    |
| anonymous fn/9 in Sendmory.smm1/0               | 5443200  | 11.17 | 811333  | 0.15    |
| anonymous fn/2 in Sendmory.num/1                | 21228480 | 19.10 | 1387139 | 0.07    |
| Enum."-reduce/3-lists^foldl/2-0-"/3             | 26127360 | 35.36 | 2568086 | 0.10    |

Nem könnyű kihámozni, hogy a sok (19) függvény közül melyikhez nyúljunk, ráadásul sok köztük a névtelen. De a Sendmory.num/1 gyanús.

## „Send more money” 5: Sendmory.check\_sum2/1, smm1a/0

A Sendmory.num/1 gyanús, mert sokat hívja, közvetetten, a legtöbb időt felhasználó Enum."-reduce/3-listsfoldl/2-0-"/3-t.

A Sendmory.check\_sum/1 is az, mert ő hívja a Sendmory.num/1-öt.

```
defp check_sum(s,e,n,d,m,o,r,y) do
  send = num([s,e,n,d])
  more = num([m,o,r,e])
  money = num([m,o,n,e,y])
  send+more === money
end
```

Használjuk ki, hogy a számjegyek száma ismert (4 és 5)!

```
defp check_sum2(s,e,n,d,m,o,r,y) do
  send = 1000*s + 100*e + 10*n + d
  more = 1000*m + 100*o + 10*r + e
  money = 10000*m + 1000*o + 100*n + 10*e + y
  send+more === money
end
```

Sendmory.smm1a/0-ban csak annyi a változás, hogy check\_sum2/1-t hívja.

| Name  | ips  | average   | deviation | median    | 99th %    |
|-------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| smm1a | 3.26 | 306.41 ms | ±1.00%    | 305.36 ms | 313.92 ms |
| smm1  | 2.07 | 483.01 ms | ±0.85%    | 482.71 ms | 488.42 ms |

„Send more money” 6: `Sendmory.smm2/0`

Kb. 40%-os a javulás. Hol lehetne tovább javítani rajta? A profil egy részlete:

| #                                               | CALLS   | %     | TIME   | uS/CALL |
|-------------------------------------------------|---------|-------|--------|---------|
| <code>Sendmory.check_sum2/1</code>              | 1632960 | 6.45  | 168839 | 0.10    |
| <code>anonymous fn/8 in Sendmory.smm1a/0</code> | 1360800 | 6.98  | 182793 | 0.13    |
| <code>Enum.reduce_range/5</code>                | 3567385 | 23.37 | 612292 | 0.17    |
| <code>:lists.member/2</code>                    | 7129620 | 25.56 | 669607 | 0.09    |
| <code>anonymous fn/9 in Sendmory.smm1a/0</code> | 5443200 | 32.66 | 855524 | 0.16    |

A `check_sum2/1` sokszor és sokat fut, de amíg a varációk számát nem csökkentjük (most 1 632 960), addig ezen nem tudunk változtatni.

A `:lists.member/2`, azaz a `Kernel.in/2` operátor, a tagsági vizsgálat még többet fut, próbáljuk meg listák kivonásával, a `Kernel.--/2`-vel kiváltani.

```
def smm2() do
  ds = Range.to_list(0..9)
  for s <- ds,
    e <- ds -- [s],
    n <- ds -- [s,e],
    d <- ds -- [s,e,n],
    m <- ds -- [0,s,e,n,d],
    o <- ds -- [s,e,n,d,m],
    r <- ds -- [s,e,n,d,m,o],
    y <- ds -- [s,e,n,d,m,o,r],
    ...
```

„Send more money” 7: `Sendmory.smm2/0, smm3/0`

| Name               | ips  | average   | deviation | median    | 99th %    |
|--------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <code>smm2</code>  | 5.92 | 168.99 ms | ±1.68%    | 169.47 ms | 170.75 ms |
| <code>smm1a</code> | 3.26 | 306.44 ms | ±0.55%    | 305.61 ms | 308.81 ms |

Majdnem felére csökkent a futási idő, de még mindig nagyon sok. A variációk számát kellene csökkenteni, például úgy, hogy a listák építése közben eldobjuk a rossz variációkat.

Egy (tovább finomítható) lehetőség, hogy *hátról* kezdjük a számjegyek összeadását, és megvizsgáljuk, hogy pl. `d+e` – ha kétjegyű, akkor a második számjegye – egyenlő-e `y`-nal (vö. `send + more = money`).

```
for d <- ds,
  e <- ds -- [d],
  y <- ds -- [d,e],
  rem(d+e, 10) == y,
  n <- ds -- [d,e,y],
  r <- ds -- [d,e,y,n],
  rem(num([n,d]) + num([r,e]), 100) == num([e,y]),
  o <- ds -- [d,e,y,n,r],
  rem(num([e,n,d]) + num([o,r,e]), 1000) == num([n,e,y]),
  s <- ds -- [d,e,y,n,r,o],
  m <- ds -- [0,d,e,y,n,r,o,s],
  check_sum2(s,e,n,d,m,o,r,y), ...
```

„Send more money” 8: `Sendmory.smm3/0`

| Name              | ips       | average      | deviation | median       | 99th %       |
|-------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|--------------|
| <code>smm3</code> | 1.42 K    | 703.67 us    | ±3.43%    | 695.03 us    | 789.63 us    |
| <code>smm2</code> | 0.00613 K | 163209.60 us | ±2.18%    | 163440.91 us | 167366.79 us |

Óriási a nyereség, kb. 230-szoros a gyorsulás! Nem olyan meglepő, ha azt is látjuk, hogy variációk száma 1866-ra csökkent az 1 632 960-ról:

| #                                                | CALLS | %     | TIME | uS/CALL |
|--------------------------------------------------|-------|-------|------|---------|
| <code>Sendmory.check_sum2/1</code>               | 1866  | 1.56  | 233  | 0.12    |
| ...                                              |       |       |      |         |
| <code>Sendmory.num/1</code>                      | 13422 | 7.45  | 1115 | 0.08    |
| <code>Enum.reduce/3</code>                       | 15304 | 7.72  | 1155 | 0.08    |
| <code>anonymous fn/2 in Sendmory.num/1</code>    | 31194 | 18.33 | 2743 | 0.09    |
| <code>Enum."-reduce/3-lists^foldl/2-0-"/3</code> | 54894 | 47.97 | 7180 | 0.13    |

`smm3/0`-ban a `num/1`-et hívjuk, amiről már láttuk, hogy lassú. Hagyjuk el!

```
... n <- ds -- [d,e,y],
  r <- ds -- [d,e,y,n],
  rem(num([n,d]) + num([r,e]), 100) == num([e,y]),
  o <- ds -- [d,e,y,n,r],
  rem(num([e,n,d]) + num([o,r,e]), 1000) == num([n,e,y]), ...
```

Hat helyen hagytuk el `num/1`-et. Nézzük, hozott-e ez változást a futási időkhözben `smm3a/0`-ban.

„Send more money” 9: `Sendmory.smm3a/0`

| Name               | ips    | average   | deviation | median    | 99th %    |
|--------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <code>smm3a</code> | 2.40 K | 416.94 us | ±9.63%    | 405.19 us | 601.81 us |
| <code>smm3</code>  | 1.55 K | 645.86 us | ±6.75%    | 631.41 us | 851.17 us |

Most is kb. 40-os a javulás. Hol lehetne még javítani a futási időkhöz?

| #                                                | CALLS | %     | TIME | uS/CALL |
|--------------------------------------------------|-------|-------|------|---------|
| ...                                              |       |       |      |         |
| <code>anonymous fn/4 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 90    | 0.42  | 15   | 0.17    |
| <code>anonymous fn/5 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 720   | 2.19  | 79   | 0.11    |
| <code>anonymous fn/6 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 504   | 2.47  | 89   | 0.18    |
| <code>anonymous fn/9 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 732   | 3.77  | 136  | 0.19    |
| <code>Enum.reduce/3</code>                       | 1882  | 4.22  | 152  | 0.08    |
| <code>anonymous fn/8 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 1450  | 5.25  | 189  | 0.13    |
| <code>Sendmory.check_sum2/1</code>               | 1866  | 6.91  | 249  | 0.13    |
| <code>anonymous fn/9 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 1866  | 9.77  | 352  | 0.19    |
| <code>anonymous fn/7 in Sendmory.smm3a/0</code>  | 3024  | 10.07 | 363  | 0.12    |
| <code>:erlang.--/2</code>                        | 1881  | 13.10 | 472  | 0.25    |
| <code>Enum."-reduce/3-lists^foldl/2-0-"/3</code> | 10278 | 41.66 | 1501 | 0.15    |

További varációk kizárásával, például úgy, hogy a két szám összeadásakor esetleg keletkező átvitt is felhasználjuk.

Esetleg a `for-comprehenzió` kiváltásával (most már csak a `comprehenzió` hívja az `Enum."-reduce/3-lists^foldl/2-0-"/3`-t).

## XI. rész

# Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee
- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
- 12 Lineáris és elágazó rekurzió
- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

## Tartalom

- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
  - FPE-5 – Függvény, névtelen függvény
  - FPE-5 – Magasabb rendű függvény

## Függvény definiálása

- Névtelen és neves függvények definiálásával már eddig is sokszor találkoztunk – nehéz lenne úgy beszélni a funkcionális programozásról, hogy kezdettől fogva ne legyen szó függvényekről és listákról.
- Most igyekezünk mindent elmondani előbb a *névtelen*, majd a *neves* függvények definiálásáról, amit csak tudni érdemes.<sup>30</sup>

## Névtelen függvény 1 (dp\_fun.exs)

- A névtelen függvény, másnéven *lambda* definíciója az *fn* kulcsszóval kezdődik, egy vagy több *klózból* áll, és az *end* kulcsszóval fejeződik be:

```
fn
  klóz
  klóz ...
end
```

- A klóz *fejből* és *törzsből* áll, a kettőt *->* választja el:
 

```
klózfej -> klóztörzs
```
- A klózfej *paraméterlistából* (mintakifejezésből) és opcionálisan *örkifejezésből* áll:<sup>31</sup>

```
paraméterlista [when örkifejezés]
```
- A klóztörzs tetszőleges szekvenciális kifejezés.

- Példa:

```
stir = # Hogy hivatkozni tudjunk a névtelen fv-re, névhez kell kötni
fn {a, b} when a < b           -> {b, a}
    {a, b} when rem(a,b) === 0 -> d = div(a,b); {b * d, d}
x                               -> x
end
```

<sup>31</sup>A szögletes zárójel itt az opcionálisat jelölik.

<sup>30</sup>A névtelen függvényt *lambdának*, *lambda-függvénynek* is nevezik. A  $\lambda$ -jelölést matematikai függvények tulajdonságainak vizsgálatához vezette be Alonzo Church az 1930-as években.

## Névtelen függvény 2 (dp\_fun.exs)

- A második klóz törzsében egy szekvenciális kifejezés van, amit szabad, de – ellentétben a neves függvényel – nem kell zárójelbe tenni:

```
... {a, b} when rem(a,b) === 0 -> (d = div(a,b); {d * b, d})
    x                          -> x ... # x mindenre illeszkedik
```

- A most definiált névtelen függvény túl bonyolult, rendszerint nagyon egyszerűeket és rövideket definálunk „menet közben” (on-the-fly).
- Névtelen függvényt tipikusan két esetben használunk, akkor, amikor
  - egy függvénydefinícióban lokális függvényre van szükség,
  - egy függvény paraméterként egy egyszerű, saját függvényt kap.
- Példák:

```
def sumsq(x, y), do: (sq = fn x -> x*x end; sq.(x) + sq.(y)) # Ott a.!
iex> Dp.Fun.sumsq(3, 5)
34
def sumtr(f, x, y), do: f.(x) + f.(y) # Ott a.!
iex> Dp.Fun.sumtr(fn x -> 2 * x + 1 end, 3, 5)
18
```

## Névtelen függvény 3 (dp\_fun.exs)

- Amikor változónevet függvényként hívunk meg, **ponttal kell elválasztani** a paramétereitől, amiket **zárójelbe kell rakni**.
- A lokális függvény paraméterei és más változói lokálisak, azokat a befogadó függvény sem látja.
- A lokális függvény használhatja az őt befogadó függvény paramétereit és más változóit.
- Példák:
 

```
def sumx2y2z(x, y, z), do:
  (sq = fn x -> x*x end;
   sq.(x) + sq.(y) + z)
iex> Dp.Fun.sumx2y2z(3, 5, 6)
40
```
- A névtelen függvény nem rekurzív, azaz nem hívhatja önmagát.
- A kis névtelen függvények használata annyira gyakori, hogy az Elixirben **rövidítő jelölés** van a definiálásukra.

## Névtelen függvény 4 (dp\_fun.exs)

- Nézzük az előbbi két példát a **rövidítő jelöléssel**, továbbá a második példa egy változatát, amelyben a névtelen függvénynek három paramétere van:

- Példák:

```
def sumsq(x, y), do: (sq = fn x -> x * x end; sq.(x) + sq.(y))
def sumsq_2(x, y), do: (sq = &(&1 * &1); sq.(x) + sq.(y)) # kell a pont!
iex> Dp.Fun.sumsq_2(3, 5)
34
def sumtr(f, x, y), do: f.(x) + f.(y) # kell a pont!
iex> Dp.Fun.sumtr(fn x -> 2 * x + 1 end, 3, 5)
iex> Dp.Fun.sumtr(&(2 * &1 + 1), 3, 5)
18
iex> sumtr_2 = &(&1.(&2) + &1.(&3)) # kell a pont!
iex> sumtr_2.(&(2 * &1 + 1), 3, 5) # kell a pont!
18
```

- A névtelen függvényt változóhoz sem kell kötni, úgy is alkalmazható:
 

```
iex> (&(&1.(&2) + &1.(&3))).(&(2 * &1 + 1), 3, 5) # kell a pont!
18
```

## Nebes függvény 1 (dp\_fun.exs)

- Neves függvényt csak modulban lehet definiálni def-fel vagy defp-vel.
- A defp-vel definiált függvény privát (azaz lokális), csak a modul más függvényeiből hívható meg, az adott modulon kívülről nem.
- Amikor egy modul függvényeiből hívunk meg olyan függvényeket, amelyek ugyanabban a modulban vannak definiálva, akkor a modul nevét nem kell – de szabad – kiírni a függvéynév elé.
- Amikor egy modulban függvénydefiníció kívül hivatkozunk egy függvényre, akkor mindig ki kell írni a modulnevet a függvéynév elé, akkor is, ha a függvény ugyanabban a modulban van definiálva. A modulban nem függvénydefiníciók belsejében megadott kifejezéseket az Elixir már a fordítás során futtatja.
- A neves függvény definíciója is egy vagy több *klózból* áll. Minden klóznak vagy def-fel, vagy defp-vel<sup>32</sup> kell kezdődnie:

```
def klóz
def klóz ...
```

<sup>32</sup>def és defp szintaxisa ugyanaz. A programszövegben egy függvény összes klózáának együtt kell lenniük, a függvénydefiníciók nem keveredhetnek.

## Neves függvény 2 (dp\_fun.exs)

- A klóz *fejből* és *törzsből* áll, a klóztörzset általában vesszővel kell elválasztani a klózfejtől:
 

```
klózfej, klóztörzs
```
- A klózfej *névből*, *paraméterlistából* – mintakifejezésből – és opcionálisan *örkifejezésből* áll<sup>33</sup>. A paraméterlistát az egyértelműség kedvéért sokszor zárójelbe kell rakni<sup>34</sup>:
 

```
név [ ( ) | ( [paraméterlista [ ] ] [when örkifejezés] ]
```
- A klóztörzs a `do`: kulcsszóval bevezetett tetszőleges szekvenciális kifejezés<sup>35</sup>:
 

```
do: [ ( [szekvenciális kifejezés [ ] ]
```
- A klóztörzs alternatív leírási módja a `do...end` pár használata, ilyenkor a `do` elé *nem szabad* vesszőt rakni, a kerek zárójelek pedig elhagyhatók:
 

```
do szekvenciális kifejezés end
```
- Egy függvény klóza közé más függvénydefiníciót nem szabad beékelni.

<sup>33</sup>A [ és ] ezen a dián is az opcionálisat jelölik, a | pedig az alternatívát.

<sup>34</sup>A név és a nyitó zárójel között nem lehet szóköz!

<sup>35</sup>A pontosvesszővel elválasztott vagy új sorba írt részkifejezéseket zárójelbe kell rakni.

## Neves függvény 3 (dp\_fun.exs)

- A függvényt a neve és paramétereinek száma (az ún. aritása) azonosítja. Ugyanazzal a névvel több különböző aritású függvény definiálható.
- A neves függvények lehetnek rekurzívak (a névtelek nem).
- Oldjuk meg a következő tanulságos feladatot! Válogassuk ki egy `xs` listából a *d*-vel osztható egészeket, rendre szorozzuk meg őket *d*-vel, *(d+1)*-gyel stb., majd az így kapott elemeket adjuk vissza egy *csökkenő sorrendű* listában.
- Tudnunk kell, hogy a feltételnek megfelelő elemek közül hányadiknál járunk, mert egyesével növekvő egészekkel kell megszoroznunk.
- Ehhez egy segédfüggvényre és egy plusz paraméterre van szükségünk, hiszen globális változók nincsenek az Elixirben. A segédfüggvényt az új paraméter kezdőértékével, *d*-vel hívjuk meg:
 

```
def picked(xs, d), do: (picked xs, d, d)
```
- Mind a három lehetséges esetre definiálunk egy-egy klózt:
  - 1 a soron következő elem *d*-vel osztható egész,
  - 2 a soron következő elem nem egész vagy nem osztható *d*-vel,
  - 3 a lista üres.

## Neves függvény 4 (dp\_fun.exs)

- A három klózból álló privát függvény:
 

```
defp picked([x|xs], d, i) when (is_integer x) and (rem x,d) === 0 do
  [ x * i | picked(xs, d, i+1) ]
end
defp picked([_x|xs], d, i), do: picked(xs, d, i)
defp picked([], _d, _i), do: []
```
- Az 1. és a 2. klóz sorrendje fontos, fordított sorrendben minden listaelemet eldobna, a *d*-vel osztható egészeket is.
- Az 1. klózból listát építünk: az eredménylista feje a soron következő elem és a számláló szorzata lesz, az eredménylista farkát pedig úgy kapjuk meg, hogy a `picked` függvényt rekurzívan meghívjuk a soron következő elem utáni maradéklistára.
- Az 1. és a 2. klózból minden rekurzív lépésben eggyel rövidül a maradéklista. Mivel a lista korlátos, előbb-utóbb eljutunk az üres listáig, ami a rekurzió végét jelenti.
- A hatékonyságot növeli, ha az üres listára illeszkedő klóz az utolsó.
- Az eredménylista nincs rendezve! Rendezzük csökkenő sorrendben:
 

```
def picked(xs, d), do: Enum.sort((picked xs, d, 0), &>/2)
```

## Neves függvény 5 (dp\_fun.exs)

- Nézzünk néhány tesztet, futási eredményt:
 

```
iex> Dp.Fun.picked([3, :a, 6, 9, 0], 3)
[45, 24, 9, 0]
iex> Dp.Fun.picked('abcdefgh', 2)
[520, 408, 300, 196]
iex> Dp.Fun.picked([:b, []], ' ', '"', '{', '%{ }', 4)
[]
iex> Dp.Fun.picked(Enum.to_list(2..36 // 6), 4)
[192, 100, 32]
```
- `picked` azt csinálja, amit várunk tőle. Jó tulajdonsága, hogy csak egyszer gyalogol végig a listán. A szerkezete azonban nem elég tiszta, nem eléggé érthető.
- A feladat tulajdonképpen három részfeladatból áll:
  - 1 a megfelelő elemek – a *d*-vel osztható egészek – kigyűjtése a listából,
  - 2 a kigyűjtött elemek listáján a transzformáció elvégzése elemenként,
  - 3 az eredménylista rendezése.
- Az eredménylista rendezése eddig is külön lépés volt, nézzük most a másik kettőt!

## Neves függvény 6 (dp\_fun.exs)

- A `d`-vel osztható egészek kigyűjtése a listából `picked/3`-hoz nagyon hasonló, de eggyel kisebb az aritása, és nem végez transzformációt:
 

```
defp filt([x|xs], d) when (is_integer x) and (rem x,d) === 0 do
  [ x | filt(xs, d) ]
end
defp filt([_x|xs], d), do: filt(xs, d)
defp filt([], _d), do: []
filt([3, :a, 8, 6, 0], 3) === [3, 6, 0]
```
- Ha egyszer `filt/2`-vel megszűrtük a listát, az új lista minden elemét lehet transzformálni, miközben nyilvántartjuk, hányadik elemnél tartunk:
 

```
defp mult([x|xs], i), do: [x * i | mult(xs, i+1)]
defp mult([], _i), do: []
mult([3, 6, 0], 2) === [6, 18, 0]
```
- Már csak kombinálni kell `filt/2`-t és `mult/2`-t `Enum.sort/2`-vel:
 

```
def picked_2(xs, d), do: Enum.sort(mult(filt(xs, d), d), &>/2)
iex> Dp.Fun.picked_2(Enum.to_list(2..36 // 6), 4)
[192, 100, 32]
```
- Csak három függvényt kombináltunk, mégis nehezen olvasható a kód, mert sok a zárójel, és mert belülről kifelé haladva kell olvasni.

## Neves függvény 7 |> operátorral (dp\_fun.exs)

- Segédváltozók bevezetésével átláthatóbbá, érthetőbbé tehetjük:
 

```
def picked_3(xs, d) do
  fs = filt(xs, d)
  ms = mult(fs, d)
  Enum.sort(ms, &>/2)
end
```
- A funkcionális programokra jellemző, hogy sok kis függvény egyszerű transzformációt végez, melyhez adatokat vesz át más függvénytől, majd ad át más függvénynek.
- A `|>` (pipe) operátorral elkerülhetjük az egymásba skatulyázást és új változók bevezetését:
 

```
def picked_4(xs, d) do
  xs
  |> filt(d)
  |> mult(d)
  |> Enum.sort(&>/2)
end
iex> Dp.Fun.picked_4(Enum.to_list(2..36 // 6), 4)
[192, 100, 32]
```

## Neves függvény 8 |> operátorral (dp\_fun.exs)

- A `|>` operátorral még akkor is jól olvasható a kód, ha egyetlen sorba írjuk a transzformációsorozatot:
 

```
def picked_4(xs, d), do: xs |> filt(d) |> mult(d) |> Enum.sort(&>/2)
```
- Az infix `|>` operátor a bal oldali kifejezés értékét adja át a jobb oldali függvénynek első paraméterként – így azt nem kell, *nem is szabad* kiírni
- A `|>` operátor jobb oldalán a függvény további paramétereit vagy a teljes függvényhívást zárójelbe kell rakni, mert a `|>` mohó kiértékelésű. A fenti sor így is zárójelezhető:
 

```
... do: xs |> (filt d) |> (mult d) |> (Enum.sort &>/2)
```
- Térjünk vissza még a `filt/2`, majd a `mult/2` függvényhez!
- Mindkettő túl speciális: az elsőbe a szűrőfeltétel, a másodikba az elvégzendő művelet van „gránitszilárdsággal” beépítve. Ha ezeket függvényparaméterként adnánk át, rugalmasabb lenne a megoldásunk.

## Neves függvény 9, filt újra (dp\_fun.exs)

- Ez itt a `filt/2` első, specifikus verziója:
 

```
defp filt([x|xs], d) when (is_integer x) and (rem x,d) === 0 do
  [ x | filt(xs, d) ]
end
defp filt([_x|xs], d), do: filt(xs, d)
defp filt([], _d), do: []
```
- Az őr cseréljük le függvényhívásra – a függvényt paraméterként adjuk át:
 

```
defp filt_2([x|xs], f?) when f?(x), do: [ x | filt_2(xs, f?) ]
defp filt_2([_x|xs], f?), do: filt_2(xs, f?)
defp filt_2([], _f?), do: []
```

Az `f?` névben a kérdőjellel arra utalunk, hogy a függvény igazságértéket ad eredményül – azaz predikátum.
- Van itt egy kis probléma: a `filt_2/2` fordításakor az IEx hibát jelez **\*\* (CompileError) ... anonymous call is not allowed in guards.**
- Idézzük föl: a `when` őr kifejezést vezet be, őr csak könyvtári függvény lehet, azokból se mind. Az `f?` paraméterről nem tudható, mi lesz az aktuális értéke, ezért viselkedik ilyen elutasítóan az Elixir.

## Neves függvény 10, `filt_2` és `oper` (`dp_fun.exs`)

- Őrkifejezés helyett tehát űr nélküli *feltételes kifejezést* kell használnunk, összevonva a korábbi 1. és 2. klózt:
 

```
defp filt_2([x|xs], f?), do:
  (if f?.(x), do: [ x | filt_2(xs, f?) ], else: filt_2(xs, f?))
defp filt_2([], _f?), do: []
```
- `mult/2` helyett írjunk egy általánosabb `oper/2`-t:
 

```
defp oper([x|xs], f), do: [ f.(x) | oper(xs, f) ]
defp oper([], _f), do: []
```

 Ez nem jó, mert így nem követjük, hányadik listaelemnél is tartunk, márpedig `x`-szel és folyton változó másik értékkel kell műveletet végezni.
- `oper/2` második paramétere legyen akkor az `{f, i}` pár:
 

```
defp oper([x|xs], {f, i}), do: [ f.(x, i) | oper(xs, {f, i+1}) ]
defp oper([], _fi), do: []
```

 Ez sem elég általános; később megnézzük, lehet-e általánosabb megoldást írni ilyen jellegű feladatokra.
- A következő dián osszerakjuk a teljes megoldást az új részmegoldásokkal.

## Tartalom

- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
  - FPE-5 – Függvény, névtelen függvény
  - FPE-5 – Magasabb rendű függvény

## Neves függvény 11, `filt_2` és `oper` (`dp_fun.exs`)

- A teljes megoldás új verziója az új részmegoldásokkal
 

```
def picked_5(xs, d) do
  f? = &(is_integer &1) and (rem &1, d) === 0
  f = &(&1 * &2)
  xs
  |> filt_2(f?)
  |> oper(f, d)
  |> Enum.sort(&>/2)
end
iex> Dp.Fun.picked_5(Enum.to_list(2..36 // 6), 4)
[192, 100, 32]
```

 Itt két névtelen két segédfüggvényt definiáltuk lokálisan, az `f?` és az `f` névhez kötve őket, de egy újabb verziójú `picked` függvény paraméterei is lehetnének. Ezzel a megoldásunk még flexibilisebb lenne.
- Az olyan függvényt, amelynek a paraméterei között függvényérték is van, *magasabb rendű* függvénynek hívjuk. Függvény eredménye is lehet függvényérték, ilyenkor is magasabb rendű függvényekről beszélünk.
- Következő témánk a magasabb rendű függvények.

## Magasabb rendű függvények: `map/2` és `filter/2` (`dp_fun.exs`)

- Magasabb rendű függvény: paramétere vagy eredménye függvény.
- A magasabb rendű függvények általánosított eszközök bonyolultabb feladatok egyszerű megoldására.
- *Magasabb rendű függvények használatával a rekurzió többnyire rejtve lesz csak jelen a programjainkban.*
- Az előbb definiált `oper/2` és `filt/2` a `map/2`, ill. a `filter/2` „előfutára”.
- `map/2` egy lista elemeit transzformálja, `filter/2` szűrővel kiválogatja az adott feltételnek megfelelő elemeket a listából:
 

```
def map([x|xs], f), do: [ f.(x) | map(xs, f) ]
def map([], _f), do: []

def filter([x|xs], p?), do:
  (if p?.(x), do: [ x | filter(xs, p?) ], else: filter(xs, p?))
def filter([], _p?), do: []
```
- Működésük megértéséhez már nincs szükség magyarázatra.<sup>36</sup>
- „Hivatalos” verziójuk az Elixirben: `Enum.map/2` és `Enum.filter/2`, tetszőleges felsorolható kollekciónak alkalmazhatók.

<sup>36</sup> Fejtörő: miért érdemes kétszer leírni a `filter(xs, p?)` hívást `filter/2` definíciójában?

## Egyszerű példák map/2-vel és filter/2-vel

```

iex> Enum.map([ "alma", "korte" ], &String.length/1)
[4, 5]
iex> Enum.map([ [10, 20], [10, 20, 30] ], &Enum.sum/1)
[30, 60]
iex> for s <- ["alma", "korte"], do: String.length(s) # map helyett
[4, 5]

```

Amikor perms/1-et a 'tér' karakterlistára alkalmaztuk, számlistát kaptunk eredményül (lásd 128. dia). Ezt map/2-vel könnyű sztringek listájává konvertálni:<sup>37</sup>

```

iex> (Fpea.perms ~c"tér") |> (Enum.map &List.to_string/1)
["tér", "tré", "étr", "ért", "rté", "rét"]
iex> Enum.filter([:x, 10, L, 20, {}], &is_number/1)
[10, 20]
iex> Enum.filter([:x, {7,3}, 10, L, 20, {}], &is_tuple/1)
[{7, 3}, {}]
iex> for i <- 10..50, rem(i,7) === 0, do: i # filter helyett
[14, 21, 28, 35, 42, 49]
iex> Enum.to_list 14..50 // 7 # az előző egyszerűbben, szűrés nélkül
[14, 21, 28, 35, 42, 49]

```

<sup>37</sup>A |> operátor túl nagy precedenciájú, ezért kell itt zárójelbe tenni a bal oldali argumentumát.

## Magasabb rendű függvények: foldr/3 és foldl/3

- Gyakran van szükség listákon vagy más kollekción aggregáló, redukáló műveletek elvégzésére, pl. egy lista elemeinek összeadására, összeszorzására, egy lista összes elemének egy másik elé fűzésére.
- Ilyenkor a listaelemeken tipikusan valamilyen kétoperandusú műveletet kell végrehajtani, pl.  $1+3+6+10+15+21$
- El lehet végezni balról jobbra vagy jobbról balra haladva:  
 $(((((0+1)+3)+6)+10)+15)+21 == 56$ ,  $(((((0+21)+15)+10)+6)+3)+1 == 56$   
 $(((((0-1)-3)-6)-10)-15)-21 == -56$ ,  $(((((0-21)-15)-10)-6)-3)-1 == -56$
- A kétféle sorrendet megvalósító függvényt foldl-nek, ill. foldr-nek szokás hívni (a másodikat reduce-nak is); a specifikációjuk azonos:  
 $@spec fold(xs::[any()], acc::any(), f::(x::any(), y::any()) -> r::any()) :: rs::[any()]$
- foldl balról jobbra, foldr jobbról balra halad végig a listán.
- Az f függvényt, ahol a 2. paraméternek kell az acc akkumulátornak lennie, minden lépésben a soron következő listaelemre és az akkumulátorra alkalmazzák.
- Nem asszociatív műveletek esetén f-ben a műveleti sorrend fontos! Pl.  $fn(x,acc) -> acc-x$  end vagy  $fn(x,acc) -> x-acc$  end más lesz a fold függvények eredménye.

foldr/3 és foldl/3<sup>38</sup> definíciója és használata (dp\_fun.exs)

```

R def sumr([x|xs], acc), do:
  (&+/2).(x, sumr(xs, acc))
  def sumr([], acc), do: acc
L def suml([x|xs], acc), do:
  suml(xs, (&+/2).(x, acc))
  def suml([], acc), do: acc

R def foldr([x|xs], acc, fun), do:
  fun(x, foldr(xs, acc, fun))
  def foldr([], acc, _fun), do: acc
L def foldl([x|xs], acc, fun), do:
  foldl(xs, fun.(x, acc), fun)
  def foldl([], acc, _fun), do: acc

```

## • Példák

```

iex> Dp.Fun.foldr([1,2,3,4], 1, &*/2) # 1*(2*(3*(4*1)))
24
iex> Dp.Fun.foldl([1,2,3,4], 1, &*/2) # 4*(3*(2*(1*1)))
24
iex> Dp.Fun.foldr([1,2,3,4], 0, &-/2) # 1-(2-(3-(4-0))), fn(x,acc)-> x-acc end
-2
iex> Dp.Fun.foldl([1,2,3,4], 0, &-/2) # 4-(3-(2-(1-0))), fn(x,acc)-> x-acc end
2
iex> Dp.Fun.foldr([1,2,3,4], 0, fn(x,acc)-> acc-x end) # (((0-4)-3)-2)-1
-10
iex> Dp.Fun.foldl([1,2,3,4], 0, fn(x,acc)-> acc-x end) # (((0-1)-2)-3)-4
-10

```

<sup>38</sup>Az Elixirben: List.foldr/3, List.foldl/3, továbbá Enum.reduce/2, Enum.reduce/3.

## További példák foldr/3 és foldl/3 használatára

## Példák listák összefűzésére

```

iex> {is, as} = {~c"indul", ~c"aludni"}
{~c"indul", ~c"aludni"}
iex> List.foldr(is, as, &([&1|&2])) # [?i|?n|?d|?u|?i|~c"aludni"]
~c"indulaludni"
iex> List.foldl(is, as, &([&1|&2])) # [?i|?u|?d|?n|?i|~c"aludni"]
~c"ludnialudni"
iex> List.foldl(is, [], &([&1|&2])) # [?i|?u|?d|?n|?i|]
~c"ludni"

```

- $&([&1|&2])$  a listakonstruktorból csinál névtelen függvényt: a második (lista-)paraméter elé fűzi az elsőt.
- Mivel foldr az első listaparaméter utolsó karakterével kezd, az 1. listát az eredeti sorrendben fűzi a 2. elé: eredménye azonos append/2-ével.
- foldl viszont az első listaparaméter első karakterével kezd, ezért az 1. listát fordított sorrendben fűzi a 2. elé: revapp/2 a szokásos neve, az Elixirben Enum.reverse/2 néven található meg.
- Ha foldl második paramétere az üres lista, akkor megfordítja az első listát: eredménye azonos Enum.reverse/1-ével.



## Záró megjegyzések a magasabb rendű függvényekről

- Amikor funkcionális nyelven egy listán pl. valamilyen összegzést végzünk, az imperatív nyelvekben megszokott *ciklus* helyett *rekurziót* használunk.
- Az alábbi jól ismert példában a rekurzió *explicit*, azaz megjelenik a programszövegben, a `sum/1` meghívását a futtatórendszer *rekurzív processzként* futtatja – hacsak a fordítóprogram át nem alakítja ciklussá:

```
def sum([], do: 0)
def sum([x|xs]), do: x + sum xs
iex> Dp.Fun.sum [1,2,3,4,5]
15
```

- Ha ugyanezt a feladatot pl. `List.foldl/3`-mal oldjuk meg, a programszöveg nem tartalmaz rekurziót:
- ```
iex> List.foldl([1,2,3,4,5], 0, &(&1 + &2))
15
```
- Lehet, hogy a futtatott kód rekurzív, lehet, hogy nem, nem tudhatjuk.
  - Mindenesetre a kódot sokkal könnyebb megérteni, sem programozóként, sem kódolvasóként nem kell a rekurzív megoldás megfejtésével bajlódni.

## Tartalom

- 12 Lineáris és elágazó rekurzió
  - FPE-5 – Rekurzív adatstruktúrák

## XII. rész

### Lineáris és elágazó rekurzió

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, bench
- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
- 12 Lineáris és elágazó rekurzió
- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

## Rekurzív adatstruktúrák

A rekurzív adatstruktúrák (adattípusok) alapvetően kétfélék.

- Lineáris rekurzív adatstruktúra (lista)
 

A funkcionális nyelvekben: beépített típus  
Megvalósítás: láncolt listával

  - Elixirben a beépített lista típusa: `@type list() :: [] | [any() | list()]`
  - *Ennessel is megvalósíthatjuk*, nevezzük veremnek: `@type lifo() :: :empty | {lifo(), any()} # last-in-first-out`
- Elágazó rekurzív adatstruktúra (fa)
 

Általában nem beépített típus a funkcionális nyelvekben, de többnyire vannak fák használatát segítő modulok (pl. Erlangban a `gb_tree`)

  - Bináris fa: `@type btree() :: :lf | {btree(), any(), btree()}`
  - Három ágú fa: `@type ttree() :: :lf | {ttree(), ttree(), ttree(), any()}`
  - Sok ágú fa (pl. egy listában vannak a csomópontokhoz tartozó fák): `@type ltree() :: :lf | {any(), [ltree()]}`

Az ennesselben az érték és az ágak sorrendje tetszőleges. Az érték lehetne csak a levélben vagy levélben is.

## Verem megvalósítása ennessel 1 (dp\_lifo.ex)

- Típusa: `@type lifo() :: :empty | {lifo(), any()} # last-in-first-out`
- Definíciók:
  - verem teteje = a verem tetején lévő elem
  - verem alja = a verem teteje alatti veremrész
- Műveletek:
  - üres verem létrehozása (`empty/0`)
  - a verem üres voltának vizsgálata (`is_empty/1`)

```
@spec empty() :: s::lifo()
```

```
# s az üres verem
```

```
def empty(), do: :empty
```

```
@spec is_empty(s::lifo()) :: b::boolean()
```

```
# b igaz, ha s üres
```

```
def is_empty(:empty), do: true
```

```
def is_empty({_s, _x}), do: false
```

## Verem megvalósítása ennessel 2 (dp\_lifo.ex)

- Típusa: `@type lifo() :: :empty | {lifo(), any()} # last-in-first-out`
- Műveletek:
  - egy elem berakása a verembe (`push/2`)
  - a verem alja (`pop/1`)
  - a verem teteje (`top/1`)

```
@spec push(s::lifo(), x::any()) :: s_new::lifo()
```

```
# s_new az x-szel megfejtelt s verem
```

```
def push(:empty, x), do: {:empty, x}
```

```
def push({_s, _x} = s, x), do: {s, x} # {_s, _x} = s: réteges minta
```

```
@spec pop(s::lifo()) :: s_new::(lifo() | nil)
```

```
# s_new az s verem alja, vagy nil, ha s üres
```

```
def pop(:empty), do: nil
```

```
def pop({s, _x}), do: s
```

```
@spec top(s::lifo()) :: x::(any() | nil)
```

```
# x az s verem teteje, vagy nil, ha s üres
```

```
def top(:empty), do: nil
```

```
def top({s, x}), do: x
```

## Kis példák a verem használatára 1 (dp\_lifo.ex)

Elemek berakása egy verembe

```
iex> s1 = Dp.Lifo.push(Dp.Lifo.empty(), 1)
```

```
{:empty, 1}
```

```
iex> s2 = Dp.Lifo.push(s1, 2)
```

```
{{:empty, 1}, 2}
```

```
iex> s3 = Dp.Lifo.push(s2, 3)
```

```
{{{:empty, 1}, 2}, 3}
```

Ugyanez tömörebben és érthetőbben:

```
iex> push = &Dp.Lifo.push/2; Dp.Lifo.empty() |> push.(1) |> push.(2) |> push.(3)
```

```
{{{:empty, 1}, 2}, 3}
```

## Kis példák a verem használatára 2 (dp\_lifo.ex)

Fordítsunk meg egy karakterlistát!

Emlékeztetül a `push` specifikációja:

```
@spec push(s::lifo(), x::any()) :: s_new::lifo().
```

1. lépés: a verembe betesszük az elemeket

```
iex> ~c"szöveg"
```

```
[115, 122, 246, 118, 101, 103]
```

```
iex> lifo = ~c"szöveg" \
```

```
|> List.foldl(Dp.Lifo.empty(), &(Dp.Lifo.push(&2,&1)))
```

```
{{{{{{:empty, 115}, 122}, 246}, 118}, 101}, 103}
```

2. lépés: a verem elemeit sorban kivesszük és listába fűzzük

```
@spec to_list(s::lifo()) :: ls::[any()]
```

```
# ls az s verem elemeit tartalmazó lista LIFO sorrendben
```

```
def to_list(:empty), do: []
```

```
def to_list({s, x}), do: [x | to_list(s)]
```

```
iex> Dp.Lifo.to_list(lifo)
```

```
[103, 101, 118, 246, 122, 115]
```

```
iex> Dp.Lifo.to_list(lifo) |> List.to_string
```

```
"gevozs"
```

## Rekurzív adatstruktúrák 2

A rekurzív adatstruktúrák (adattípusok) alapvetően kétfélék

- Lineáris rekurzív adatstruktúra (lista)  
A funkcionális nyelvekben: beépített típus  
Megvalósítás: láncolt listával
  - Elixirben a beépített lista típusa: `@type list() :: [] | [any() | list()]`
  - Ennessel is megvalósíthatjuk, nevezzük veremnek (last-in-first-out):  
`@type lifo() :: :empty | {lifo(), any()} # last-in-first-out`
- Elágazó rekurzív adatstruktúra (fa)  
Általában nem beépített típus a funkcionális nyelvekben, de többnyire vannak fák használatát segítő modulok (pl. Erlangban a `gb_tree`)
  - Bináris fa: `@type btree() :: :lf | {btree(), any(), btree()}`
  - Három ágú fa: `@type ttree() :: :lf | {ttree(), ttree(), ttree(), any()}`
  - Sok ágú fa (pl. egy listában vannak a csomópontokhoz tartozó fák):  
`@type ltree() :: :lf | {any(), [ltree()]}`

Az ennesekben az érték és az ágak sorrendje tetszőleges. Az érték lehetne csak a levélben vagy lehetne levélben is.

## Bináris fából lista preorder bejárással (dp\_tree.ex)

- Típusdefiníció (egy a sok lehetséges közül)  
`@type btree() :: :lf | {btree(), any(), btree()}`
- Jelölés (példák)  

```
bt1 = {:lf, :a, :lf}
bt2a = { {:lf, :c, :lf}, :b, :lf }
bt2b = {:lf, :e, {:lf, :f, :lf} }
bt2c = { {:lf, :h, :lf}, :g, {:lf, :i, :lf} }
bt2 = {bt2a, :a, {bt2b, :d, bt2c} }
```
- Bejárás (preorder)  
`@spec bt_to_list(btr :: btree()) :: xs :: [any()]`  
*# A btr fa preorder bejárásának eredménye az xs lista*  

```
def bt_to_list(:lf), do: []
def bt_to_list({bt, v, jt}), do:
  [v | bt_to_list(bt)] ++ bt_to_list(jt)
```
- Futtatás  

```
iex> Dp.Tree.bt_to_list(bt1)
[:a]
iex> Dp.Tree.bt_to_list(bt2)
[:a, :b, :c, :d, :e, :f, :g, :h, :i]
```

## Három ágú fából lista preorder bejárással (dp\_tree.ex)

- Típusdefiníció (egy a sok lehetséges közül)  
`@type ttree() :: :lf | {ttree(), ttree(), ttree(), any()}`
- Jelölés (példák)  

```
tt1 = {:lf, :lf, :lf, :a}
tt2a = { {:lf, :lf, :lf, :c}, :lf, :lf, :b }
tt2b = { {:lf, :lf, :lf, :d}, {:lf, :lf, :lf, :f}, :lf, :e }
tt2c = { {:lf, :lf, :lf, :h}, :lf, {:lf, :lf, :lf, :i}, :g }
tt2 = { tt2a, tt2b, tt2c, :a }
```
- Bejárás (preorder)  
`@spec tt_to_list(ttr :: ttree()) :: xs :: [any()]`  
*# A ttr fa preorder bejárásának eredménye az xs lista*  

```
def tt_to_list(:lf), do: []
def tt_to_list(bt, mt, jt, v), do:
  [v | tt_to_list(bt)] ++ tt_to_list(mt) ++ tt_to_list(jt)
```
- Futtatás  

```
iex> Dp.Tree.tt_to_list(tt1)
[:a]
iex> Dp.Tree.tt_to_list(tt2)
[:a, :b, :c, :d, :e, :f, :g, :h, :i]
```

## Sok ágú fából lista preorder bejárással (dp\_tree.ex)

- Típusdefiníció (egy a sok lehetséges közül)  
`@type ltree() :: :lf | {any(), [ltree()]}`
- Jelölés (példák)  

```
lt1 = {:lt, []}
lt2a = {:b, [{:c, []}, {:d, []}] }
lt2b = {:e, [{:f, []}] }
lt2c = {:g, [{:h, []}, {:i, []}] }
lt2 = {:a, [lt2a, lt2b, lt2c] }
```
- Bejárás (preorder)  
`@spec lt_to_list(ltr :: ltree()) :: xs :: [any()]`  
*# Az ltr fa preorder bejárásának eredménye az xs lista*  

```
def lt_to_list(:lf), do: []
def lt_to_list(v, ts), do:
  [v | Enum.concat(Enum.map(ts, &lt_to_list/1)) ]
```
- Futtatás  

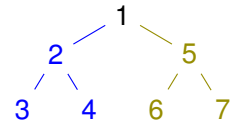
```
iex> {(Dp.Tree.lt_to_list :lf), Dp.Tree.lt_to_list lt1}
{[], [:a]}
iex> Dp.Tree.lt_to_list(lt2)
[:a, :b, :c, :d, :e, :f, :g, :h, :i]
```

## Egyszerű műveletek bináris fákon 1 (dp\_tree.ex)

- Legyen most ez a bináris fánk típusa:  
`@type btree2() :: :lf | {any(), btree2(), btree2()}`
- Fa létrehozása  
`@spec empty() :: btr:::lf`  
`# btr az egyetlen levélből álló üres fa`  
`def empty(), do: :lf`  
`@spec node(v: any(), lt::btree2(), rt::btree2()) :: btr::btree2()`  
`# btr a v értékből, az lt és az rt fákból összerakott fa`  
`node(v, lt, rt), do: {v, lt, rt}`
- Fa leveleinek és szintjeinek száma  
`@spec leaves_cnt(btr::btree2()) :: n::integer()`  
`# n a btr fa leveleinek száma`  
`def leaves_cnt(:lf), do: 1`  
`def leaves_cnt({_ ,lt,rt}), do: leaves_cnt(lt)+leaves_cnt(rt)`  
`@spec depth(btr::btree2()) :: d::integer()`  
`# d a btr fa mélysége, azaz szintjének száma`  
`def depth(:lf), do: 0`  
`def depth({_ ,lt,rt}), do: 1 + max(depth(lt), depth(rt))`

## Egyszerű műveletek bináris fákon 2 (dp\_tree.ex)

```
e=empty(), t=node(1, node(2, node(3,e,e),
                        node(4,e,e)),
                  node(5, node(6,e,e),
                        node(7,e,e)))
```

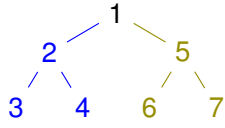


```
iex> e = &Dp.Tree.empty/0; n = &Dp.Tree.node/3; \
      t = n.(1, n.(2, n.(3, e.(), e.()), n.(4, e.(), e.())), \
          n.(5, n.(6, e.(), e.()), n.(7, e.(), e.()))
{1, {2, {3,:lf,:lf}, {4,:lf,:lf}}, {5, {6,:lf,:lf}, {7,:lf,:lf}}}
```

```
iex> Dp.Tree.leaves_cnt t
8
iex> Dp.Tree.depth t
3
```

## Műveletek bináris fákon: fából lista (dp\_tree.ex)

```
e=empty(), t=node(1, node(2, node(3,e,e),
                        node(4,e,e)),
                  node(5, node(6,e,e),
                        node(7,e,e)))
```



```
@spec to_list_preord(btr::btree2()) :: xs::[any()]
# A btr fa preorder bejárásának eredménye az xs lista
def to_list_preord(:lf), do: []
def to_list_preord({v,lt,rt}), do:
  [v] ++ to_list_preord(lt) ++ to_list_preord(rt)

@spec to_list_inord(btr::btree2()) :: xs::[any()]
# A btr fa inorder bejárásának eredménye az xs lista
def to_list_inord(:lf), do: []
def to_list_inord({v,lt,rt}), do:
  to_list_inord(lt) ++ ([v] ++ to_list_inord(rt))
```

```
iex> Dp.Tree.to_list_preord(t)
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
iex> Dp.Tree.to_list_inord(t)
[3, 2, 4, 1, 6, 5, 7]
```

## Műveletek bináris fákon: listából fa (dp\_tree.ex)

```
t = {1, {2, {3,:lf,:lf}, {4,:lf,:lf}}, {5, {6,:lf,:lf}, {7,:lf,:lf}}}
```

```
@spec from_list_preord(xs::[any()]) :: btr::btree2()
# btr az xs listából preorder sorrendben felépített fa
def from_list_preord([], do: empty())
def from_list_preord([x|xs]) do
  {l1s, l2s} = Enum.split(xs, div(length(xs), 2))
  node(x, from_list_preord(l1s), from_list_preord(l2s))
end

@spec from_list_inord(xs::[any()]) :: btr::btree2()
# btr az xs listából inorder sorrendben felépített fa
def from_list_inord([], do: empty())
def from_list_inord(xs) do
  {l1s, [x|l2s]} = Enum.split(xs, div(length(xs), 2))
  node(x, from_list_inord(l1s), from_list_inord(l2s))
end
```

```
iex> Dp.Tree.from_list_preord([1, 2, 3, 4, 5, 6, 7])
{1,{2,{3,:lf,:lf},{4,:lf,:lf}},{5,{6,:lf,:lf},{7,:lf,:lf}}}
```

```
iex> Dp.Tree.from_list_inord([3, 2, 4, 1, 6, 5, 7])
{1,{2,{3,:lf,:lf},{4,:lf,:lf}},{5,{6,:lf,:lf},{7,:lf,:lf}}}
```

## XIII. rész

# Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

- 10 Hasznos segédeszközök: mix, dialyzer, benchee
- 11 Függvény, névtelen függvény, magasabb rendű függvény
- 12 Lineáris és elágazó rekurzió
- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

## Tartalom

- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream
  - FPE-5 – A mohó és a lusta kiértékelés összevetése
  - FPE-5 – Tartomány (Range) típus
  - FPE-5 –Lusta farkú lista

## A mohó kiértékelés lépései

Egy összetett kifejezést az Elixir, mint láttuk, **balról jobbra haladva** az alábbi lépésekben értékeli ki **mohó** (eager, strict), más néven **applikatív sorrendű** (applicative order) kiértékeléssel, az alábbi rekurzív kiértékelési szabály szerint:

- 1 először **kiértékeli** – balról jobbra haladva – az **operátorkifejezést** (más néven függvénykifejezést) és az **aktuális paramétereit** (más néven argumentumait),
- 2 ezután az operátor (függvény) törzsében a **formális paraméterek** összes előfordulását **lecseréli az aktuális paraméterekre**,
- 3 végül **kiértékeli az operátor** (függvény) **törzsét**.

Kivétel: a lusta kiértékelésű `and` és `&&`, `or` és `||` műveletek.

## Függvényalkalmazás mohó kiértékelése

Nézzük például a következő egyszerű függvényeket:

```
defp sq(x), do: x * x
def sumsq(x, y), do: sq(x) + sq(y)
def f(a), do: sumsq(a+1, a*2)
```

Mohó kiértékelés esetén minden lépésben egy részkifejezést egy **vele egyenértékű** kifejezéssel helyettesítünk.

Pl. az  $f(5)$  **mohó** kiértékelésének ezek a lépései:<sup>39</sup>

$$f(5) \rightarrow \text{sumsq}(5+1, 5*2) \rightarrow \text{sumsq}(6, 5*2) \rightarrow \text{sumsq}(6, 10) \rightarrow \text{sq}(6) + \text{sq}(10) \rightarrow 6*6 + \text{sq}(10) \rightarrow 36 + \text{sq}(10) \rightarrow 36 + 10*10 \rightarrow 36 + 100 \rightarrow 136$$

- A függvényalkalmazás itt bemutatott **helyettesítési modellje**, az **egyenlők helyettesítése egyenlőkkel** (equals replaced by equals) segíti a függvényalkalmazás **jelentésének** megértését.
- Olyan esetekben alkalmazható, amikor egy függvény **jelentése független** a környezetétől (pl. ha minden mellékhatás ki van zárva).

<sup>39</sup> → a helyettesítést jelöli.

## Függvényalkalmazás lusta kiértékelése

- Egy összetett kifejezés kiértékelésére más lehetőség is van: a kiértékelést addig **halogatjuk**, ameddig csak lehetséges.

Ezt a kiértékelést **lusta** (lazy), más néven **szükség szerinti** (by need) vagy **normál sorrendű** (normal order) kiértékelésnek nevezzük. Nézzük az előző függvénydefiníciókat:

```
defp sq(x), do: x * x
def sumsq(x, y), do: sq(x) + sq(y)
def f(a), do: sumsq(a+1, a*2)
```

- Pl. az  $f(5)$  **lusta** kiértékelésének ezek a lépései:

$$f(5) \rightarrow \text{sumsq}(5+1, 5*2) \rightarrow \text{sq}(5+1) + \text{sq}(5*2) \rightarrow (5+1)*(5+1) + \text{sq}(5*2) \rightarrow (5+1)*(5+1) + (5*2)*(5*2) \rightarrow 6*(5+1) + (5*2)*(5*2) \rightarrow 6*6 + (5*2)*(5*2) \rightarrow 36 + (5*2)*(5*2) \rightarrow 36 + 10*(5*2) \rightarrow 36 + 10*10 \rightarrow 36 + 100 \rightarrow 136$$

## A mohó és a lusta kiértékelés összevetése

- Olyan esetekben, amelyekben az *egyenlők helyettesítése egyenlőkkel* modell alkalmazható, a kétféle kiértékelési sorrend azonos eredményt ad.
- Vegyük észre, hogy lusta (szükség szerinti) kiértékelésnél **egyes részkiefejezéseket néha többször is** ki kell értékelni.
- A többszörös kiértékelést a lusta kiértékelésű nyelveknél (pl. Haskell, Miranda, Alice) a jobb fordítóprogramok úgy kerülik el, hogy
  - az azonos részkiefejezéseket megjelölik,
  - amikor egy részkiefejezést először kiértékelnek, *az eredményét megjegyzik* (vö. memoization),
  - a többi előfordulásakor pedig ezt az eredményt veszik elő.

E módszer hátránya a nyilvántartás szükségessége, ezért nem is igazán terjedt el a programozási nyelvekben.

A lusta kiértékelés fő előnye a nagy méretű, esetleg végtelen adatstruktúrák, adatfolyamok hatékony kezelésének lehetősége.

## Tartalom

### 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream

- FPE-5 – A mohó és a lusta kiértékelés összevetése
- FPE-5 – Tartomány (Range) típus
- FPE-5 – Lusta farkú lista

## Tartomány (Range) típus

Idézzük föl!

Tartomány: egész számok sorozata a  $[start, end]$  tartományban.

Példák tartomány és lépésköz definiálására, használatára:

```
iex> {18..23, 18..-100, 7..27//3}
{18..23, 18..-100//-1, 7..27//3}
```

Tartomány-típusú érték esetén valójában **nem** tároljuk a teljes számsorozatot, hanem csupán a kezdő- és végértéket, valamint azt az *algoritmust*, amelyik, ha alkalmazsák, azaz mohó módon kiértékelik, a lépésköz ismeretében előállítja a sorozat elemeit a kívánt darabszámban, pl. egy listában.

```
iex> Enum.take(18..-100, 5)
[18, 17, 16, 15, 14]
iex> Enum.drop(7..27//3, 5)
[22, 25]
```

A tartomány-típusú érték tehát *lusta* kiértékelésű.

## Tartalom

- 13 Mohó és lusta kiértékelés, lusta farkú lista, Stream
  - FPE-5 – A mohó és a lusta kiértékelés összevetése
  - FPE-5 – Tartomány (Range) típus
  - FPE-5 –Lusta farkú lista

## Lusta farkú lista

### Lusta kiértékelés

- Amikor egy függvényt definiálunk, még nem értékeljük ki.
- Ahhoz, hogy kiértékeljük, *meg kell hívni*.
- A *függvény lusta kiértékelését* használjuk fel a lusta (farkú) lista létrehozásához.

### Lusta (farkú) lista

- Idézzük föl a `lifo()` típus definícióját, amivel valójában listát definiáltunk: `@type lifo() :: :empty | {lifo(), any()}`
- A `lifo()`-hoz hasonlóan definiálhatunk pl. `lazy_list()` néven egy lusta listát: `@type lazy_list() :: nil | {any(), () -> lazy_list()}`
- Ez a lista tehát azért lusta, mert a második tag (a fark) *kiértékelése* – a függvénydefiníció miatt – *késleltett* (vö. *delayed evaluation*).
- Ez a lista azonban csak *részben* lusta: a fej mindig kiértékelődik, a fark lusta. (Valóban lusta lista létrehozása még körülményesebb.)

## Lusta farkú lista feje, farka (dp\_lazy.ex)

- Lusta farkú lista feje
 

```
@spec head(xs::lazy_list()) :: x::any()
# Az xs lusta farkú lista feje x
def head({x, _xs}), do: x
```
- Lusta farkú lista farka
 

```
@spec tail(xs::lazy_list()) :: ys::lazy_list()
# Az xs lusta farkú lista farka ys
def tail({_z, ys}), do: ys.()
```
- Mindkét függvény egyetlen klózból áll!
- Az üres lusta listának nincs se feje, se farka, ezért nem kell hozzá klóz.

## Lusta farkú lista építése: sorozat 1 (dp\_lazy.ex)

- Végtelen számsorozat
 

```
@spec infseq(n::integer()) :: ys::lazy_list()
# Az n-nel kezdődő, egyesével növv egész számok lusta farkú listája ys
def infseq(n), do: {n, fn() -> infseq(n+1) end}
```
- Példák:
 

```
iex> l1s = Dp.Lazy.infseq(0)
{0, #Function<4.23268542/0 in Dp.Lazy.infseq/1>}
iex> Dp.Lazy.tail(l1s)
{1, #Function<4.23268542/0 in Dp.Lazy.infseq/1>}
iex> Dp.Lazy.tail(Dp.Lazy.tail(l1s))
{2, #Function<4.23268542/0 in Dp.Lazy.infseq/1>}
```

## Lusta farkú lista építése: sorozat 2 (dp\_lazy.ex)

- Véges számsorozat

```
@spec seq(m::integer(), n::integer()) :: ys::lazy_list()
# Az m-től n-ig egyesével növvő egész számok lusta farkú listája ys
def seq(m, n) when m <= n, do: {m, fn() -> seq(m+1, n) end}
def seq(_m, _n), do: nil
```

- Példák:

```
iex> Dp.Lazy.seq(1,1)
{1, #Function<8.23268542/0 in Dp.Lazy.seq/2>}
iex> Dp.Lazy.head(Dp.Lazy.seq(1,1))
1
iex> Dp.Lazy.tail(Dp.Lazy.seq(1,1))
nil
```

## Lista konvertálása 1 (dp\_lazy.ex)

- Elixir-listából lusta farkú lista
- Nagyon gyors: egyetlen függvényhívás!

```
@spec cons(ls::[any()]) :: ys::lazy_list()
# Az ls lista elemeiből álló lusta farkú lista ys
def cons([], do: nil)
def cons([x|xs], do: {x, fn() -> cons(xs) end}
```

- Példák

```
iex> l2s = Dp.Lazy.cons([1,2])
{1, #Function<1.23268542/0 in Dp.Lazy.cons/1>}
iex> t2s = elem(l2s, 1)
#Function<1.23268542/0 in Dp.Lazy.cons/1>
iex> t2s.()
{2, #Function<1.23268542/0 in Dp.Lazy.cons/1>}
iex> Dp.Lazy.tail(t2s.())
nil
```

## Lista konvertálása 2 (dp\_lazy.ex)

- Lusta farkú listából Elixir-lista
- Csak az első n elemét vesszük ki (ne feledjük, hogy a lusta farkú lista is lehet véges!)

```
@spec take(xs::lazy_list(), n::integer()) :: ls::[any()]
# Az xs lusta farkú lista első n eleméből álló lista ls
def take(_, 0), do: []
def take(nil, _), do: []
def take({x,_}, 1), do: [x] # Így nem kell kiértékelni a lista farkát40
def take({x,xs}, n), do: [x | take(xs.(), n-1)]
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.infseq(0), 5)
[0, 1, 2, 3, 4]
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.seq(1,2), 5)
[1, 2]
```

<sup>40</sup> Optimalizációs lépés; ez a klóz elhagyható.

## Függvények lusta listára adaptálva: sum (dp\_lazy.ex)

- Lusta farkú lista elemeinek összeadása (csak véges lusta farkú listákra!)

```
@spec sum(xs::lazy_list()) :: n::number()
# Az xs véges lusta farkú számlista elemeinek összege n
sum(xs), do: sum(xs, 0)
@spec sum(xs::lazy_list(), a::number()) :: n::number()
# Az xs véges lusta farkú számlista elemeinek és az a-nak az összege n
def sum(nil, a), do: a
def sum({x, xs}, a), do: sum(xs.(), a+x)
```



## Függvények lusta listára adaptálva: map (dp\_lazy.ex)

- Motiváció:

- listajelölő (komprehenzió) nem alkalmazható;
- lusta farkú lista szintaxisa ijesztő, nehézkes, ezért elrejtendő.

- map/2 lusta farkú listára

```
@spec map(f::() -> any()), ys::lazy_list() :: zs::lazy_list()
# Az ys elemeiből az f transzformációval előálló lusta farkú lista zs
def map(_, nil), do: nil
def map(f, {y,ys}), do: {f.(y), fn() -> map(f, ys.()) end}
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.infseq(12), 12)
[12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]
iex> mz = Dp.Lazy.map(&(rem(&1,3) === 0), Dp.Lazy.infseq(12))
{true, #Function<5.23268542/0 in Dp.Lazy.map/2>}
iex> Dp.Lazy.take(mz, 8)
[true, false, false, true, false, false, true, false]
```

## Függvények lusta listára adaptálva: filter (dp\_lazy.ex)

- filter/2 lusta farkú listára

```
@spec filter(p::() -> boolean()), ys::lazy_list() :: zs::lazy_list()
# Az ys p-vel megszürt elemeiből álló lusta farkú lista a zs
# Kicsit mohó, az eredménylista fejéig kiértékeli a listát
def filter(_, nil), do: nil
def filter(p, {y, ys}) do
  case p.(y) do
    true -> {y, fn() -> filter(p, ys.()) end}
    false -> filter(p, ys.()) # Megkeressük az eredmény fejét
  end
end
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.infseq(4), 12)
[4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]
iex> mz = Dp.Lazy.filter(&(rem(&1,3)===0), Dp.Lazy.infseq(4))
{6, #Function<3.83713946/0 in Dp.Lazy.filter/2>}
iex> Dp.Lazy.take(mz, 8)
[6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27]
```

## Függvények lusta listára adaptálva: append (dp\_lazy.ex)

- append/2 lusta farkú listára

```
@spec append(xs::lazy_list(), ys::lazy_list()) :: zs::lazy_list()
# Az xs lusta farkú lista ys (ugyancsak lusta farkú lista) elé
# fűzésével előálló lusta farkú lista zs. Ha xs nem véges, az
# összefűzés felesleges, az ys elemei elérhetetlenek lesznek
def append(nil, ys), do: ys
def append({x,xs}, ys), do: {x, fn() -> append(xs.(),ys) end}
```

- Példák

```
iex> mz = Dp.Lazy.append(Dp.Lazy.seq(3,6), Dp.Lazy.infseq(9))
{3, #Function<0.83713946/0 in Dp.Lazy.append/2>}
iex> Dp.Lazy.take(mz, 4)
[3, 4, 5, 6]
iex> Dp.Lazy.take(mz, 12)
[3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]
iex> mz = Dp.Lazy.append(Dp.Lazy.infseq(9), Dp.Lazy.seq(3,6))
{9, #Function<0.83713946/0 in Dp.Lazy.append/2>}
iex> Dp.Lazy.take(mz, 12)
[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]
```

## A lusta farkú lista és a mohó lista összehasonlítása

- Tárigénye csak a kiértékelt résznek van
- Lusta farkú lista teljes kiértékelése sokkal lassúbb lehet (késleltetés)
- Az időigénye azonban lehet kisebb is, ha nem kell teljesen kiértékelni

## Nevezetes számsorozatok 1 (dp\_lazy.ex)

- Fibonacci-sorozat

```
@spec fibs(curr::integer(), next::integer()) :: ys::lazy_list()
# ys egy olyan általánosított Fibonacci-sorozat (lusta
# farkú lista), amelynek első két tagja curr és next
def fibs(curr, next), do:
  {curr, fn() -> fibs(next, curr + next) end}
```

- Az n-edik Fibonacci-szám

```
@spec fib(n::integer()) :: f::integer()
# Az n-edik Fibonacci-szám f
def fib(n), do: nth(fibs(0,1), n)
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.fibs(0, 1), 10)
[0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34]
iex> f = &Dp.Lazy.fib/1; {f.(5), f.(6), f.(7), f.(8), f.(9)}
{5, 8, 13, 21, 34}
iex> Dp.Lazy.fib 100_000
25974069347221724166155034021275915414880485386517696...
```

## Nevezetes számsorozatok 2 (dp\_lazy.ex)

- Eratoszténészi szita

```
@spec sift(prime::integer(), ys::lazy_list()) :: zs::lazy_list()
# Az ys lusta farkú lista azon elemeinek listája a zs lusta farkú
# lista, melyek nem oszthatók prime-mal
def sift(prime, ys), do:
  filter(fn(n) -> rem(n, prime) != 0 end, ys)
```

```
@spec sieve(ys::lazy_list()) :: zs::lazy_list()
# A zs lusta farkú lista az ys nem véges lusta farkú
# lista "szitáltja" (üres listára kivételt dob)
def sieve({x, xs}), do: {x, fn() -> sieve(sift(x,xs.())) end}
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.sieve(Dp.Lazy.infseq 2), 10)
[2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29]
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.sieve(Dp.Lazy.infseq 2), 5000) \
  |> Enum.drop(4995)
[48563, 48571, 48589, 48593, 48611]
```

## Lusta append alkalmazása: lusta qsort (dp\_lazy.ex)

- Gyorsrendezés

```
@spec qsort(ys::lazy_list()) :: zs::lazy_list()
# Az ys lusta farkú lista rendezett változata zs
# Az append alkalmazása: ha csak a lista elejére van
# szükség, csak a lista elejét rendezi
def qsort(nil), do: nil
def qsort({pivot, ys}) do
  low = fn(x) -> x < pivot end
  high = fn(x) -> x >= pivot end
  append(
    qsort(filter(low, ys.())),
    {pivot, fn() -> qsort(filter(high, ys.())) end} )
end
```

- Példák

```
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.qsort(Dp.Lazy.cons([5,3,6,8,1,7])), 2)
[1, 3]
iex> Dp.Lazy.take(Dp.Lazy.qsort(Dp.Lazy.cons([5,3,6,8,1,7])), 5)
[1, 3, 5, 6, 7]
```

## Stream

Az Elixir *Stream* moduljában definiált függvények mind lusta kiértékelésűek: ha meghívjuk őket, egy olyan függvényt adnak eredményül, amelyet egy mohó kiértékelésű függvénynek kell meghívnia ahhoz, hogy megkapjuk a kívánt eredményt. Lássunk egy példát:

```
iex> Enum.into(1..5, [])
[1, 2, 3, 4, 5]
iex> Stream.into(1..5, [])
#Function<46.53678557/2 in Stream.into/3>
iex> Stream.into(1..5, []) |> Enum.to_list()
[1, 2, 3, 4, 5]
```

Ha nem egy teljes listára, hanem csak valamely hosszúságú prefixumaira van szükségünk egy adott feladatban, akkor sokkal hatékonyabb így tárolni a listákat, mert jóval kisebb a helyigényük (persze a futási idő megnő). Nagyon hasznosak a streamek nagy fájlok beolvasásakor (vö. *File.stream!*) vagy a processzek közötti kommunikációban, mert nem kell megvárni a teljes fájl beolvasását vagy a teljes üzenet átvitelét, a feldolgozás a fájlművelettel, ill. az üzenetküldéssel párhuzamosan megkezdődhet.

## XIV. rész

## Prolog alapok

## 14 Prolog alapok

## A kurzus Logikai Programozás (LP) része

- A Prolog LP nyelv alapjai
  - Szintaxis
  - Deklaratív szemantika
  - Procedurális szemantika (végrehajtási mechanizmus)
  - A legfontosabb beépített eljárások
  - Prolog programozási módszerek
- Haladó deklaratív programozás Prologban
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek
  - Kitekintés: új irányzatok a logikai programozásban

## A logikai programozás alap gondolata

- Logikai programozás (LP):
  - Programozás a matematikai logika segítségével
    - egy logikai program nem más mint **logikai állítások** halmaza
    - egy logikai program futása egy **következtetési folyamat**
  - De: a logikai következtetés óriási keresési tér bejárását jelenti. . .
    - Szorítsuk meg a logika nyelvét!
    - Válasszunk egyszerű, ember által is követhető következtetési algoritmust!
  - Az LP máig legelterjedtebb megvalósítása a már több mint 50 éves **Prolog = Programozás logikában (Programming in logic)**
    - az elsőrendű logika (First Order Logic, **FOL**) egy erősen megszorított résznyelve az ún. **definit-** vagy más néven **Horn-klózok**
    - végrehajtása (következtetés): **mintaillesztés**es eljáráshíváson alapuló **visszalépés**es keresés.
  - A Prolog nyelv mottója: „**WHAT** rather than **HOW**”

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
    - Prolog bevezetés – példák
    - A Prolog nyelv alapszintaxisa
    - Listakezelő eljárások Prologban
    - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
    - További vezérlési szerkezetek
    - Magasabbrendű eljárások
    - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
    - Operátorok
    - Meta-logikai eljárások

## A logikai és a funkcionális programozás összehasonlítása

### Mi a közös a funkcionális (FP) és logikai (LP) nyelvekben?

- 1 A matematikai változó fogalma: **egyetlen** még ismeretlen értéket jelöl, nem mutábilis (nem változtatható)
- 2 Ciklusok helyett: rekurzió, vagy más eszközök (pl. listanézet)

### Miben más az LP (ill. a Prolog) mint az FP megközelítés?

- 3 Az FP a lambda-kalkuluson alapul, az LP alapja az **elsőrendű logika** (FOL)
  - Az LP-ben függvények helyett **predikátumokat** (relációkat) kell definiálnunk, vö. adatbáziskezelés
  - Egy LP program futása 0, 1, vagy több eredményt adhat – **nemdeterminisztikus keresés**, vö. SQL lekérdezések
- 4 A Prolog szintaxisa kiterjeszhető – saját **új operátorokat** definiálhatunk
- 5 LP-ben ún. **logikai változókat** használunk, ezek a pointer-hez hasonló **adatstruktúrák**
- 6 Az LP különösen jó **szimbolikus** feladatokra (pl. szimbolikus deriválás)
- 7 Sok FP nyelv van, de praktikusán a Prolog az egyetlen LP nyelv

## Ismétlés: listák összefűzése

- A Prolog lista szintaxisa megegyezik az Elixir szintaxissal, de Prologban a változók kötelezően nagybetűvel vagy aláhúzásjellel (\_) kezdődnek
- Idézzük fel a két listát összefűző `app` **Elixir függvényt** (`app/2`):
 

```
# app(l1, l2): l1 és l2 listák összefűzöttje (l1⊕l2)
def app([], b) do b end # [] ⊕ b = b
def app([x|a], b) do [x|app(a,b)] end # [x|a] ⊕ b = [x|a⊕b]
```
- Ennek egy 3-argumentumú **Prolog predikátum** felel meg, (`app/3`), itt a 3. argumentum lesz az összefűzött lista (az **Elixir függvény** eredménye):
 

```
% app(L1, L2, L12): L1 és L2 listák összefűzöttje L12 (L1⊕L2=L12)
app([], B, B). % [] ⊕ B = B
app([X|A], B, [X|C]) :- % [X|A] ⊕ B = [X|C] ha
    app(A, B, C). % A ⊕ B = C
```
- A `c` segédváltozó az  $A \oplus B$  részeredményt tárolja.
- A **++ operátor** bevezetésével `app/3` átírható „funkcionális” formára:
 

```
:- op(800, xfy, ++). % (a ++ operátor gyengébben köt mint az = op!)
[] ++ B = B.
[X|A] ++ B = [X|C] :- A ++ B = C.
```
- De ez a **++** nem skatulyázható, az `[1]++[2]++[3]` eredménye nem jó

## Be- és kimenő argumentumok

- Az `app/3` predikátum az `app/2` Elixir függvény átírásával állt elő
- Ez a predikátum azonban használható más **módon** is, pl:
 

```
I ?- app(L1, L2, [1,2]).
L1 = [], L2 = [1,2] ? ;
L1 = [1], L2 = [2] ? ;
L1 = [1,2], L2 = [] ? ; no
```
- Az **I/O mód** jelölésrendszer a különböző módú hívások leírására:
  - **+**: bemenő (input) arg., a hívás pillanatában behelyettesített
  - **-**: kimenő (output) arg., a hívás pillanatában behelyettesítetlen
  - **?**: be- és kimenő arg., tetszőleges Prolog kifejezés lehet
- Példák az `app(L1, L2, L3)` hívás különböző módú hívásaira:
  - `(+,+,+)`: konkatenálás ellenőrzése, pl. `app([1], [2], [1,2]) ⇒ yes`
  - `(+,+,-)`: konkatenálás, pl. `app([1], [2], L3) ⇒ L3 = [1,2]`
  - `(+,-,+)`: adott prefixum ellenőrzése, pl. `app([1], L2, [1,2]) ⇒ L2 = [2]`
  - `(+,-,-)`: nyílt végű lista előállítás, pl. `app([1], L2, L3) ⇒ L3 = [1|L2]`
  - `(-,+,+)`: adott szuffixum ellenőrzése, pl. `app(L1, [2], [1,2]) ⇒ L1 = [1]`
  - `(-,-,+)`: lista szétszedése, pl. `app(L1, L2, [1,2]) ⇒ lásd fent`
  - `(-,?,-)`:  $\infty$  keresési tér: pl. `app(L1, [1], L3) ⇒ L1 = [], L3 = [1]?` ;  
`L1 = [A], L3 = [A,1]?` ; `L1 = [A,B], L3 = [A,B,1]?` ; ...

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Operátorok
  - Meta-logikai eljárások

## A Prolog alapelemei: a családi kapcsolatok példája

- Adottak személyekre vonatkozó, adatbázis-szerű állítások, pl.

„gyerek–szülő” tábla

gyerek	szülő
Imre	István
Imre	Gizella
István	Géza
István	Sarolt
Gizella	C. Henrik
Gizella	B. Gizella

„férfiak” tábla

férfi
Imre
István
Géza
C. Henrik

- Rövidítések feloldása: C. Henrik ⇒ Civakodó Henrik,  
B. Gizella ⇒ Burgundi Gizella
- Definiáljuk az unoka–nagyözülő kapcsolatot, azaz hozzunk létre egy származtatott (virtuális) „unoka–nagyözülő” táblát!

## A nagyözülő feladat — Prolog megoldás

- Egy Prolog program állításokból, ún. **klózk**ból (**clause**) áll
- A legegyszerűbb klóz a **tényállítás** (**fact**), formája:  
 $relációnév(Arg_1, \dots, Arg_n).$  (ez egy **klózf**ej)
- A relációnév egy **névkonstans** (**atom**): kisbetűvel kezdődő azonosító vagy aposztrófok közé zárt tetsz. karaktersorozat (első közelítésben)
- Az argumentumok lehetnek névkonstansok, változók, stb.
- A változókat nagybetűvel kezdődő azonosítókkal – pl. **Gy**, **Sz** – jelöljük
- Az Imre herceg őseit leíró adatbázis-táblák Prolog alakja:
 

<pre>% sz(Gy, Sz): Gy szülője Sz. sz('Imre', 'Gizella'). % (sz1) sz('Imre', 'István'). % (sz2) sz('István', 'Sarolt'). % (sz3) sz('István', 'Géza'). % (sz4) sz('Gizella', 'B. Gizella'). % (sz5) sz('Gizella', 'C. Henrik'). % (sz6)</pre>	<pre>% ffi(Személy): Személy férfi. ffi('Imre'). % (f1) ffi('István'). % (f2) ffi('Géza'). % (f3) ffi('C. Henrik'). % (f4)</pre>
---	--
- A predikátumok **jelentését** egy **% fejkomment**-tel írjuk le, **/\* ez is komment \*/**
- Azonos nevű és argumentumszámú klózk sorozata egy **predikátumot** alkot, pl. a fenti klózk az **sz/2** ill. **ffi/1** predikátumokat

## A nagyözülő feladat — Prolog megoldás (folyt.)

- A klózk másik fajtája az ún. **szabály** (**rule**), formája:  
 $klózf\text{ej} :- cél_1, \dots, cél_k. \quad \% klózf\text{ej} \leftarrow cél_1 \wedge \dots \wedge cél_k$   
 $\% \sim\text{klóztörzs}\text{--}\wedge$
- A **cél** (**goal**), más néven **hívás** (**call**) szintaxisa (azonos a **klózf**ej-ével):  
 $relációnév(Arg_1, \dots, Arg_n)$
- A „nagyözülője” kapcsolatot definiáló szabály:  

```
% Gyerek nagyözülője Nagyszulo.
nsz(Gyerek, Nagyszulo) :- % Gyerek nagyözülője Nagyszulo ha  $\exists$  Szulo
    sz(Gyerek, Szulo), % Gyerek szülője Szulo és
    sz(Szulo, Nagyszulo). % Szulo szülője Nagyszulo (nsz)
```
- Egy program futtatásához egy **célsorozat**ot (lekérdezést) kell megadni:  

```
% Ki Imre nagyapja? (pontosabban Ki Imre férfi nagyözülője?)
| ?- nsz('Imre', NA), ffi(NA). NA = 'C. Henrik' ? ;
NA = 'Géza' ? ; no

% Ki Géza unokája?
| ?- nsz(U, 'Géza'). U = 'Imre' ? ; no

% Ki Imre nagyözülője?
| ?- nsz('Imre', NSz). NSz = 'B. Gizella' ? ;
NSz = 'C. Henrik' ? ;
NSz = 'Sarolt' ? ; NSz = 'Géza' ? ; no
```

## Deklaratív szemantika – klózk logikai alakja

- A **szabály** jelentése egy implikáció: a törzsbeli célok **konjunkciójából** **következik** a fej.
  - Példa:  $nsz(Gy, NSz) :- sz(Gy, Sz), sz(Sz, NSz).$
  - Logikai alak:  $\forall Gy, NSz, Sz (nsz(Gy, NSz) \leftarrow sz(Gy, Sz) \wedge sz(Sz, NSz))$
  - Ekvivalens alak:  $\forall Gy, NSz (nsz(Gy, NSz) \leftarrow \exists Sz (sz(Gy, Sz) \wedge sz(Sz, NSz)))$
- A **tényállítás** feltétel nélküli állítás, pl.
  - Példa:  $sz('Imre', 'István').$
  - Logikai alakja változatlan
  - Ebben is lehetnek változók, ezeket is univerzálisan kell kvantálni
- A **célsorozat** jelentése: keressük azokat a változó-behelyettesítéseket amelyek esetén a célok konjunkciója igaz
- Egy célsorozatra kapott válasz **helyes**, ha az adott behelyettesítésekkel a célsorozat következménye a program logikai alakjának – **WHAT**
- A Prolog garantálja a helyességet, de a **teljességet** nem: nem biztos, hogy minden megoldást megkapunk (kaphatunk hibajelzést, végtelen ciklust, végtelen keresési teret stb.) – **HOW**

## Procedurális szemantika: az ún. redukciós modell

**Redukciós lépés:** egy  $CS_i$  célsorozat **visszavezetése**  $CS_{i+1}$ -re úgy, hogy

$$CS_i \leftarrow \text{Program} \wedge CS_{i+1}$$

Pl. az (1) célsorozat **redukciója** az (nsz) programklózzal (2)-t eredményezi:

```
:- nsz('Imre', NA),                ffi(NA).           (kiinduló célsorozat) (1)
:- sz('Imre', Sz1), sz(Sz1, NA), ffi(NA).           (redukált célsorozat) (2)
```

- A klózt **lemásoljuk**, a változókat szisztematikusan újakra cserélve  
 $nsz(\text{Gy1}, \text{NSz1}) :- sz(\text{Gy1}, \text{Sz1}), sz(\text{Sz1}, \text{NSz1}).$  (nsz')
  - (1)-et szétbontjuk, első cél:  $nsz('Imre', NA)$ , maradék célsor.:  $ffi(NA)$ .
  - Az első célt **egyesítjük** a klózfejjel, azaz változók behelyettesítésével a klózfejjel azonos alakra hozzuk (**kétirányú** mintaillesztés):  
 behelyettesítés:  $\text{Gy1} = 'Imre'$ ,  $\text{NSz1} = NA$ , közös alak:  $nsz('Imre', NA)$
  - Ha az egyesítés sikertelen, akkor a redukciós lépés meghiúsul, egyébként behelyettesítjük a klóztörzset:  $sz('Imre', Sz1)$ ,  $sz(Sz1, NA)$  és a maradék célsorozatot is (ebben most nincs változás):  $ffi(NA)$
  - Új célsorozat = klóztörzs és utána a maradék célsorozat (lásd fenn, (2))
- Az (1)  $\rightarrow$  (2) redukciós lépés értelmezhető az (nsz) „makró” kifejtéseként. . .

## További redukciós lépések

A (2) célsorozat **redukciója** az (sz1) programklózzal:

```
:- sz('Imre', Sz1), sz(Sz1, NA), ffi(NA).           (2)
```

- Az (sz1) klóz nem tartalmaz változót, így nem szükséges lemásolni:  
 $sz('Imre', 'Gizella') /* :- (üres klóztörzs) */.$  (sz1)
- (2) első célja:  $sz('Imre', Sz1)$ , maradék célsor.:  $sz(Sz1, NA), ffi(NA)$ .
- Az első célt **egyesítjük** a klózfejjel  
 behelyettesítés:  $\text{Sz1} = 'Gizella'$ , közös alak:  $sz('Imre', 'Gizella')$
- A behelyettesített maradék:  $sz('Gizella', NA), ffi(NA)$ .
- Az új célsorozat: az (sz1) klóz (üres) törzse + a maradék célsorozat:  
 $:- sz('Gizella', NA), ffi(NA).$  (3)  
 (Tényállítással redukálva 1-gyel csökken a célsorozat hossza!)
- (3)-at redukálva (sz6)-tal ( $sz('Gizella', 'C. Henrik')$ ). ) a  $NA = 'C. Henrik'$  behelyettesítést kapjuk, az új célsorozat:  
 $:- ffi('C. Henrik').$  (4)
- (4)-et redukálva (f4)-gyel ( $ffi('C. Henrik')$ ). ) üres célsorozatot ( $\square$ ) kapunk. Ezzel megállapítottuk, hogy az  $NA = 'C. Henrik'$  egy megoldás (1)-re.

## A nagyszülő példa végrehajtása – egy teljes levezetés

```
% sz(Gy, Sz): Gy szülője Sz.
sz('Imre', 'Gizella'). % (sz1)
sz('Imre', 'István'). % (sz2)
sz('István', 'Sarolt'). % (sz3)
sz('István', 'Géza'). % (sz4)
sz('Gizella', 'B. Gizella'). % (sz5)
sz('Gizella', 'C. Henrik'). % (sz6)

% ffi(Személy): Személy férfi.
ffi('Imre'). % (f1)
ffi('István'). % (f2)
ffi('Géza'). % (f3)
ffi('C. Henrik'). % (f4)

% Gy nagyszülője NSz.
nsz(Gy, NSz) :- sz(Gy, Sz), sz(Sz, NSz). % (nsz)

(1) :- nsz('Imre', NA), ffi(NA). (nsz): (1) ← (2)
(2) :- sz('Imre', Sz1), sz(Sz1, NA), ffi(NA). (sz1): (2) ← (3)
      Sz1 = 'Gizella'
(3) :- sz('Gizella', NA), ffi(NA). (sz6): (3) ← (4)
      NA = 'C. Henrik'
(4) :- ffi('C. Henrik'). (f4): (4) ← (5)
(5)  $\square$  (5) azonosan igaz
```

Bebizonyítottuk, hogy (1) teljesül az  $NA = 'C. Henrik'$  behelyettesítés esetén

## A nagyszülő példa – a válasz követése az answer cél segítségével

```
% sz(Gy, Sz): Gy szülője Sz.
sz('Imre', 'Gizella'). % (sz1)
sz('Imre', 'István'). % (sz2)
sz('István', 'Sarolt'). % (sz3)
sz('István', 'Géza'). % (sz4)
sz('Gizella', 'B. Gizella'). % (sz5)
sz('Gizella', 'C. Henrik'). % (sz6)

% ffi(Személy): Személy férfi.
ffi('Imre'). % (f1)
ffi('István'). % (f2)
ffi('Géza'). % (f3)
ffi('C. Henrik'). % (f4)

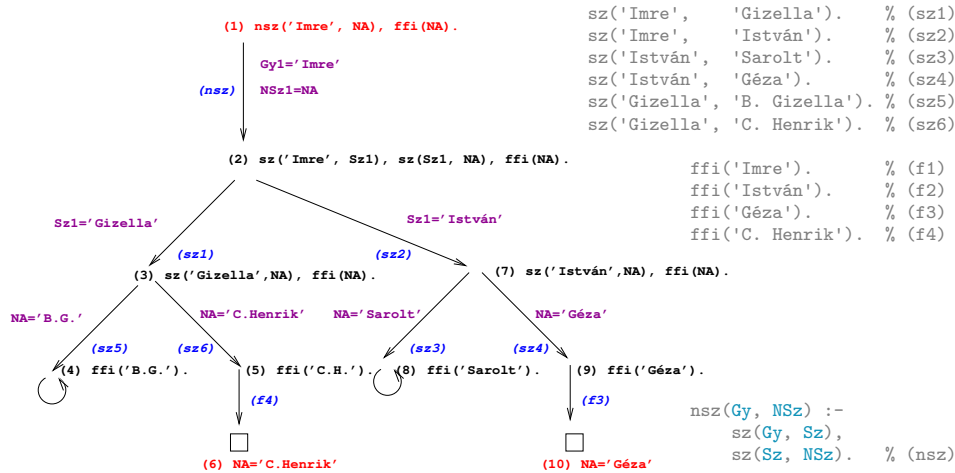
% Gy nagyszülője NSz.
nsz(Gy, NSz) :- sz(Gy, Sz), sz(Sz, NSz). % (nsz)

(1) :- nsz('Imre', NA), ffi(NA), answer(NA). (nsz): (1) ← (2)
(2) :- sz('Imre', Sz1), sz(Sz1, NA), ffi(NA), answer(NA). (sz1): (2) ← (3)
(3) :- sz('Gizella', NA), ffi(NA), answer(NA). (sz6): (3) ← (4)
(4) :- ffi('C. Henrik'), answer('C. Henrik'). (f4): (4) ← (5)
(5) :- answer('C. Henrik'). A lekérdezés sikeres
```

A futás végén az **answer** „virtuális” cél tartalmazza a választ.

## A nagyszülő példa végrehajtása – keresési tér

- A Prolog minden lehetséges redukción szisztematikusan végigpróbál,
- balról jobbra haladó mélységi keresés formájában.



## A Prolog végrehajtási algoritmus – első közelítés

Egy célsorozat végrehajtása

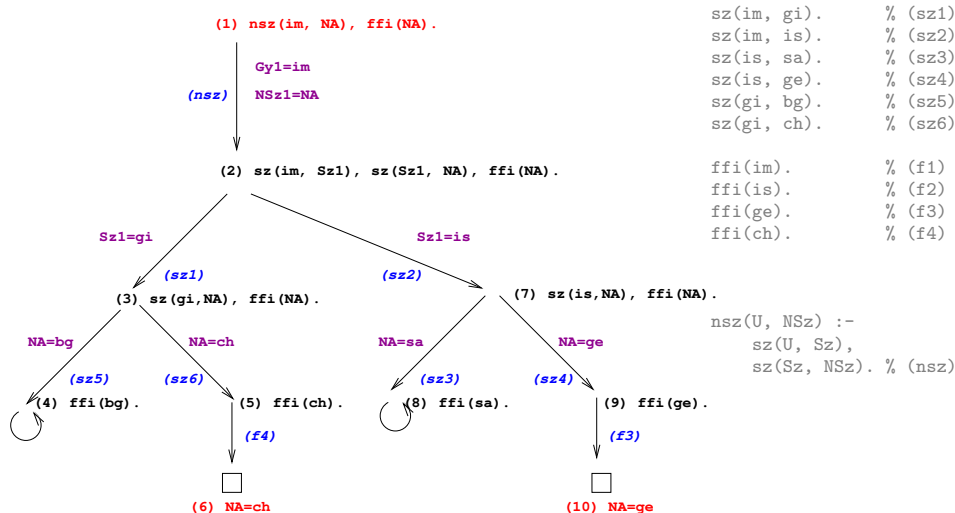
1. Ha az **első** cél beépített eljárást (BIP) hív, végrehajtjuk a BIP-et.
2. Ha az **első** cél felhasználói eljárásra vonatkozik, akkor megkeressük az eljárás **első** (visszalépés után: következő) olyan klózáat, amelynek feje egyesíthető a hívással, és végrehajtjuk a redukción.
3. Ha a redukción sikeres (találunk egyesíthető fejű klózt), folytatjuk a végrehajtást 1.-től az új célsorozattal.
4. Ha a redukción meghiúsul, akkor visszalépés következik:
  - visszatérünk a legutolsó, felhasználói eljárással történt (sikeres) redukción lépéshez,
  - annak **bemeneti** célsorozatát megpróbáljuk **újabb** klózzal redukálni – ugrás a 2. lépésre (Ennek meghiúsulása értelemszerűen újabb visszalépést okoz.)

A végrehajtás nem „intelligens”

- PI. :- nsz(Gy, 'Géza'). hatékonyabb lenne ha a klóz törzsét **jobbról balra** hajtánánk végre
- DE: így a **végrehajtás a program írója számára** átlátható; a Prolog nem **tételbizonyító**, hanem programozási nyelv (**WHAT** rather than **HOW**)

## A nagyszülő példa „tömörített” változata

- Imre herceget és felmenőit kétbetűs atomokkal jelöljük:  
Imre ⇒ im, Gizella ⇒ gi, István ⇒ is, Sarolt ⇒ sa, Géza ⇒ ge,  
Burgundi Gizella ⇒ bg, Civakodó Henrik ⇒ ch.



## A cél-redukcións modell alapfogalmai

- A végrehajtás bemenete:
  - egy Prolog program (klózkok sorozata), pl. a „nagyszülő” program, és
  - egy célsorozat, pl. :- nsz(im, Sz).
 a megoldás meghatározása érdekében ezt egy utolsó, **answer**(Megoldás) fiktív céllal bővítjük ki, pl.
 

```
:- nsz(im, NSz), answer(NSz). % Kik Imre nagyszülei?
:- sz(Gy, Sz), answer(Gy-Sz). % Mik a gyerek-szülő párok?
```
- Az **answer(...)** cél segítségével követhetjük a megoldás felépülését
- Ha a célsorozat már csak az **answer** célt tartalmazza, akkor eljutottunk egy megoldáshoz (ezt a szerepet korábban az üres célsorozat játszotta)
- Az **answer** csak egy elméleti eszköz, nem beépített elj., de definálhatjuk, így: **answer(M) :- write(M), nl, fail.**
- A végrehajtásnak többféle kimenetele lehetséges:
  - Hiba (kivétel, exception), pl. :- Y = alma, X is Y+1. (Ezzel most nem foglalkozunk részletesebben.)
  - Meghiúsulás (nincs megoldás), pl. :- sz(ge, Sz), **answer**(Sz).
  - Siker (1 vagy több megoldás), pl. :- sz(im, Sz), **answer**(Sz).
- A végrehajtási modell gyakorlása ⇒ <https://ait.plwin.dev/P1-1>

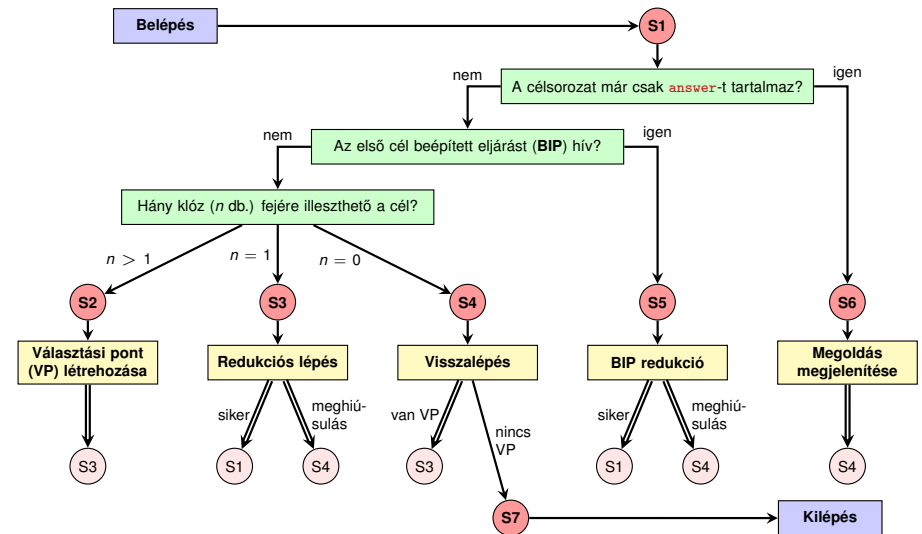
## A redukciós végrehajtás alapfogalmai (folyt.)

- A végrehajtás által használt (imperatív!) adatstruktúrák:
  - a jelenlegi célsorozatot tartalmazó változó (Goal)
  - a választási pontokat (VP) tartalmazó verem (Choice point stack)
- Például a `nsz(im, NA)`, `ffi(NA)`, `answer(NA)` célsorozat végrehajtásakor az alábbi VP verem jön létre:

Choice point stack			
ChPoint name	Clause list		Goal
CHP2	[sz5,sz6]	(3)	sz(gi, NA), ffi(NA), answer(NA).
CHP1	[sz1,sz2]	(2)	sz(im, sz), sz(Sz, NA), ffi(NA), answer(NA).

- A VP verem akkor mélyül, ha 2 vagy több klózzal lehet redukálni
  - a redukció előtt a veremre elmentjük a célsorozatot és a redukcióban használható klózzok listáját, majd folytatjuk a végrehajtást
  - ennek megghiúsulása esetén
    - a verem tetején levő klózzal elhagyjuk az első elemet,
    - a klózzal folytatjuk a redukciót,
    - ezt megelőzően, ha egyelemű a klózzlista, megszüntetjük a VP-t
    - ha megghiúsuláskor üres a VP-verem  $\Rightarrow$  kimerítettük a keresési teret

## A redukciós modell folyamatábrája



A kettős nyilak jelentése: ugrás a rózsaszínű körben megadott lépésre (folytatás a megfelelő piros körnél).

## Megjegyzések a folyamatábrához

- Hétféle végrehajtási lépésünk van: **S1–S7**, ahol **S1** a kiindulási pont (de közbülső is), **S7** a végállapot.
- S1** alapvető feladata az elágaztatás **S2–S6** egyikére
  - ha `Goal` már csak az `answer(...)` elemet tartalmazza  $\Rightarrow$  **S6**;
  - ha az első cél beépített eljárást hív  $\Rightarrow$  **S5**;
  - egyébként az első cél felhasználói eljárást hív. Ekkor megvizsgáljuk (általában *csak közelítően*), hogy az eljárás mely klózzainak fejére illeszthető az első cél, és ezek száma ( $n$ ) szerint  $\Rightarrow$  **S2**, **S3** vagy **S4**.
- S2** létrehoz egy VP-t, majd az első klózzal redukál ( $\Rightarrow$  **S3**).
- S3** megghiúsulhat, ha **S1**-ben  $n$  csak közelítés volt, ilyenkor  $\Rightarrow$  **S4**.
- S4** a VP-ban eltárolt következő klózzal való redukcióra lép ( $\Rightarrow$  **S3**), ha van ilyen; egyébként befejezi a végrehajtást ( $\Rightarrow$  **S7**).
- S5** az **S3** lépéssel analóg módon vagy  $\Rightarrow$  **S1**, vagy  $\Rightarrow$  **S4**.
- S6**-ban a megoldás megjelenítése után visszalépéssel folytatjuk ( $\Rightarrow$  **S4**, további megoldások keresése).

## A Prolog adatfogalma, a Prolog kifejezés (term)

- konstans (**atomic**)
  - számkonstans (**number**) – egész/lebegőpontos, pl. 1, -2.3, 3.0e10
  - névkonstans (**atom**), pl. 'István', szuloje, +, - tree\_sum
  - egy *C* konstans **funktora** *C/0*
- összetett- vagy struktúra-kifejezés (**compound**)
  - ún. kanonikus alak:  $\langle \text{struktúranév} \rangle (\langle \text{arg}_1 \rangle, \dots, \langle \text{arg}_n \rangle)$ 
    - a  $\langle \text{struktúranév} \rangle$  egy névkonstans, az  $\langle \text{arg}_i \rangle$  argumentumok tetszőleges Prolog kifejezések
    - a kifejezés **funktora**:  $\langle \text{struktúranév} \rangle / n$
    - példák: `person(ian,smith,2003)`,  $\langle (X,Y) \rangle$ , `is(X, +(Y,1))`
  - szintaktikus „édesítőszerek”, pl. operátorok és listák: `X is Y+1`  $\equiv$  `is(X, +(Y,1))`, ill. `[1,2,3|X]`  $\equiv$  `.(1,.(2,.(3,X)))`
- változó (**var**), pl. `Valtozo`, `X`, `_var`, `_` (don't care) (**nincs funktora**)
  - a változó alaphelyzetben behelyettesíthető, értékkel nem bír, egyesítés során egy tetszőleges Prolog kifejezést (akár egy másik változót) vehet fel értékül – **dinamikus típusfogalom**
  - a változó „first class citizen”, előfordulhat egy struktúra argumentumaként – **logikai változó** minta  $\equiv$  adat



## Néhány alapvető beépített eljárás (Built-In-Procedure, BIP)

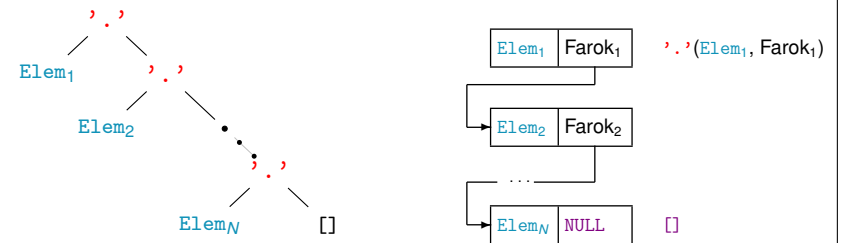
- Kifejezések egyesítése
  - $X = Y$ : az  $X$  és  $Y$  **szimbolikus** kifejezések egyesítése  $\equiv$  azonos alakra hozása változók esetleges behelyettesítésével, a lehető legáltalánosabb módon
  - $X \backslash= Y$ : az  $X$  és  $Y$  kifejezések **nem** egyesíthetőek (nem hozhatók azonos alakra)
 

```
| ?- U+V = 1+(2*3). => U = 1, V = 2*3
| ?- U-V = (8-4)-2. => U = 8-4, V = 2
| ?- U+1 = 4+V. => U = 4, V = 1 ? % Kétirányú a mintaillesztés!
| ?- U+1 \= V+4. => yes % szimbolikus kifejezések, a + nem kommutatív!
```
- Típusvizsgálatot végző beépített predikátumok
  - `var(X)`:  $X$  változó (nonvar(X):  $X$  nem változó)
  - `atomic(X)`:  $X$  konstans
    - `number(X)`:  $X$  szám (`float(X)`:  $X$  lebegőp., `integer(X)`:  $X$  egész)
    - `atom(X)`:  $X$  névkonstans
  - `compound(X)`:  $X$  összetett kifejezés
 

```
| ?- X = 1, atomic(X), number(X), integer(X). => yes
| ?- atomic(X), X = 1. => no (What rather than How)
```

## A Prolog lista-fogalma

- A Prolog lista
  - Az üres lista a `[]` névkonstans.
  - A nem-üres lista a `'.'` (**Fej**, **Farok**) struktúra:
    - **Fej** a lista feje (első eleme), míg
    - **Farok** a lista farka, azaz a fennmaradó elemekből álló lista.
  - A listákat egyszerűsítve is leírhatjuk („szintaktikus édesítés”).
  - Megvalósításuk optimalizált, időben és helyben is hatékonyabb.
- A listák fastruktúra alakja és megvalósítása



- Az SWI Prolog nem szabványos, a lista-konstruktor nem `'.'`, hanem `'[]'` :-(((

## Listák jelölése – szintaktikus „édesítőszerkezetek”

- Az alapvető édesítés: `(Fej, Farok)` helyett a `[Fej|Farok]` kifejezést írjuk
- Kiterjesztés  $N$  darab „fej”-elemre, a skatulyázás kiküszöbölése: `[Elem1 | [... | [ElemN|Farok] ...]]`  $\implies$  `[Elem1, ..., ElemN|Farok]`
- Ha a farok `[]`, a „| `[]`” jelsorozat elhagyható: `[Elem1, ..., ElemN|[]]`  $\implies$  `[Elem1, ..., ElemN]`
- Egy `Kif` Prolog kifejezés **nyílt végű lista**, ha `Kif` változó, vagy `Kif = [_|Farok]` ahol `Farok` nyílt végű lista (azaz ha előbb-utóbb egy változó található a farokpozíción)

```
| ?- [1,2] = [X|Y]. => X = 1, Y = [2] ?
| ?- [1,2] = [X,Y]. => X = 1, Y = 2 ?
| ?- [1,2,3] = [X|Y]. => X = 1, Y = [2,3] ?
| ?- [1,2,3] = [X,Y]. => no
| ?- [1,2,3,4] = [X,Y|Z]. => X = 1, Y = 2, Z = [3,4] ?
| ?- L = [1|_], L = [_|2|_]. => L = [1,2|_A] ? % nyílt végű!
| ?- L = .(1, [2,3|[]]). => L = [1,2,3] ?
| ?- L = [1,2|. (3, [])]. => L = [1,2,3] ?
```

## Egy egyszerű listakezelő eljárás

```
% unalmas(Lista, X): Lista minden eleme = X % Ekvivalens eljárás
unalmas([], _X). unalmas([], _).
unalmas([H|T], X) :- unalmas([X|T], X) :-
    H = X, unalmas(T, X).

| ?- unalmas([1,2,3], _). => no
| ?- unalmas([2,2,2], 1). => no
| ?- unalmas([2,2,2], 2). => yes
| ?- unalmas([2,2,2], X). => X = 2 ? ; no
| ?- L=[_,_,_], unalmas(L, 3). => L = [3,3,3] ? ; no
| ?- L=[_,_,_], unalmas(L, X). => L = [X,X,X] ? ; no
| ?- length(L, 10), unalmas(L, X). => L = [X,X,X,X,X,X,X,X,X,X] ? ; no
| ?- length(L, 10), unalmas(L, X), X = 5.
    => L = [5,5,5,5,5,5,5,5,5,5], X = 5 ? ; no
```

## Lista-komprehenzió: megoldások listába gyűjtése

- A `findall`(Gyűjtő, Cél, Lista) eljárás
  - a `Cél` kifejezést eljáráshívásként értelmezi;
  - a `Cél` eljárást meghívja, és minden sikeres lefutása után a `Gyűjtő` adatstruktúra másolatát elmenti;
  - a `Cél` hívás keresési terének kimerítéskor a `Gyűjtő` változó összes elmentett másolatát (a keletkezésük sorrendjében) egy listába gyűjti és ezt egyesíti a `Lista` kimenő paraméterrel.
- Példák az eljárás használatára:
 

```
| ?- findall(NSz, nsz('Imre', NSz), NSzk).
    => NSzk = ['B. Gizella', 'C. Henrik', 'Sarolt', 'Géza'] ? ; no
| ?- findall(Sz, sz('István', Sz), Szulok).
    => Szulok = ['Sarolt', 'Géza'] ? ; no
| ?- findall(Gy, sz(Gy, 'István'), Gyerekek).
    => Gyerekek = ['Imre'] ? ; no
| ?- findall(Gy, sz(Gy, 'Imre'), Gyerekek).
    => Gyerekek = [] ? ; no
```
- Ha nincs megoldás, akkor egy üres listát kapunk eredményül.

## Aritmetikai beépített eljárások

- Egy aritmetikai kifejezés<sup>41</sup> (`AKif`) a BIP **végrehajtásakor** kötelezően:
  - tömör (`ground`) – behelyettesítetlen változót nem tartalmaz;
  - csak számokból és megengedett aritmetikai függvényekből áll
- A legfontosabb (2-arg.-ú) függvények: `+`, `-`, `*`, `/` (lebegőp. eredményt ad), `//` (egész-osztás, 0 felé kerekít), `rem` (maradék, `//` szerint)
- `X is AKif`: Az `AKif` aritmetikai kif. értékét egyesíti `X`-szel, pl.
 

```
| ?- X = 2, Y is X+1.           => X = 2, Y = 3 ?; no
| ?- Y is X+1, X = 2.         => ! instantiation error
| ?- 3 is 2+1.               => yes
| ?- 1+3 is 2+1.             => no % a bal oldalt nem értékeli ki!
| ?- X = 1, Y is (X-27) rem (X+2). => X = 1, Y = -2 ?; no
| ?- Kif = X/(X-1), X = 6, Y is Kif. => Kif = 6/(6-1), X = 6, Y = 1.2 ?; no
```
- További aritmetikai BIP-ek: `AKif1 < AKif2`, `AKif1 > AKif2`, `AKif1 =< AKif2` (vigyázat: nem `<=`), `AKif1 >= AKif2`, `AKif1 := AKif2` (aritmetikailag egyenlő), `AKif1 =\= AKif2` (aritmetikailag nem-egyenlő) – ezek **mindkét** oldalt kiértékelik, és elvégzik a kért összehasonlítást:
 

```
| ?- 1+3 := 6-2.             => yes
| ?- 1+1 =\= 6/3.           => no
```

<sup>41</sup>pl. [https://sicstus.sics.se/sicstus/docs/latest/html/sicstus/ref\\_002dari\\_002daex.html](https://sicstus.sics.se/sicstus/docs/latest/html/sicstus/ref_002dari_002daex.html)

## Példa: faktoriális számítása Prologban

- Funkc. nyelven a faktoriális egy 1-argumentumú függvény: `F = fakt(N)`
  - Prologban ennek egy kétargumentumú reláció felel meg: `fakt(N, F)`
  - Konvenció: az utolsó argumentum(ok) a kimenő paraméter(ek)
  - Idézzük föl a faktoriális függvény Elixir megvalósítását:
 

```
def fakt0(0) do 1 end
def fakt0(n) when n > 0 do n * fakt0(n-1) end
```
  - Írjuk át úgy, hogy a `fakt0` hívás különüljön el az egyéb számításoktól:
 

```
def fakt1(0) do 1 end
def fakt1(n) when n > 0 do n1 = n-1; f1 = fakt1(n1); f = f1*n; f end
```
  - Az „`F = fakt1(N)`”  $\Rightarrow$  `fakt(N, F)` transzformáció adja a Prolog kódot:
 

```
% fakt(N, F): F = N!.
fakt(0, 1).           % 0! = 1.
fakt(N, F) :-        % N! = F ha létezik olyan N1 és F1, hogy
  N > 0, N1 is N-1,  % N > 0 és N1 = N-1 és
  fakt(N1, F1),      % F1 = N1! és
  F is F1*N.         % F = F1*N.
```
- ```
| ?- fakt(5, F). => F = 120 ? ; no
| ?- fakt(4, 24). => yes
| ?- fakt(0, F). => F = 1 ? ; no
| ?- fakt(0, 2). => no
| ?- fakt(N, 1). => N = 0 ? ;
! Inst. err...
```

## Aritmetika plusz lista-komprehenzió

Egy korábbi Elixir példa: pitagoraszai számhármakok

```
:- use_module(library(between)). % SWI Prologban elhagyandó
```

```
% pitag(N, Hármakok):
% Hármakok = { p(A,B,C) | 1 =< A < B < C =< N, A*A + B*B = C*C }
pitag(N, Pk) :-
  findall(
    p(A,B,C),
    ( between(1, N, A),
      between(1, N, B), A < B,
      between(1, N, C), A+B+C =< N,
      A*A + B*B := C*C ),
    Pk).
```

```
| ?- pitag(12, Pk). => Pk = [p(3,4,5)] ? ; no
| ?- pitag(36, Pk).
    => Pk = [p(3,4,5), p(5,12,13), p(6,8,10), p(9,12,15)] ? ; no
```

## Programfejlesztési beépített predikátumok

- `consult(File)`: A `File` állományban levő programot beolvassa és értelmezendő alakban eltárolja. (`File = user`  $\Rightarrow$  terminálról olvas.)
- `compile(File)` vagy `[File]`: mint `consult`, csak kompilált alakban tárol (gyorsabb kód, de egyes BIP-ek nem nyomkövethetők)
- `trace, notrace`: A (teljes) nyomkövetést be- ill. kikapcsolja.
- `listing` vagy `listing(Predikátum)`: Az értelmezendő alakban eltárolt összes ill. adott nevű predikátumokat kilistázza.
- `halt`: A Prolog rendszer befejezi működését.

```
> sicstus
SICStus 4.4.1 (x86_64-linux-glibc2.12) ...
| ?- consult(fakt).
% consulted /home/user/fakt.pl in module user, 10 msec 91776 bytes
yes
| ?- fakt(4, F).
F = 24 ? ;
no
| ?- listing(fakt).
(...)
yes
| ?- halt.
>
```

## Adatstruktúrák Prologban – a bináris fák példája

- A bináris fa adatstruktúra
  - vagy egy csomópont (`node`), amelynek két részfája van (`left, right`)
  - vagy egy levél (`leaf`), amely egy egészt tartalmaz

### Binárisfa-struktúra C-ben

```
enum treetype {Node, Leaf};
struct tree {
    enum treetype type;
    union {
        struct { struct tree *left;
                 struct tree *right;
                } nd;
        struct { int value;
                } lf;
    } u;
};
```

A Prolog dinamikusan típusos nyelv – nincs szükség explicit típusdefinícióra

- Mercury típusleírás (komment)
 

```
% :- type tree --->
%     node(tree, tree)
%     | leaf(int).
```
- A típushoz tartozás ellenőrzése
 

```
% is_tree(T): T egy bináris fa
is_tree(leaf(V)) :- integer(V).
is_tree(node(Left,Right)) :-
    is_tree(Left),
    is_tree(Right).
```

## Bináris fák összegzése

- Egy bináris fa levélösszegének kiszámítása:
  - egylevelű fa esetén a levélben tárolt egész
  - csomópont esetén a két részfa levélösszegének összege

```
% S = tsum(T): T levélösszege S
int tsum(struct tree *tree)
{
    switch(tree->type) {
    case Leaf:
        return tree->u.lf.value;
    case Node:
        return tsum(tree->u.nd.left) +
            tsum(tree->u.nd.right);
    }
}
```

```
% tree_sum(Tree, S):  $\Sigma$  Tree = S.
tree_sum(leaf(Value), Value).
tree_sum(node(Left,Right), S) :-
    tree_sum(Left, S1),
    tree_sum(Right, S2),
    S is S1+S2.
| ?- tree_sum(node(leaf(5),
                node(leaf(3),
                    leaf(2))), S).
S = 10 ? ;
no
| ?- tree_sum(T, 3).
T = leaf(3) ? ;
! Inst. error in argument 2 of is/2
! goal: 3 is _73+_74
```

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Operátorok
  - Meta-logikai eljárások

## Predikátumok, klózik

- Példa:

```
% két klózból álló predikátum definíciója, funktora: tree_sum/2
tree_sum(leaf(Val), Val).           %           1. klóz, tényáll.
tree_sum(node(Left,Right), S) :- % fej \
    tree_sum(Left, S1),           % cél \ |
    tree_sum(Right, S2),          % cél | törzs | 2. klóz, szabály
    S is S1+S2.                  % cél / /
```

- Szintaxis:

```
< Prolog program > ::= < predikátum > ...
< predikátum > ::= < klóz > ... {azonos funktorú}
< klóz > ::= < tényállítás > .␣ |
           < szabály > .␣ {klóz funktora = fej funktora}
< tényállítás > ::= < fej >
< szabály > ::= < fej > :- < törzs >
< törzs > ::= < cél >, ...
< cél > ::= < kifejezés >
< fej > ::= < kifejezés >
```

## Prolog kifejezések

- Példa – egy klózfej mint kifejezés:

```
% tree_sum(node(Left,Right), S) % összetett kif., funktora
% -----
% | | |
% struktúranév \ argumentum, változó
% \- argumentum, összetett kif.
```

- Szintaxis:

```
< kifejezés > ::= < változó > | {Nincs funktora}
               < konstans > | {Funktora: < konstans >/0}
               < összetett kif. > | {Funktora: < struktúranév >/< arg.sz. >}
               < egyéb kifejezés > {Operátoros, lista, stb.}
< konstans > ::= < névkonstans > |
               < számkonstans >
< számkonstans > ::= < egész szám > |
                  < lebegőp. szám >
< összetett kif. > ::= < struktúranév > ( < argumentum >, ... )
< struktúranév > ::= < névkonstans >
< argumentum > ::= < kifejezés >
```

## Lexikai elemek: példák és szintaxis

```
% változó: Fakt FAKT _fakt X2 _2 _
% névkonstans: fakt ≡ 'fakt' 'István' [] ; ', ' += ** \= ≡ '\\='
% számkonstans: 0 -123 10.0 -12.1e8
% nem névkonstans: !=, Istvan
% nem számkonstans: 1e8 1.e2

< változó > ::= < nagybetű > < alfanum. jel > ... |
              _ < alfanum. jel > ...
< névkonstans > ::= ' < idézett kar. > ... ' |
                 < kisbetű > < alfanum. jel > ... |
                 < tapadó jel > ... | ! | ; | [] | {}
< egész szám > ::= {előjeles vagy előjeltelen számjegysorozat}
< lebegőp.szám > ::= {belsejében tizedespontot tartalmazó
                    számjegysorozat esetleges exponenssel}
< idézett kar. > ::= {tetszőleges nem ' és nem \ karakter} |
                  \ < escape szekvencia >
< alfanum. jel > ::= < kisbetű > | < nagybetű > | < számjegy > | _
< tapadó jel > ::= + | - | * | / | \ | $ | ^ | < | > | = | ` | ~ | : | . | ? | @ | # | &
```

## Prolog programok formázása

- Megjegyzések (comment)

- A % százalékjeltől a sor végéig
- A /\* jelpártól a legközelebbi \*/ jelpárig.

- Formázó elemek (komment, szóköz, újsor, tabulátor stb.) szabadon használhatók, kivételek:

- összetett kifejezésben a név után tilos formázó elemet tenni
- prefix operátor (ld. később) és „(” között kötelező a formázó elem
- klózt lezáró pont (.): önmagában álló pont (ha előtte tapadó jel áll, akkor a pont elé formázó elemet kell tenni), amit legalább egy formázó elem követ

- Programok javasolt formázása:

- Az egy predikátumhoz tartozó klózik legyenek egymás mellett a programban, közéjük ne tegyünk üres sort
- A predikátum elé tegyünk egy üres sort és egy fejkommentet:
 

```
% predikátumnév(A1, ..., An): A1, ..., An közötti
% összefüggést leíró kijelentő mondat.
```
- A klózfejet írjuk a sor elejére, minden célt lehetőleg külön sorba, néhány szóközzel beljebb kezdve

## Elixir és Prolog: néhány eltérés és hasonlóság

| Elixir                                                               | Prolog                                            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| függvény, értéke tetsz. típusú                                       | predikátum, azaz Boole-értékű függvény            |
| arg. bemenő, a fv.érték kimenő                                       | arg.-ok bemenők és kimenők is                     |
| egyetlen visszatérési érték                                          | választási pontok, több megoldás lehet            |
| különböző, lista típusok                                             | a lista is összetett kifejezés                    |
| nincsenek felh. operátorok                                           | felhasználói operátorok definiálhatók             |
| Az = jobb oldalán tömör kif., bal oldalon mintakif.; őrfeltételekkel | az egyesítés szimmetrikus, mindkét oldalon minták |

- Néhány hasonlóság:
  - az eljárás is klózból áll, kiválasztás mintaillesztéssel, sorrendben, de míg Elixirben csak az **első** illeszkedő klózfej számít, Prologban az **összes**
  - változóhoz csak egyszer köthető érték
  - lista szintaxisa (de: Elixirben önálló típus), sztring (fűzér), atom

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Operátorok
  - Meta-logikai eljárások

Listák összefűzése – az `append/3` eljárás

- Elixir megoldás:

```
def append([], b) do
  b
end
def append([x|a], b) do
  c = append(a,b); [x|c]
end
```

- Írjuk át a kétargumentumú `append` függvényt egy `app0/3` Prolog eljárássá!
 

```
% app0(A, B, C): A és B listák összefűzése a C lista, C = A ⊕ B
app0([], B, Ret) :- Ret = B.
app0([X|A], B, Ret) :-
  app0(A, B, C), Ret = [X|C].
```
- Logikailag tiszta Prolog programokban a `Vált = Kif` alakú hívások elhagyhatók, ha `vált` többi előfordulását `kif`-re cseréljük.
 

```
app([], B, B).
app([X|A], B, [X|C]) :-
  app(A, B, C).
```
- Mindkét eljárásban a (max) futási idő arányos az 1. arg. hosszával
- Miért jobb az `app/3` mint az `app0/3`?
  - `app/3` **jobbrekurzív**, ciklussal ekvivalens (nem fogyaszt vermet)
  - `app([1,...,1000],[0],[2,...])` 1, `app0(...)` 1000 lépésben hiúsul meg.
  - `app/3` használható szétszedésre is (lásd később), míg `app0/3` nem.

Lista építése *előlről* – nyílt végű listákkal

- Ismétlés:** egy `X` Prolog kifejezés **nyílt végű lista**, ha `X` változó, vagy `X = [_|Farok]` ahol `Farok` nyílt végű lista.
 
$$| \text{?- } L = [1|_], L = [_|2|_]. \implies L = [1,2|_A] ?$$
- A beépített `append/3` azonos az `app/3`-mal:
 

```
append([], B, B).
append([X|A], B, [X|C]) :-
  append(A, B, C).
```
- Az `append` eljárás már az első redukciónál felépíti az eredmény fejét!
  - Példa-célsorozat: `append([1,2], [3,4,5], Ered), answer(Ered)`.
  - Fej: `append([X|A], B, [X|C])`
  - Behelyettesítés: `X = 1, A = [2], B = [3,4,5], Ered = [1|C]`
  - Új célsorozat: `append([2], [3,4,5], C), answer([1|C])`.  
(`Ered` nyílt végű lista, farka még behelyettesítetlen.)

### Lista építése *előlről* – a megvalósítás részletei

- A kimenő paraméter behelyettesítését explicitté tehetjük:
 

```
app1([], B, L) :- % (a1)
                L = B.
app1([X|A], B, L) :- % (a2)
                L = [X|C],
                app1(A, B, C).
```
- Egy `app1/3` eljáráshívás redukciós lépései:
 

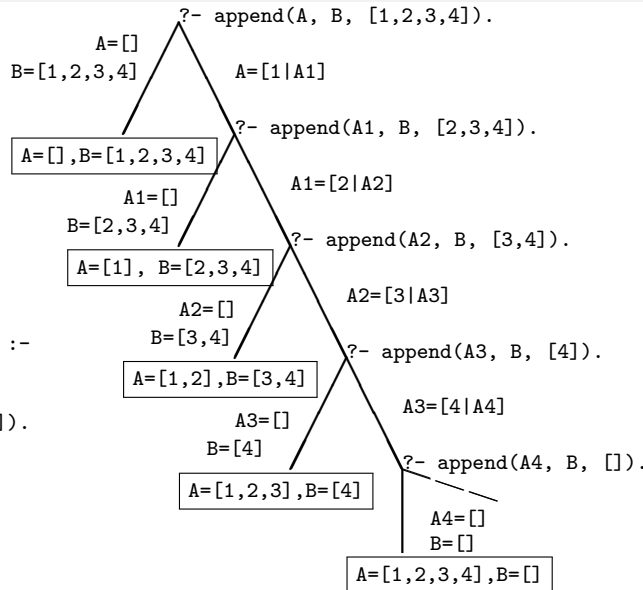
```
:- app1([1,2], [3,4,5], Ered), answer(Ered). % (cs0)
:- Ered = [1|C1], app1([2], [3,4,5], C1), answer(Ered). % (cs1)
:- app1([2], [3,4,5], C1), answer([1|C1]). % (cs2)
:- C1 = [2|C2], app1([], [3,4,5], C2), answer([1|C1]). % (cs3)
:- app1([], [3,4,5], C2), answer([1,2|C2]). % (cs4)
:- C2 = [3,4,5], answer([1,2|C2]). % (cs5)
:- answer([1,2,3,4,5]). % (cs6)
```

### Be- és kimenő argumentumok

- Az `append/3` predikátum az `append/2` Elixir függvény átírásával állt elő
- Ez a predikátum azonban használható más **módon** is, pl:
 

```
| ?- append(L1, L2, [1,2]).
L1 = [], L2 = [1,2] ? ;
L1 = [1], L2 = [2] ? ;
L1 = [1,2], L2 = [] ? ; no
```
- Ismétlés: **I/O módok** a különböző irányú hívások leírására:
  - **+**: bemenő (input) arg., a hívás pillanatában behelyettesített (**nonvar**)
  - **-**: kimenő (output) arg., a hívás pillanatában behelyettesítetlen (**var**)
  - **?**: be- és kimenő arg., tetszőleges Prolog kifejezés lehet
- Példák az `append(L1, L2, L3)` hívás különböző módú hívásaira:
  - (+,+,+): ellenőrzés, pl. `append([1], [2], [1,2]) => yes`
  - (+,+,-): konkatenálás, pl. `append([1], [2], L3) => L3 = [1,2]`
  - (+,-,+): adott prefixum ellenőrzése, pl. `append([1], L2, [1,2]) => L2 = [2]`
  - (+,-,-): nyílt végű lista előállítás, pl. `append([1], L2, L3) => L3 = [1|L2]`
  - ...
  - (-,-,+): lista szétszedése, pl. `append(L1, L2, [1,2]) => lásd fent`
  - (-,-,-):  $\infty$  keresés!, pl. `append(L1, L2, L3) => L1 = [], L3 = L2? ;`  
`L1 = [A], L3 = [A|L2]? ; L1 = [A,B], L3 = [A,B|L2]? ; ...`

### Listák szétbontása az `append/3` segítségével



```
% append(L1, L2, L3) :
% Az L3 lista az L1 és L2
% listák elemeinek egymás
% után fűzésével áll elő.
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
    append(L1, L2, L3).

| ?- append(A, B, [1,2,3,4]).
A = [], B = [1,2,3,4] ? ;
A = [1], B = [2,3,4] ? ;
A = [1,2], B = [3,4] ? ;
A = [1,2,3], B = [4] ? ;
A = [1,2,3,4], B = [] ? ;
no
```

### Nyílt végű listák az `append` változatokban

```
app0([], L, L).
app0([X|L1], L2, R) :-
    app0(L1, L2, L3), R = [X|L3].
```

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
    append(L1, L2, L3).
```

- Ha az 1. argumentum zárt végű ( $n$  hosszú), mindkét változat legfeljebb  $n + 1$  lépésben egyértelmű választ ad, amely lehet nyílt végű:
 

```
| ?- app0([1,2], L2, L3). => L3 = [1,2|L2] ? ; no
```
- A 2. arg.-ot nem bontjuk szét  $\implies$  mindegy, hogy nyílt vagy zárt végű
- Ha a 3. argumentum zárt végű ( $n$  hosszú), akkor az `append` változat legfeljebb  $n + 1$  megoldást ad, max.  $\sim 2n$  lépésben (ld. előző dia); tehát:
  - `append(L1, L2, L3)` keresési tere véges, ha **L1 vagy L3 zárt**
- Ha az 1. és a 3. arg. is nyílt, akkor a válaszalmaz csak végtelen sok Prolog kifejezéssel fedhető le, pl.
 

```
_  $\oplus$  [1] = L ( $\equiv$  L utolsó eleme 1): L = [1]; [_ , 1]; [_ , _ , 1]; ...
```
- `app0` szétszedésre nem jó, mert pl. `app0(L, [1], []) =>  $\infty$  ciklus`, hiszen redukálva a 2. klózzal  $\implies$  `app0(L1, [1], L3), [] = [X|L3]`.
- Az `append` eljárás jobbrekurzív, hála a logikai változó használatának

## Variációk append-re – három lista összefűzése (kieg. anyag)

- `append(L1,L2,L3,L123): (L1 ⊕ L2) ⊕ L3 = L123`  
`append(L1, L2, L3, L123) :-`  
`append(L1, L2, L12), append(L12, L3, L123).`
- Lassú, pl.: `append([1,...,100],[1,2,3],[1],L)` 103 helyett 203 lépés!
- Szétszedésre nem alkalmas – végtelen választási pontot hoz létre
- Szétszedésre is alkalmas, hatékony változat  
`% L1 ⊕ (L2 ⊕ L3) = L123,`  
`% ahol vagy L1 és L2, vagy L123 adott (zárt végű).`  
`append(L1, L2, L3, L123) :-`  
`append(L1, L23, L123), append(L2, L3, L23).`
  - `append(+,+,?,?)` esetén az első `append/3` hívás nyílt végű listát ad:  
`| ?- append([1,2], L23, L). ⇒ L = [1,2|L23] ?`
  - Az `L3` argumentum behelyettesítettsége (nyílt vagy zárt végű lista-e) nem számít.

## Listák megfordítása

- Naív (négyzetes lépésszámú) megoldás  
`% nrev(L, R): R = L megfordítása.`  
`nrev([], Ret) :- Ret = [].`      `% def nrev([], Ret) do [] end`  
`nrev([X|L], Ret) :-`      `% def nrev([x|l], Ret) do`  
`nrev(L, RL),`      `%      rl = nrev(l);`  
`append(RL, [X], Ret).`      `%      append(rl, [x]) end`
- Lineáris lépésszámú megoldás  
`% revapp(L0, R0, R): L0 megfordítását R0 elé fűzve kapjuk R-t.`  
`revapp([], R0, R) :- R = R0.`      `% def revapp([], r0) do r0 end`  
`revapp([X|L0], R0, R) :-`      `% def revapp([x|l0], r0) do`  
`revapp(L0, [X|R0], R).`      `%      revapp(l0, [x|r0]) end`  
`% reverse(R, L): Az R lista az L megfordítása.`  
`reverse(R, L) :- revapp(L, [], R).`
- `revapp`-ban `RO`, `R` egy akkumulátorpár: eddigi ill. végeredmény
- A `lists` könyvtár tartalmazza a `reverse/2` eljárás definícióját, betöltése:  
`:- use_module(library(lists)).`

## Listák gyűjtése előlről és hátulról (kieg. anyag)

- Prolog  
`revapp([], L, L).`  
`revapp([X|L0], L2, L3) :-`  
`revapp(L0, [X|L2], L3).`      `||`  
`append([], L, L).`  
`append([X|L1], L2, [X|L3]) :-`  
`append(L1, L2, L3).`
- C++  

```
struct lnk { char elem;
            lnk *next;
            lnk(char e): elem(e) {} };

typedef lnk *list;
list revapp(list L1, list L2)
{ list l = L2;
  for (list p=L1; p; p=p->next)
  { list newl = new lnk(p->elem);
    newl->next = l; l = newl;
  }
  return l;
}
```

`||`  

```
list append(list L1, list L2)
{ list L3, *lp = &L3;
  for (list p=L1; p; p=p->next)
  { list newl = new lnk(p->elem);
    *lp = newl; lp = &newl->next;
  }
  *lp = L2; return L3;
}
```

## Keresés listában – a `member/2` beépített eljárás

- `member(E, L): E az L lista eleme`  
`member(Elem, [Elem|_]).`  
`member(Elem, [_|Farok]) :-`  
`member(Elem, Farok).`
- Eldöntendő (igen-nem) kérdés:  
`| ?- member(2, [1,2,3,2]). ⇒ yes`      **DE**  
`| ?- member(2, [1,2,3,2]), R=yes. ⇒ R=yes ? ; R=yes ? ; no`
- Lista elemeinek felsorolása:  
`| ?- member(X, [1,2,3]). ⇒ X = 1 ? ; X = 2 ? ; X = 3 ? ; no`  
`| ?- member(X, [1,2,1]). ⇒ X = 1 ? ; X = 2 ? ; X = 1 ? ; no`
- Listák közös elemeinek felsorolása – az előző két hívásformát kombinálja:  
`| ?- member(X, [1,2,3]),`  
`member(X, [5,4,3,2,3]). ⇒ X = 2 ? ; X = 3 ? ; X = 3 ? ; no`
- Egy értéket egy (nyílt végű) lista elemévé tesz, végtelen választás!  
`| ?- member(1, L). ⇒ L = [1|_A] ? ; L = [_A,1|_B] ? ;`  
`L = [_A,_B,1|_C] ? ; ...`
- A `member/2` keresési tere **véges**, ha 2. argumentuma zárt végű lista.

## A member/2 predikátum általánosítása: select/3

- `select(E, Lista, M)`: E elemet Listából **pont egyszer** elhagyva marad M.  
`select(E, [E|Marad], Marad). % Elhagyjuk a fejet, marad a farkok.`  
`select(E, [X|Farok], [X|M]) :- % Marad a fej,`  
`select(E, Farok, M). % a farokból hagyunk el elemet.`
- Felhasználási lehetőségek:
  - | `?- select(1, [2,1,3,1], L).` % Adott elem elhagyása  
 $\Rightarrow L = [2,3,1] ? ; L = [2,1,3] ? ; no$
  - | `?- select(X, [1,2,3], L).` % Akármelyik elem elhagyása  
 $\Rightarrow L=[2,3], X=1 ? ; L=[1,3], X=2 ? ; L=[1,2], X=3 ? ; no$
  - | `?- select(3, L, [1,2]).` % Adott elem beszűrése!  
 $\Rightarrow L = [3,1,2] ? ; L = [1,3,2] ? ; L = [1,2,3] ? ; no$
  - | `?- select(3, [2|L], [1,2,7,3,2,1,8,9,4]).`  
`% Beszűrhető-e 3 az [1,...]-ba úgy, hogy [2,...]-t kapjunk?`  
 $\Rightarrow no$
  - | `?- select(1, [X,2,X,3], L).`  
 $\Rightarrow L = [2,1,3], X = 1 ? ; L = [1,2,3], X = 1 ? ; no$
- A `select/3` eljárás keresési tere **véges**, ha vagy a 2., vagy a 3. argumentuma zárt végű lista (a `lists` könyvtár tartalmazza az eljárást)

## Tartalom

### 14 Prolog alapok

- A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
- Prolog bevezetés – példák
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- **Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell**
- További vezérlési szerkezetek
- Magasabbrendű eljárások
- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Operátorok
- Meta-logikai eljárások

## Listák permutációja (kieg. anyag)

- `% perm(+Lista, ?Perm)`: Lista permutációja a Perm lista.  
`perm0([], []).`  
`perm0([Elso|Lista], Perm) :-`  
`perm0(Lista, Perm0), % permutáljuk a bemenet farkát`  
`select(Elso, Perm, Perm0). % ebbe beszűrjük a bemenet fejét`
- Felhasználási példák:
  - | `?- perm0([1,2], L).`  
 $\Rightarrow L = [1,2] ? ; L = [2,1] ? ; no$
  - | `?- perm0([a,b,c], L).`  
 $\Rightarrow L = [a,b,c] ? ; L = [b,a,c] ? ; L = [b,c,a] ? ;$   
 $L = [a,c,b] ? ; L = [c,a,b] ? ; L = [c,b,a] ? ; no$
  - | `?- perm0(L, [1,2]).`  
 $\Rightarrow L = [1,2] ? ; végtelen keresési tér$
- Ha `perm0/2`-ben az első argumentum változó, akkor a rekurzív hívás mindkét argumentuma változó lesz  $\Rightarrow$  végtelen sok választás
- A `lists` könyvtárban van egy kétirányban működő `permutation/2` eljárás

## Függvények és eljárások egymásba skatulyázása

- A deklaratív nyelvekben a rekurzió váltja ki a ciklust, így gyakran előfordulnak egymásba **skatulyázott** függvény- ill. eljáráshívások.
- Tekintsük a faktoriális Elixir definícióját!  
`% fac(N) = N faktoriálisa.`  
`def fac(0), do: 1`  
`def fac(n), do: n * fac(n-1)`
- A `fac(4)` függvényhívás végrehajtásakor pl. az alábbi állapotokat kapjuk:

$$\boxed{\text{fac}(4)} = \boxed{4 * \boxed{\text{fac}(3)}} = \dots = \boxed{4 * \boxed{3 * \boxed{2 * \boxed{1*1}}}} = \dots = 24$$

- A függvényhívásokba való be- és kilépés nyomon követése:

```
Call fac(4)
Call fac(3)
...
Call fac(0)
Exit fac(0) = 1
...
Exit fac(3) = 6
Exit fac(4) = 24
```

A `Call` nyomkövetési információ egy fenti doboz *létrehozásához* kapcsolható, míg az `Exit` a doboz kiértékelésének *befejezéséhez*.



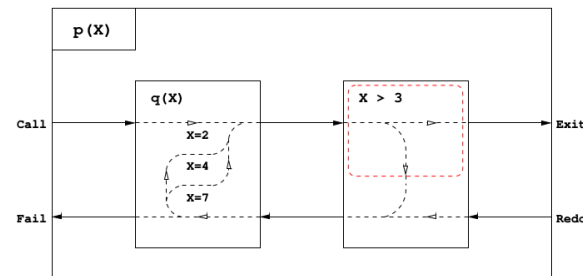
## Prolog nyomkövetés eljárás-doboz modellel

- A Prolog doboz alapú nyomkövetésében is az eljárások be- és kilépési pontjain (ún. kapukon, angolul *port*) való áthaladásról kapunk információt:
  - Call port** (hívás kapu) – belépés az eljárásba, doboz létrehozása
  - Exit port** (kilépés kapu) – sikeres lefutás, esetleg doboz törlése
  - Fail port** (meghiúsulás kapu) – sikertelen lefutás, doboz törlése
  - Redo port** (újra kapu) – új megoldás kérése
- A Prolog eljárás-végrehajtás két fázisa
  - előre menő: egymásba **skatulyázott eljárás-be** és **-kilépések**
  - visszafelé menő: **új megoldás** kérése egy már lefutott eljárástól
- Prolog végrehajtás objektum-orientált szemléletben (eljárás  $\Rightarrow$  objektum):
  - eljárás meghívása (hívás kapu): objektum létrehozása
  - sikeres lefutás (kilépés kapu): változóbehelyettesítések visszaadása
  - sikertelen lefutás (meghiúsulás kapu): meghiúsulás jelzése
  - új megoldás kérése (újra kapu): további választási pont(ok) bejárása

## Eljárás-doboz modell – grafikus szemléltetés

Egy egyszerű példaprogram, hívása `| ?- p(X).`

`q(2). q(4). q(7). p(X) :- q(X), X > 3.`



**Előre:** Call p(X); Call q(X); Exit q(2); Call 2>3; Fail 2>3

**Vissza:** Redo q(2);

**Előre:** Exit q(4); Call 4>3; Exit 4>3; Exit p(4); **siker**

`X = 4 ? ;`

**Vissza:** Redo p(4); Redo 4>3; Fail 4>3; Redo q(4);

**Előre:** Exit q(7); Call 7>3; Exit 7>3; Exit p(7); **siker**

`X = 7 ? ;`

**Vissza:** Redo p(7); Redo 7>3; Fail 7>3; ...; Fail p(X); **meghiúsulás**

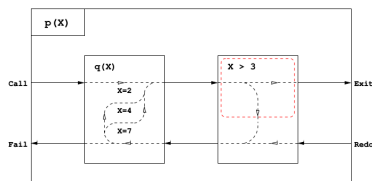
`no`

## Egy egyszerű nyomkövetési példa (SICStus Prolog)

- SICStusban `?...Exit` jelzi, hogy van választási pont a lefutott eljárásban
- Ha nincs `?` az Exit kapunál, akkor a doboz törlődik (lásd a szaggatott piros téglalapot az `X > 3` hívás körül)

```
q(2).
q(4).
q(7).

p(X) :- q(X), X > 3.
```

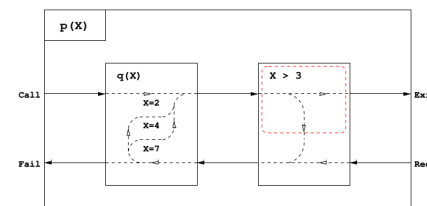


```
% Sorszám    Mélység
| ?- consult(pq0), trace, p(X). % compile esetén a >/2 hívásokat nem látjuk
1      1 Call: p(_463) ?
2      2 Call: q(_463) ?
?      2      2 Exit: q(2) ? % ? ≡ maradt választási pont q-ban
3      2 Call: 2>3 ?
3      2 Fail: 2>3 ?
2      2 Redo: q(2) ?
?      2      2 Exit: q(4) ?
4      2 Call: 4>3 ?
4      2      2 Exit: 4>3 ? % nincs ? => a doboz törlődik, (ld. a szaggatott piros téglalapot)
?      1      1 Exit: p(4) ?
X = 4 ? ;
```

## Egy egyszerű nyomkövetési példa (folyt.)

```
q(2).
q(4).
q(7).

p(X) :- q(X), X > 3.
```

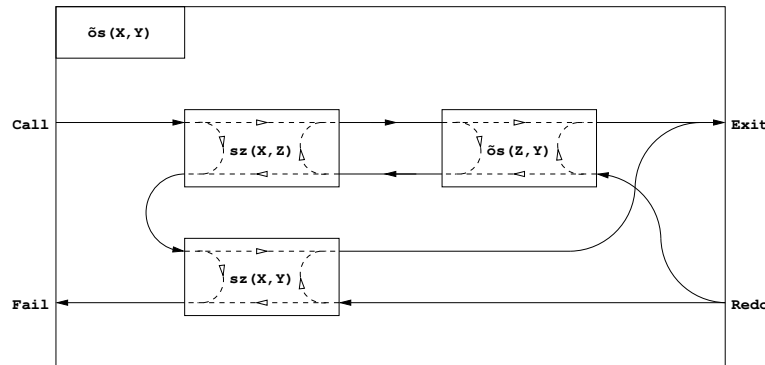


```
| ?- consult(pq0), trace, p(X).
(...)
4      2      2 Exit: 4>3 ? % nincs ? => a doboz törlődik (*)
?      1      1 Exit: p(4) ?
X = 4 ? ;
1      1      1 Redo: p(4) ?
2      2      2 Redo: q(4) ?
2      2      2 Exit: q(7) ? % nincs ? => a doboz törlődik
5      2      2 Call: 7>3 ?
5      2      2 Exit: 7>3 ? % nincs ? => a doboz törlődik
1      1      1 Exit: p(7) ? % nincs ? => a doboz törlődik
X = 7 ? ;
no
```

## Eljárás-doboz: több klózból álló eljárás

```
ős(X,Y) :- sz(X,Z), ős(Z,Y). % X őse Y ha X szülője Z és Z őse Y (a szülő őse ős)
ős(X,Y) :- sz(X,Y).        % X őse Y ha X szülője Y (a szülő ős)
```

```
sz(a,b). sz(b,c). sz(b,d).
```



## Eljárás-doboz modell – „kapcsolási” alapelvek

- A feladat: „szülő” eljárásdoboz és a „belső” eljárások dobozainak összekapcsolása
- Előfeldolgozás: érjük el, hogy a klózfejekben csak változók legyenek, ehhez a fej-egyesítéseket alakítsuk hívásokká, pl.  
fakt(0,1).  $\Rightarrow$  fakt(X,Y) :- X=0, Y=1.
- Előre menő végrehajtás (balról-jobbra menő nyilak):
  - A szülő Call kapuját az 1. klóz első hívásának Call kapujára kötjük.
  - Egy belső eljárás Exit kapuját
    - a következő hívás Call kapujára, vagy,
    - ha nincs következő hívás, akkor a szülő Exit kapujára kötjük
- Visszafelé menő végrehajtás (jobbról-balra menő nyilak):
  - Egy belső eljárás Fail kapuját
    - az előző hívás Redo kapujára, vagy, ha nincs előző hívás, akkor
    - a következő klóz első hívásának Call kapujára, vagy
    - ha nincs következő klóz, akkor a szülő Fail kapujára kötjük
  - A szülő Redo kapuját mindegyik klóz utolsó hívásának Redo kapujára kötjük
    - mindig abba a klózra térünk vissza, amelyben legutoljára voltunk

## Nyomkövetés – legfontosabb parancsok (SICStus + SWI)

- Beépített eljárások
  - trace, debug – a c, l parancsal indítja a nyomkövetést
  - notrace, nodebug – kikapcsolja a nyomkövetést
  - spy(P), nospy(P), nospyall – töréspont be/ki a P eljárásra,  $\forall$  ki.
- Alapvető nyomkövetési parancsok (SICStus: <RET>-tel kell lezárni)
  - h (help) – parancsok listázása
  - c (creep) vagy csak <RET> – lassú futás (minden kapunál megáll)
  - l (leap) – csak töréspontnál áll meg
  - + ill. - – töréspont be/ki a kurrens eljárásra
  - s (skip) – eljárástörzs átlépése (Call/Redo  $\Rightarrow$  Exit/Fail)
  - w (write) – teljes mélységű kiíratás
  - o (out) SICStus, u (up) SWI – kilépés az eljárástörzsből
  - r (retry) – újakezdi a kurrens hívás végrehajtását
- Információ-megjelenítő és egyéb parancsok
  - g (goals) – a kurrens hívást tartalmazó célok kiíratása
  - b (break) – új, beágyazott Prolog interakciós szint létrehozása
  - n (notrace) – nyomkövető kikapcsolása
  - a (abort) – a kurrens futás abbahagyása

## Eljárás-doboz modell – OO szemléletben (kieg. anyag)

- Minden eljáráshoz tartozik egy osztály, amelynek van egy konstruktor függvénye (amely megkapja a hívási paramétereket) és egy next „adj egy (következő) megoldást” metódusa.
- Az osztály nyilvántartja, hogy hányadik klózban jár a vezérlés
- A metódus első meghívásakor az első klóz első Hívás kapujára adja a vezérlést
- Amikor egy részjeljárás Hívás kapujához érkezünk, **létrehozunk** egy példányt a meghívandó eljárásból, majd
- meghívjuk az eljáráspéldány „következő megoldás” metódusát (\*)
  - Ha ez sikerül, akkor a vezérlés átkerül a következő hívás Hívás kapujára, vagy a szülő Kilépési kapujára
  - Ha ez meghiúsul, **megszüntetjük** az eljáráspéldányt majd ugrunk az előző hívás Újra kapujára, vagy a következő klóz elejére, stb.
- Amikor egy Újra kapuhoz érkezünk, a (\*) lépésnél folytatjuk.
- A szülő Újra kapuja (a „következő megoldás” nem első hívása) a tárolt klózsorszámnak megfelelő klózban az utolsó Újra kapura adja a vezérlést.

## OO szemléletű dobozok: p/2 C++ kódrészlet (kieg. anyag)

Az `os/2` Prolog eljárásnak (293. dia) megfelelő C++ objektum „köv. megoldás” metódusa:

```
boolean os::next(          { // Return next solution for os/2
  switch(clno)           {
  case 0:                 // first call of the method
    clno = 1;             // enter clause 1:          os(X,Y) :- sz(X,Z), os(Z,Y).
    szaptr = new sz(x, &z); // create a new instance of subgoal sz(X,Z)
  redo1:
    if(!szaptr->next()) { // if sz(X,Z) fails
      delete szaptr;     // destroy it,
      goto cl2;         // and continue with clause 2 of os/2
    }
    pptr = new os(z, py); // otherwise, create a new instance of subgoal os(Z,Y)
  case 1:                 // (enter here for Redo port if clno==1)
    /* redo12: */
    if(!pptr->next()) { // if os(Z,Y) fails
      delete pptr;      // destroy it,
      goto redo1;      // and continue at redo port of sz(X,Z)
    }
    return TRUE;        // otherwise, exit via the Exit port
  cl2:
    clno = 2;            // enter clause 2:          os(X,Y) :- sz(X,Y).
    szbptr = new sz(x, py); // create a new instance of subgoal sz(X,Y)
  case 2:                 // (enter here for Redo port if clno==2)
    /* redo21: */
    if(!szbptr->next()) { // if sz(X,Y) fails
      delete szbptr;    // destroy it,
      return FALSE;    // and exit via the Fail port
    }
    return TRUE;        // otherwise, exit via the Exit port
  } }
}
```

## Diszjunkció

- Ismétlés: klóztörzsben a vessző (‘,’) jelentése „és”, azaz konjunkció
- A ‘;’ operátor jelentése „vagy”, azaz diszjunkció
 

|                                                                                                                                |                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre>% fakt(+N, ?F): F = N!. fakt(N, F) :- N = 0, F = 1. fakt(N, F) :-   N &gt; 0, N1 is N-1,   fakt(N1, F1), F is F1*N.</pre> | <pre>fakt(N, F) :-   ( N = 0, F = 1   ; N &gt; 0, N1 is N-1,     fakt(N1, F1), F is F1*N   ).</pre> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
- A diszjunkciót nyitó zárójel elérésekor választási pont jön létre
  - először a diszjunkciót az első ágára redukáljuk
  - visszalépés esetén a diszjunkciót a második ágára redukáljuk
- Tehát az első ág sikeres lefutása után kilépünk a diszjunkcióból, és az utána jövő célokkal folytatjuk a redukálást
  - azaz a ‘;’ elérésekor a ‘)’-nél folytatjuk a futást
- A ‘;’ skatulyázható (jobbról-balra) és gyengébben köt mint a ‘,’
- Konvenció: a diszjunkciót *mindig* zárójelbe tesszük, a skatulyázott diszjunkciót és az ágakat feleslegesen nem zárójelezzük. Pl. (a felesleges zárójelek aláhúzva, kiemelve): (p; q; r), (a; b, c; d)

## Tartalom

### 14 Prolog alapok

- A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
- Prolog bevezetés – példák
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
- **További vezérlési szerkezetek**
- Magasabbrendű eljárások
- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Operátorok
- Meta-logikai eljárások

## A diszjunkció mint szintaktikus édesítőszert

- A diszjunkció egy segéd-predikátummal mindig kiküszöbölhető, pl.:

```
a(X, Y, Z) :-
  p(X, U), q(Y, V),
  ( r(U, T), s(T, Z)
  ; t(V, Z)
  ; t(U, Z)
  ),
  u(X, Z).
```

- Kigyűjtjük azokat a változókat, amelyek a diszjunkcióban és azon kívül is előfordulnak (u, v, z)
- A segéd-predikátumnak ezek a változók lesznek az argumentumai
- A segéd-predikátum minden klóza megfelel a diszjunkció egy ágának

|                                                                                                      |                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <pre>seged(U, V, Z) :- r(U, T), s(T, Z). seged(U, V, Z) :- t(V, Z). seged(U, V, Z) :- t(U, Z).</pre> | <pre>a(X, Y, Z) :-   p(X, U), q(Y, V),   seged(U, V, Z),   u(X, Z).</pre> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|

## Diszjunkció – megjegyzések (kieg. anyag)

- Az egyes klózek 'ÉS' vagy 'VAGY' kapcsolatban vannak?
  - A program klózai **ÉS** kapcsolatban vannak, pl.
 

```
szuloje('Imre', 'István').      szuloje('Imre', 'Gizella').      % (1)
```

 azt állítja: Imre szülője István **ÉS** Imre szülője Gizella.
  - Az (1) klózek alternatív (VAGY kapcsolatú) válaszokhoz vezetnek:
 

```
:- szuloje('Imre' Ki). => Ki = 'István' ? ; Ki = 'Gizella' ? ; no
```

 „Imre szülője Sz” ha ( Sz = István vagy Sz = Gizella ).
- Az (1) predikátum átalakítható egyetlen, diszjunkciós klózzá:
 

```
szuloje('Imre', Sz) :-      ( Sz = 'István'
                               ; Sz = 'Gizella'
                               ).      % (2)
```

Vö. De Morgan azonosságok:  $(A \leftarrow B) \wedge (A \leftarrow C) \equiv (A \leftarrow (B \vee C))$
- Általánosan: tetszőleges predikátum egyklózossá alakítható:
  - a klózokat azonos fejűvé alakítjuk, új változók és =-ek bevezetésével:
 

```
szuloje('Imre', Sz) :- Sz = 'István'.
szuloje('Imre', Sz) :- Sz = 'Gizella'.
```
  - a klóztörzseket egy diszjunkcióvá fogjuk össze, lásd (2).

## A meghíúsulások negáció (NF – Negation by Failure)

- A  $\backslash+$  Hívás vezérlési szerkezet (vö.  $\neg$  – nem bizonyítható) procedurális szemantikája
  - végrehajtja a Hívás hívást,
  - ha Hívás sikeresen lefutott, akkor meghíúsul,
  - egyébként (azaz ha Hívás meghíúsult) sikerül.
- $\backslash+$  Hívás futása során Hívás legfeljebb egyszer sikerül
- $\backslash+$  Hívás sohasem helyettesít be változót
- Példa: Keressünk (adatbázisunkban) olyan gyermeket, aki **nem** férfi!
 

```
| ?- sz(X, _Sz), \+ ffi(X). % negált cél ≡ ¬ffi(X)
=> X = 'Gizella' ? ; no
```
- Mi történik ha a két hívást megcseréljük?
 

```
| ?- \+ ffi(X), sz(X, _Sz). % negált cél ≡ ¬(∃X.ffi(X))
=> no
```
- $\backslash+$  H logikai megfelelője:  $\neg\exists\vec{X}(H)$ , ahol  $\vec{X}$  a H-ban a hívás pillanatában behelyettesítetlen változók felsorolását jelöli.
 

```
| ?- X = 2, \+ X = 1.      => X = 2 ?
| ?- \+ X = 1, X = 2.      => no
```

## Gondok a meghíúsulások negációval

- A negált cél jelentése függ attól, hogy mely változók bírnak értékkel
- Mikor nincs gond?
  - Ha a negált cél **tömör** (nincs benne behelyettesítetlen változó)
  - Ha nyilvánvaló, hogy mely változók behelyettesítetlenek (pl. mert „semmis” változók:  $\_$ ), és a többi változó tömör értékkel bír.
 

```
% nem_szulo(+Sz): adott Sz nem szulo
nem_szulo(Sz) :- \+ szuloje(_, Sz).
```
- A  $\backslash+$  művelet a „Zárt Világ” feltételezésen alapul (Closed World Assumption – CWA): ami nem bizonyítható, az nem igaz.
 

```
| ?- \+ szuloje('Imre', X).      => no
| ?- \+ szuloje('Géza', X).      => true ?      (*)
```

  - A klasszikus matematikai logika következményfogalma **monoton**: ha a premisszák halmaza bővül, a következmények halmaza nem szűkülhet.
  - A CWA alapú logika nem monoton, példa: bővítsük a programot egy `szuloje('Géza', xxx).` alakú állítással  $\Rightarrow (*)$  meghíúsul.

## Példa: együttható meghatározása lineáris kifejezésben

- Formula: számokból és az 'x' atomból '+' és '\*' operátorokkal épül fel.
- Lineáris formula: a '\*' operátor (legalább) egyik oldalán szám áll.
 

```
% egyhat(Kif, E): A Kif lineáris formulában az x együtthatója E.
egyhat(x, 1).      egyhat(K1*K2, E) :-      % (4)
egyhat(Kif, E) :-      number(K1),
                       number(Kif), E = 0.      egyhat(K2, E0),
egyhat(K1+K2, E) :-      E is K1+E0.
                       egyhat(K1, E1),      egyhat(K1*K2, E) :-      % (5)
                       egyhat(K2, E2),      number(K2),
                       E is E1+E2.      egyhat(K1, E0),
   E is K2*E0.
```
- A fenti megoldás hibás – többszörös megoldást kaphatunk:
 

```
| ?- egyhat(((x+1)*3)+x+2*(x+x+3), E).      => E = 8 ? ; no
| ?- egyhat(2*3+x, E).      => E = 1 ? ; E = 1 ? ; no
```
- A többszörös megoldás oka: az `egyhat(2*3, E)` hívás esetén a (4) és (5) klóz egyaránt sikeres!

## Többszörös megoldások kiküszöbölése

- El kell érniük, hogy **ha** a (4) sikeres, **akkor** (5) már ne sikerüljön
- A többszörös megoldás kiküszöbölhető:
  - Negációval – írjuk be (4) előfeltételének negáltját (5) törzsébe:
 

```
(...)  
egyhat(K1*K2, E) :-  
    number(K1), egyhat(K2, E0), E is K1*E0. % (4)  
egyhat(K1*K2, E) :-  
    \+ number(K1),  
    number(K2), egyhat(K1, E0), E is K2*E0. % (5)
```
  - hatékonyabban, feltételes kifejezéssel:
 

```
(...)  
egyhat(K1*K2, E) :-  
    ( number(K1) -> egyhat(K2, E0), E is K1*E0  
    ; number(K2), egyhat(K1, E0), E is K2*E0  
    ).
```
- A feltételes kifejezés hatékonyabban fut, mert:
  - nem kell kétszer futtatni a `number(K1)` feltételt
  - nem hagy választási pontot**

## Feltételes kifejezés Prologban

- Szintaxis (felt, akkor, egyébként tetszőleges célsorozatok):
 

```
(...) :-  
    ...,  
    ( felt -> akkor  
    ; egyébként  
    ),  
    ...
```
- Deklaratív szemantika: a fenti alak jelentése megegyezik az alábbival, ha a **felt** egy egyszerű feltétel (azaz nem oldható meg többféleképpen):
 

```
(...) :-  
    ...,  
    ( felt, akkor  
    ; \+ felt, egyébként  
    ),  
    ...
```

## Feltételes kifejezések (folyt.)

- Procedurális szemantika
 

A `(felt->akkor;egyébként)`, folytatás célsorozat végrehajtása:

  - Végrehajtjuk a `felt` hívást.
  - Ha `felt` sikeres, akkor az `(akkor, folytatás)` célsorozatra redukáljuk a fenti célsorozatot, a `felt első` megoldása által adott behelyettesítésekkel. **A felt cél többi megoldását nem keressük meg!**
  - Ha `felt` sikertelen, akkor az `(egyébként, folytatás)` célsorozatra redukáljuk, behelyettesítés nélkül.
- Többszörös elágaztatás skatulyázott feltételes kifejezésekkel:
 

```
( felt1 -> akkor1      ( felt1 -> akkor1  
; felt2 -> akkor2      ; (felt2 -> akkor2  
; ...                  ; ...  
)                      ; )
```

A **kiemelt** zárójelek feleslegesek!
- Az egyébként rész elhagyható, alapértelmezése: `fail`.
- `\+ felt` átírható feltételes kifejezéssé: `( felt -> fail ; true )`

## Feltételes kifejezés – példák

- Faktoriális
 

```
% fakt(+N, ?F): N! = F.  
fakt(N, F) :-  
    ( N = 0 -> F = 1  
    % N = 0, F = 1  
    ; N > 0, N1 is N-1, fakt(N1, F1), F is N*F1  
    ).
```
- Jelentése azonos a diszjunkciós alakokkal (`->` helyett `,` – lásd **komment**)
- A diszjunkciós alak választási pontot hagy, a feltételes szerkezet nem.
- Szám előjele
 

```
% Sign = sign(Num)  
sign(Num, Sign) :-  
    ( Num > 0 -> Sign = 1      % if Num > 0 then Sign = 1  
    ; Num < 0 -> Sign = -1    % elif Num < 0 then Sign = -1  
    ; Sign = 0                % else Sign = 0  
    ).
```

## A vágó eljárás – a feltételes szerkezet megvalósítási alapja

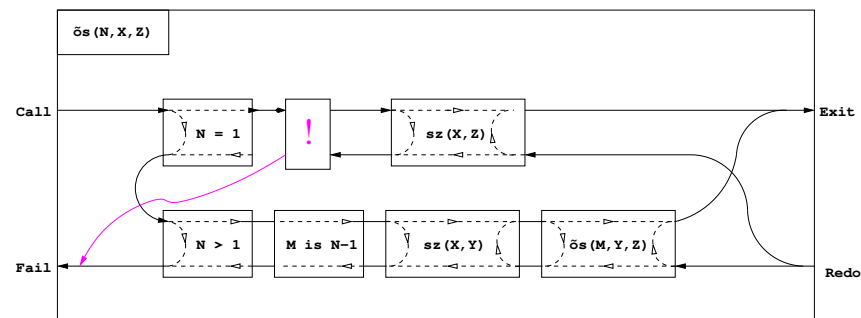
- A vágó beépített eljárás (!) mindig sikerül; de mellékhatásként
  - 1 letiltja az adott predikátum további klózainak választását,
 

```
első_poz_elem([X|_], X) :- X > 0, !. % "zöld vágó"
első_poz_elem([X|L], EP) :- X =< 0, első_poz_elem(L, EP).
```
  - 2 megszünteti a választási pontokat az előtte levő eljáráshivásokban.
 

```
első_poz_elem(L, EP) :- member(X, L), X>0, !, EP = X. % "vörös vágó"
```
- A **zöld** vágó nem változtatja meg az eredmény(ek)e)t, de gyorsítja a futást
- A **vörös** vágó megváltoztatja az eredményhalmazt
- Segédfogalom: egy cél **szülőjének** az őt tartalmazó klóz fejével illetett hívást nevezzük
  - A 4-kapus modellben a szülő a körülvevő dobozhoz rendelt cél.
  - A fenti vágók szülője lehet pl. az `első_poz_elem([-1,0,3,0,2], P)` cél
- Átfogalmazás: a vágó a keresési térben vág le ágakat:
  - a vágó meghívásától visszafelé egészen a szülő célig – azt is beleértve – megszünteti a választási pontokat.

## A vágó megvalósítása a 4-kapus doboz modellben

```
% ōs(+N, ?X, ?Z): X-nek N-edik generációs őse Z (N>0 adott egész szám)
ős(1, X, Z) :- !, sz(X, Z). % sz(X, Z): X-nek szülője
ős(N, X, Z) :- N > 1, M is N-1, sz(X, Y), ōs(M, Y, Z).
```



- A vágó Fail kapujából a körülvevő (szülő) doboz Fail kapujára megyünk.
- Ugyanilyen doboz keletkezik feltételes szerkezet használatakor:

```
ős2(N, X, Z) :- ( N = 1 -> sz(X, Z)
; N > 1, M is N-1, sz(X, Y), ōs2(M, Y, Z)
).
```

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
    - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
    - Operátorok
    - Meta-logikai eljárások

## Magasabbrendű eljárások – listakezelés

- Magasabbrendű (vagy meta-eljárás) egy eljárás,
  - ha eljárásként értelmezi egy vagy több argumentumát
  - pl. `findall/3`, `call/1`: `call(P)` a `P` kifejezést hívásként végrehajtja.
- Listafeldolgozás `findall` segítségével – példák
  - Páros elemek kiválasztása (vö. Elixir filter)
 

```
% Az L egész-lista páros elemeinek listája Pk.
páros_elemei(L, Pk) :-
  findall(X, (member(X, L), X mod 2 == 0), Pk).
| ?- páros_elemei([1,2,3,4], Pk). => Pk = [2,4]
```
  - A listaelemek négyzetre emelése (vö. Elixir map)
 

```
% Az L számlista elemei négyzeteinek listája Nk.
négyzetei(L, Nk) :-
  findall(Y, (member(X, L), négyzete(X, Y)), Nk).
négyzete(X, Y) :- Y is X*X.
| ?- négyzetei([1,2,3,4], Nk). => Nk = [1,4,9,16]
```
- A `findall` futása során a megoldásokat le kell másolja – ez nagyobb adatstruktúrák esetén komoly hátrány

## Részlegesen paraméterezett eljáráshívások – segédeszközök

- A négyzetei/2 eljárás az Elixirből ismert map/2 speciális esete.
- Prologban ennek a maplist/3 eljárás felel meg:  

```
négyzetei(Xs, Ys) :- maplist0(négyzete, Xs, Ys).
maplist0(Fun, Xs, Ys) :-
    findall(Y, (member(X, Xs), call(Fun, X, Y)), Ys).
```
- A négyzete argumentum a négyzete/2 **részlegesen paraméterezett** hívásának tekinthető:  $\text{call}(\text{négyzete}, X, Y) \equiv \text{négyzete}(X, Y)$
- Általánosan:  $\text{call}(\text{RPred}, A1, A2, \dots)$  végrehajtása: az RPred **részleges** hívást kiegészíti az A1, A2, ... argumentumokkal, és meghívja.
- A call/N predikátumok SICStus 4-ben beépített eljárásként állnak rendelkezésre

## Rekurzív meta-eljárások – foldl és foldr

- *% foldl(+Xs, :Pred, +Y0, -Y): Y0-ból indulva, az Xs elemeire % balról jobbra sorra alkalmazva a Pred által leírt % kétargumentumú függvényt kapjuk Y-t. % SICStus library(lists)-ben scanlist/4 néven érhető el.*  

```
foldl([X|Xs], Pred, Y0, Y) :-
    call(Pred, X, Y0, Y1), foldl(Xs, Pred, Y1, Y).
foldl([], _, Y, Y).
```

```
jegyhozzá(Alap, Jegy, Szam0, Szam) :- Szam is Szam0*Alap+Jegy.
| ?- foldl([1,2,3], jegyhozzá(10), 0, E). => E = 123
```
- *% foldr(+Xs, :Pred, +Y0, -Y): Y0-ból indulva, az Xs elemeire jobbról % balra sorra alkalmazva a Pred kétargumentumú függvényt kapjuk Y-t.*  

```
foldr([X|Xs], Pred, Y0, Y) :-
    foldr(Xs, Pred, Y0, Y1), call(Pred, X, Y1, Y).
foldr([], _, Y, Y).
```

```
| ?- foldr([1,2,3], jegyhozzá(10), 0, E). => E = 321
```
- A foldr eljárás nem jobbrekurzív, ezért ritkábban használjuk

## Részlegesen paraméterezett eljárások – rekurzív maplist/3

- Részleges paraméterezéssel a maplist/3 meta-eljárás rekurzívan is definiálható:

*% maplist(Pred, Xs, Ys): Az Xs lista elemeire a Pred transzformációt % alkalmazva kapjuk az Ys listát.*

```
maplist(Pred, [X|Xs], [Y|Ys]) :-
    call(Pred, X, Y), maplist(Pred, Xs, Ys).
maplist(_, [], []).
```

```
másodfokú_képe(P, Q, X, Y) :- Y is X*X + P*X + Q.
```

- Példák:

```
| ?- maplist(négyzete, [1,2,3,4], L).           => L = [1,4,9,16]
| ?- maplist(másodfokú_képe(2,1), [1,2,3,4], L). => L = [4,9,16,25]
```

- A call/N-re épülő megoldás előnyei:

- általánosabb és hatékonyabb lehet, mint a findall-ra épülő;
- alkalmazható akkor is, ha az elemekre elvégzendő műveletek nem függetlenek, pl. foldl.

## Tartalom

## 14 Prolog alapok

- A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
- Prolog bevezetés – példák
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
- További vezérlési szerkezetek
- Magasabbrendű eljárások
- **Megoldásgyűjtő beépített eljárások**
- Operátorok
- Meta-logikai eljárások

## Keresési feladat Prologban – felsorolás vagy gyűjtés?

- Keresési feladat: adott feltételeknek megfelelő dolgok meghatározása.
- Prolog nyelven egy ilyen feladat alapvetően kétféle módon oldható meg:
  - gyűjtés – az összes megoldás összegyűjtése, pl. egy listába;
  - felsorolás – a megoldások visszalépéses felsorolása: egyszerre egy megoldást kapunk, de visszalépéssel sorra előáll minden megoldás.
- Egyszerű példa: egy egészlista páros elemeinek megkeresése:

### % Gyűjtés:

```
% páros_elemei(L, Pk): Pk az L
% lista páros elemeinek listája.
páros_elemei([], []).
páros_elemei([X|L], Pk) :-
    ( X mod 2 == 0 ->
      Pk = [X|Pk1],
      páros_elemei(L, Pk1)
    ; páros_elemei(L, Pk)
    ).
```

### % Felsorolás:

```
% páros_eleme(L, P): P egy páros
% eleme az L listának.

páros_eleme([X|L], P) :-
    ( X mod 2 == 0, P = X
      % X akár páros, akár páratlan
      % folytatjuk a felsorolást:
      ; páros_eleme(L, P)
    ).

% egyszerűbb, deklaratív megoldás:
páros_eleme2(L, P) :-
    member(P, L), P mod 2 == 0.
```

## Gyűjtés és felsorolás kapcsolata

- Ha adott páros\_elemei, hogyan definiálható páros\_eleme?
  - A member/2 beépített eljárás segítségével, pl.
 

```
páros_eleme(L, P) :-
    páros_elemei(L, Pk), member(P, Pk).
```
  - Természetesen ez így nem hatékony!
- Ha adott páros\_eleme, hogyan definiálható páros\_elemei?
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárás segítségével, pl.
 

```
páros_elemei(L, Pk) :-
    findall(P, páros_eleme(L, P), Pk).
    % páros_eleme(L, P) összes P megoldásának listája Pk.
```
  - a findall/3 beépített eljárás – és társai – az Elixir listajelölőhöz (komprehenzióhoz) hasonlóak, pl.:
 

```
% my_numlist(+A, +B, ?L): L = [A,...,B], A és B egészek.
my_numlist(A, B, L) :-
    B >= A-1,
    findall(X, between(A, B, X), L).
```

 vö.  $L = \{X | A \leq X \leq B, \text{integer}(X)\}$ , ahol  $B \geq A - 1$

## A findall(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- Az eljárás végrehajtása (procedurális szemantikája):
  - a Cél kifejezést eljáráshívásként értelmezi, meghívja (A :Cél annotáció meta- (azaz eljárás) argumentumot jelez);
  - minden egyes megoldásához előállítja Gyűjtő egy *másolatát*, azaz a változókat, ha vannak, szisztematikusan újakkal helyettesíti;
  - Az összes Gyűjtő másolat listáját egyesíti Lista-val.

- Példák az eljárás használatára:

```
| ?- findall(X, (member(X, [1,7,8,3,2,4]), X>3), L).
    => L = [7,8,4] ? ; no
| ?- findall(Y, member(X-Y, [a-c,a-b,b-c,c-e,b-d]), L).
    => L = [c,b,c,e,d] ? ; no
```

- Az eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):

Lista = { Gyűjtő *másolat* | (∃ X...Z)Cél igaz }  
 ahol X, ..., Z a findall hívásban levő *szabad változók*.

**Szabad változó** (definíció): olyan, a hívás pillanatában behelyettesítetlen változó, amely a Cél-ban előfordul de a Gyűjtő-ben nem.

## A bagof(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- Példa az eljárás használatára:

```
gráf([a-c,a-b,b-c,c-e,b-d]).
| ?- gráf(_G), findall(B, member(A-B, _G), VegP).      % ld. előző dia
    => VegP = [c,b,c,e,d] ? ; no
| ?- gráf(_G), bagof(B, member(A-B, _G), VegPk).
    => A = a, VegPk = [c,b] ? ;
    => A = b, VegPk = [c,d] ? ;
    => A = c, VegPk = [e] ? ; no
```

- Az eljárás végrehajtása (procedurális szemantikája):

- a Cél kifejezést eljáráshívásként értelmezi, meghívja;
- összegyűjti a megoldásait (a Gyűjtő-t és a szabad változók behelyettesítéseit);
- a szabad változók összes behelyettesítését *felsorolja* és mindegyik esetén a Lista-ban megadja az összes hozzá tartozó Gyűjtő értéket.

- A bagof eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):

Lista = { Gyűjtő | Cél igaz }, Lista ≠ [].



## A bagof megoldásgyűjtő eljárás – folyt. (kieg. anyag)

- Explicit egzisztenciális kvantorok
  - bagof(Gyűjtő,  $V_1 \wedge \dots \wedge V_n \wedge \text{Cél}$ , Lista) alakú hívása a  $V_1, \dots, V_n$  változókat egzisztenciálisan kvantálnak tekinti, így ezeket nem sorolja fel.
  - jelentése:  $\text{Lista} = \{ \text{Gyűjtő} \mid (\exists V_1, \dots, V_n) \text{Cél igaz} \} \neq []$ .  
 $| \text{?- gráf}(\_G), \text{bagof}(B, A \wedge \text{member}(A-B, \_G), \text{VegP}).$   
 $\implies \text{VegP} = [c,b,c,e,d] ? ; \text{no}$
- Egymásba ágyazott gyűjtések
  - szabad változók esetén a bagof nemdeterminisztikus lehet, így érdemes lehet skatulyázni:  
 $\% A G \text{ irányított gráf fokszámlistája FL:}$   
 $\% FL = \{ A-N \mid N = |\{ V \mid A-V \in G \}|, N > 0 \}$   
 $\text{fokszámai}(G, FL) :-$   
 $\text{bagof}(A-N, \text{Vk} \wedge (\text{bagof}(V, \text{member}(A-V, G), \text{Vk}),$   
 $\text{length}(\text{Vk}, N)), FL).$   
 $| \text{?- gráf}(\_G), \text{fokszámai}(\_G, FL).$   
 $\implies FL = [a-2,b-2,c-1] ? ; \text{no}$

## A bagof megoldásgyűjtő eljárás – folyt. (kieg. anyag)

- Fokszámlista kicsit hatékonyabb előállítás
  - Az előző példában a meta-argumentumban célsorozat szerepelt, ez mindenképpen interpretáltan fut – nevezzük el segédeljárásként
  - A segédeljárás bevezetésével a kvantor is szükségtelenné válik:  
 $\% \text{pont\_foka}(?A, +G, ?N): \text{Az } A \text{ pont foka a } G \text{ irányított gráfban } N > 0.$   
 $\text{pont\_foka}(A, G, N) :-$   
 $\text{bagof}(V, \text{member}(A-V, G), \text{Vk}), \text{length}(\text{Vk}, N).$   
 $\% A G \text{ irányított gráf fokszámlistája FL:}$   
 $\text{fokszámai}(G, FL) :- \text{bagof}(A-N, \text{pont\_foka}(A, G, N), FL).$
- Példák a bagof/3 és findall/3 közötti kisebb különbségekre:
  - $| \text{?- findall}(X, (\text{between}(1, 5, X), X < 0), L). \implies L = [] ? ; \text{no}$
  - $| \text{?- bagof}(X, (\text{between}(1, 5, X), X < 0), L). \implies \text{no}$
  - $| \text{?- findall}(S, \text{member}(S, [f(X,X),g(X,Y)]), L).$   
 $\implies L = [f(\_A,\_A),g(\_B,\_C)] ? ; \text{no}$
  - $| \text{?- bagof}(S, \text{member}(S, [f(X,X),g(X,Y)]), L).$   
 $\implies L = [f(X,X),g(X,Y)] ? ; \text{no}$
- A bagof/3 logikailag tisztább mint a findall/3, de költségesebb!

## A setof(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- Az eljárás végrehajtása:
  - ugyanaz mint: bagof(Gyűjtő, Cél, L0), sort(L0, Lista),
  - sort(L, RL) egy univerzális rendező eljárás, amely az L listát rendezi az az azonos elemek kiszűrésével (a @< általános rendezés szerint, lásd később), és az eredményt RL-ban adja vissza.
- Példa a setof/3 eljárás használatára:  
 $\text{gráf}([a-c,a-b,b-c,c-e,b-d]).$   
 $\% \text{Gráf egy pontja P.}$   
 $\text{pontja}(P, \text{Gráf}) :- \text{member}(A-B, \text{Gráf}), (P = A ; P = B).$   
 $\% A G \text{ gráf pontjainak listája Pk.}$   
 $\text{gráf\_pontjai}(G, Pk) :- \text{setof}(P, \text{pontja}(P, G), Pk).$   
 $| \text{?- gráf}(\_G), \text{gráf\_pontjai}(\_G, Pk).$   
 $\implies Pk = [a,b,c,d,e] ? ; \text{no}$   
 $| \text{?- gráf}(\_G), \text{bagof}(P, \text{pontja}(P, \_G), Pk).$   
 $\implies Pk = [a,c,a,b,b,c,c,e,b,d] ? ; \text{no}$

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Operátorok
  - Meta-logikai eljárások

## Operátoros kifejezések

- Példa:  $s \text{ is } -s_1+s_2$  ekvivalens az  $\text{is}(s, +(-(s_1),s_2))$  kifejezéssel
- Szintaxis:
  - ⟨összetett kif.⟩ ::=
    - ⟨struktúranév⟩ (⟨argumentum⟩, ...) {eddig csak ez volt}
    - | ⟨argumentum⟩ ⟨operátornév⟩ ⟨argumentum⟩ {infix kifejezés}
    - | ⟨operátornév⟩ ⟨argumentum⟩ {prefix kifejezés}
    - | ⟨argumentum⟩ ⟨operátornév⟩ {posztfix kifejezés}
    - | (⟨kifejezés⟩) {zárójeles kif.}
  - ⟨operátornév⟩ ::= ⟨struktúranév⟩ {ha operátorként lett definiálva}
- Operátor(ok) definiálása
  - $\text{op}(\text{Prio}, \text{Fajta}, \text{OpNév})$  vagy  $\text{op}(\text{Prio}, \text{Fajta}, [\text{OpNév}_1, \dots, \text{OpNév}_n])$ , ahol
    - Prio (prioritás): 1–1200 közötti egész
    - Fajta: az  $yfx, xfy, xfx, fy, fx, yf, xf$  névkonstansok egyike
    - $\text{OpNév}_i$  (az operátor neve): tetszőleges névkonstans
- Az  $\text{op}/3$  beépített predikátum meghívását általában a programot tartalmazó fájl elején, *direktívában* helyezzük el:
 

```
:- op(800, xfx, [szuloje,nagyszuloje]). 'Imre' szuloje 'István'.
```
- A direktívák a programfájl *betöltésekor* azonnal végrehajthatódnak.

## Szabványos, beépített operátorok

### Szabványos operátorok

Színkód: már ismert, új aritmetikai

|      |     |                          |                    |
|------|-----|--------------------------|--------------------|
| 1200 | xfx | :- -->                   |                    |
| 1200 | fx  | :- ?-                    |                    |
| 1100 | xfy | ;                        | diszjunkció        |
| 1050 | xfy | ->                       | if-then            |
| 1000 | xfy | ','                      |                    |
| 900  | fy  | \+                       | negáció            |
| 700  | xfx | = \=                     |                    |
|      |     | < =< > >= ::= =\= is     |                    |
|      |     | @< @=< @> @>= == \== =.. |                    |
| 500  | yfx | + - \ / \ /              | bitműveletek       |
| 400  | yfx | * / // rem               |                    |
|      |     | mod                      | modulus            |
|      |     | << >>                    | léptetések         |
| 200  | xfx | **                       | hatványozás        |
| 200  | xfy | ^                        |                    |
| 200  | fy  | - \                      | bitenkénti negáció |

### További beépített operátorok SICStus Prologban

|      |     |                |  |
|------|-----|----------------|--|
| 1150 | fx  | mode public    |  |
|      |     | dynamic block  |  |
|      |     | volatile       |  |
|      |     | initialization |  |
|      |     | multifile      |  |
|      |     | meta_predicate |  |
| 1100 | xfy | do             |  |
| 900  | fy  | spy nospy      |  |
| 550  | xfy | :              |  |
| 500  | yfx | \              |  |
| 200  | fy  | +              |  |

## Operátorok jellemzői

- Egy operátort jellemez a fajtája és prioritása
- A fajta az asszociativitás irányát és az írásmódot határozza meg:

| Fajta     |            |           | Írásmód  | Értelmezés                             |
|-----------|------------|-----------|----------|----------------------------------------|
| bal-assz. | jobb-assz. | nem-assz. |          |                                        |
| yfx       | xfy        | xfx       | infix    | $A \text{ f } B \equiv \text{f}(A, B)$ |
|           | fy         | fx        | prefix   | $\text{f } A \equiv \text{f}(A)$       |
|           |            | xf        | posztfix | $A \text{ f } \equiv \text{f}(A)$      |

- A zárójelezést a prioritás és az asszociativitás együtt határozza meg, pl.
  - $a/b+c*d \equiv (a/b)+(c*d)$  mert / és \* prioritása  $400 < 500$  (+ prioritása) (**kisebb prioritás = erősebb kötés**)
  - $a-b-c \equiv (a-b)-c$  mert a - operátor fajtája  $yfx$ , azaz **bal-asszociatív** – balra köt, balról jobbra zárójelez (a fajtánévben az y betű mutatja az asszociativitás irányát)
  - $a^{\wedge}b^{\wedge}c \equiv a^{\wedge}(b^{\wedge}c)$  mert a ^ operátor fajtája  $xfy$ , azaz **jobb-asszociatív** (jobbra köt, jobbról balra zárójelez)
  - $a=b=c$  szintaktikusan hibás, mert az = operátor fajtája  $xfx$ , azaz **nem-asszociatív**

## Operátorok zárójelezése (kieg. anyag)

- Egy  $X \text{ op}_1 Y \text{ op}_2 Z$  zárójelezése, ahol  $\text{op}_1$  és  $\text{op}_2$  prioritása  $n_1$  és  $n_2$ :
  - ha  $n_1 > n_2$  akkor  $X \text{ op}_1 (Y \text{ op}_2 Z)$ ;
  - ha  $n_1 < n_2$  akkor  $(X \text{ op}_1 Y) \text{ op}_2 Z$ ; (kisebb prio.  $\Rightarrow$  erősebb kötés)
  - ha  $n_1 = n_2$  és  $\text{op}_1$  jobb-asszociatív ( $xfy$ ), akkor  $X \text{ op}_1 (Y \text{ op}_2 Z)$ ;
  - **egyébként**, ha  $n_1 = n_2$  és  $\text{op}_2$  bal-assz. ( $yfx$ ), akkor  $(X \text{ op}_1 Y) \text{ op}_2 Z$ ;
  - egyébként szintaktikus hiba
- Érdekes példa:  $\text{:- op}(500, xfy, +^)$ .  $\% \text{ :- op}(500, yfx, +)$ .
 

```
| ?- :- write((1 +^ 2) + 3), n1. => (1+^2)+3
| ?- :- write(1 +^ (2 + 3)), n1. => 1+^2+3
```

 tehát: konfliktus esetén az **első** operátor asszociativitása „győz”.
- Alapszabály: egy  $n$  prioritású operátor zárójelezetlen operandusként
  - legfeljebb  $n - 1$  prioritású operátort fogadunk el az x oldalon
  - legfeljebb  $n$  prioritású operátort fogadunk el az y oldalon
- A zárójelezett kifejezéseket és az alapstruktúra-alakú kifejezéseket feltétel nélkül elfogadjuk operandusként
- Az alapszabály a prefix és posztfix operátorokra is alkalmazandó

## Operátorok – további megjegyzések

- Ugyanaz a névkonstans használható többféle fajtájú operátorként is, pl. a '-' és '+' atomok prefix és infix beépített operátorként is definiálva vannak a Prolog ISO szabványában
- A „vessző” jel három szintaktikus helyzetben is használható:
  - összetett kifejezés (struktúra) argumentumait határoló jel pl. `szuloje('István', 'Gizella')`
  - listaelemeket határoló jel, pl. `[1,2,3|T]`
  - 1000 prioritású `xfy` op. pl.: `(p:-a,b,c)≡:-(p,' ','(a,' ','(b,c)))`
- A vessző **atomként** csak a ' ', **határolóként** csak a ,, **operátorként** mindkét formában – ' ', ' ' vagy , – használható.
- `:-(p, a,b,c)` többértelmű:  $\stackrel{?}{=} :- (p, (a,b,c))$ , ...  $\stackrel{?}{=} :- (p, a,b,c)$ ...
- Egyértelműsítés: argumentumban vagy listaelemben az 1000-nél  $\geq$  prioritású operátort tartalmazó kifejezést **zárójelezni kell**:

```
| ?- write_canonical((a,b,c)). => ', '(a, ', '(b,c)
| ?- write_canonical(a,b,c). => ! write_canonical/3 does not exist
```

## Operátorok felhasználása

- Mire jók az operátorok?
  - aritmetikai eljárások kényelmes írására, pl. `X is (Y+3) mod 4`
  - szimbolikus kifejezések kezelésére (pl. szimbolikus deriválás)
  - klózkok leírására (`:-` és `' '` is operátor), és meta-eljárásoknak való átadására, pl `asserta( (p(X):-q(X),r(X)) )`
  - eljárásfejek, eljárás hívások olvashatóbbá tételére:
 

```
:- op(800, xfx, [nagyszülője, szülője]).
```

 Gy nagyszülője N :- Gy szülője Sz, Sz szülője N.
  - adatstruktúrák olvashatóbbá tételére, pl.
 

```
sav(kén, h*2-s-o*4).
```

## Operátorok törlése, lekérdezése (kieg. anyag)

- Egy vagy több operátor törlésére az `op/3` beépített eljárást használhatjuk, ha első argumentumként (prioritásként) 0-t adunk meg.

```
| ?- X = a+b, op(0, yfx, +). => X = +(a,b) ? ; no
| ?- X = a+b. => ! Syntax error
! op. expected after expression
! X = a <<here>> + b .
```

```
| ?- op(500, yfx, +). => yes
| ?- X = +(a,b). => X = a+b ? ; no
```

- Az adott pillanatban érvényes operátorok lekérdezése:

```
current_op(Prioritás, Fajta, OpNév)
```

```
| ?- current_op(P, F, +).
=> F = fy, P = 200 ? ;
    F = yfx, P = 500 ? ;
no
| ?- current_op(_, xfy, Op), write_canonical(Op), write(' '), fail.
; do -> ', ' : ^
no
```

## Operátoros példa: polinom behelyettesítési értéke

- Polinom: az 'x' atomból és számokból a '+' és '\*' op.-okkal felépülő kif.
- A feladat: egy polinom értékének kiszámolása egy adott x érték esetén.

```
% value_of0(P, X, V): A P polinom x=X helyen vett értéke V.
```

```
value_of0(x, X, V) :-
    V = X.
value_of0(N, _, V) :-
    number(N), V = N.
value_of0(P1+P2, X, V) :-
    value_of0(P1, X, V1),
    value_of0(P2, X, V2),
    V is V1+V2.
value_of0(P1*P2, X, V) :-
    value_of0(P1, X, V1),
    value_of0(P2, X, V2),
    V is V1*V2.
```

```
| ?- value_of0((x+1)*x+2*(x+x+3), 2, V).
V = 22 ? ; no
```

## Klasszikus szimbolikuskifejezés-feldolgozás: deriválás

- Írjunk olyan Prolog predikátumot, amely az  $x$  névkonstansból és számokból a  $+$ ,  $-$ ,  $*$  műveletekkel képzett kifejezések deriválását elvégzi!

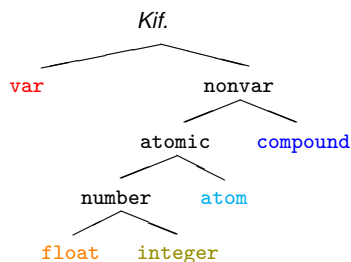
```
% deriv(Kif, D): Kif-nek az x szerinti deriváltja D.
deriv(x, D) :-                D = 1.
deriv(C, D) :-                number(C), D = 0.
deriv(U+V, DU+DV) :-         deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U-V, DU-DV) :-         deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U*V, DU*V + U*DV) :-   deriv(U, DU), deriv(V, DV).
| ?- deriv(x*x+x, D).
    => D = 1*x+x*1+1 ? ; no
| ?- deriv((x+1)*(x+1), D).
    => D = (1+0)*(x+1)+(x+1)*(1+0) ? ; no
| ?- deriv(I, 1*x+x*1+1).
    => I = x*x+x ? ; no
| ?- deriv(I, 0).
    => no
```

## Tartalom

- 14 Prolog alapok
  - A funkcionális és logikai megközelítés összevetése
  - Prolog bevezetés – példák
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Nyomkövetés: 4-kapus doboz modell
  - További vezérlési szerkezetek
  - Magasabbrendű eljárások
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Operátorok
  - Meta-logikai eljárások

## Kifejezések osztályozása

- Kifejezésfajták – osztályozó beépített eljárások (ismétlés)



| Szabványos eljárások: |                     |
|-----------------------|---------------------|
| <b>var</b> (X)        | X változó           |
| <b>nonvar</b> (X)     | X nem változó       |
| <b>atomic</b> (X)     | X konstans          |
| <b>compound</b> (X)   | X struktúra         |
| <b>number</b> (X)     | X szám              |
| <b>atom</b> (X)       | X atom              |
| <b>float</b> (X)      | X lebegőpontos szám |
| <b>integer</b> (X)    | X egész szám        |

- További osztályozó eljárások:
  - simple**(X): X nem összetett (konstans vagy változó);
  - callable**(X): X atom vagy struktúra (nem szám és nem változó);
  - ground**(X): X tömör, azaz nem tartalmaz behelyettesítetlen változót.

## Osztályozó eljárások: a length/2 példája (kieg. anyag)

- Példa: a length/2 beépített eljárás egy lehetséges megvalósítása

```
% length(?L, ?N): Az L lista N hosszú.
length(L, N) :- var(N), length(L, 0, N).
length(L, N) :- nonvar(N), dlength(L, 0, N).

% length(?L, +IO, -I):
% Az L lista I-IO hosszú.
length([], I, I).
length(_[_]L, IO, I) :-
    I1 is IO+1,
    length(L, I1, I).

% dlength(?L, +IO, +I):
% Az L lista I-IO hosszú.
dlength([], I, I).
dlength(_[_]L, IO, I) :-
    IO<I, I1 is IO+1,
    dlength(L, I1, I).

| ?- length([1,2], Len). (length/3) => Len = 2 ? ; no
| ?- length([1,2], 3). (dlength/3) => no
| ?- length(L, 3). (dlength/3) => L = [_A,_B,_C] ? ;no
| ?- length(L, Len). (length/3) => L = [], Len = 0 ? ;
    L = [_A], Len = 1 ? ;
    L = [_A,_B], Len = 2 ? ; ...
```

## Kifejezések szétszedése és összerakása – motiváló példa

- Polinom ::=  $x$  | szám | Polinom + Polinom | Polinom \* Polinom
- Egy  $P$  polinom kiértékelése adott  $x$  behelyettesítés mellett (ismétlés):  
% value\_of(+P, +XV, ?V): az  $x = XV$  helyettesítéssel  $P$  értéke  $V$ .  
value\_of0(x, X, V) :- V = X.  
value\_of0(N, \_, V) :-  
    number(N), V = N.  
  
value\_of0(P1+P2, X, V) :-  
    value\_of0(P1, X, V1),  
    value\_of0(P2, X, V2),  
    V is V1+V2.  
  
value\_of0(Polinom, X, V) :-  
    Polinom = \*(P1,P2),  
    value\_of0(P1, X, V1),  
    value\_of0(P2, X, V2),  
    PolinomV = \*(V1,V2),  
    V is PolinomV.
- value\_of/3 minden az is/2 által elfogadott bináris függvényre működik!  
| ?- value\_of(exp(100,min(x,1/x)), 2, V).  $\implies$  V = 10.0 ? ; no

## Az univ beépített eljárás

- Kiindulás:  $| \text{?- } K=F(A,B) . \implies$  szintaxis-hiba, helyette:  $K=.. [F,A,B], \text{pl.}:$   
| ?- el(a,b,10) =.. L.  $\implies$  L = [el,a,b,10]  
| ?- Kif =.. [el,a,b,10].  $\implies$  Kif = el(a,b,10)  
| ?- alma =.. L.  $\implies$  L = [alma]
- Az univ eljárás hívási mintái: +Kif =.. ?Lista  
-Kif =.. +Lista (Lista zárt végű!)
- Az eljárás jelentése:
  - Kif =  $Fun(A_1, \dots, A_n)$  és Lista =  $[Fun, A_1, \dots, A_n]$ , ahol  $Fun$  egy névkonstans és  $A_1, \dots, A_n$  tetszőleges kifejezések; vagy
  - Kif =  $C$  és Lista =  $[C]$ , ahol  $C$  egy (szám- vagy név)konstans.
- További példák:
  - | ?- Kif =.. [1234].  $\implies$  Kif = 1234
  - | ?- Kif =.. L.  $\implies$  **hiba**
  - | ?- f(a,g(10,20)) =.. L.  $\implies$  L = [f,a,g(10,20)]
  - | ?- Kif =.. [/ ,X,2+X].  $\implies$  Kif = X/(2+X)
  - | ?- [a,b,c] =.. L.  $\implies$  L = ['.',a,[b,c]]
- (SWI Prologban:)  $\implies$  L=['[]',a,[b,c]]

## Indexelés (áttekintés)

- Mi az indexelés?
  - egy hívásra alkalmazható (illeszthető fejű) klózik gyors kiválasztása,
  - egy eljárás klózainak fordítási idejű csoportosításával.
- A legtöbb Prolog rendszer, így a SICStus Prolog is, az első fej-argumentum alapján indexel (first argument indexing).
- Az indexelés alapja az első fejjargumentum külső funktora:
  - $C$  szám vagy névkonstans esetén  $C/0$ ;
  - $R$  nevű és  $N$  argumentumú struktúra esetén  $R/N$ ;
  - változó esetén nem értelmezett (minden funktorhoz besoroljuk).
- Az indexelés megvalósítása:
  - Fordításkor minden funktor  $\implies$  az alkalmazható klózik listája
  - Futáskor konstans idő alatt elő tudjuk venni a megfelelő klózlistát
  - Fontos:** ha egyelemű a lista, nem hozunk létre választási pontot!
- Például szuloje('István', X) kételemű klózlistára szűkít, de szuloje(X, 'István') mind a 6 klózt megtartja (mert a SICStus Prolog csak az első argumentum szerint indexel)

## Struktúrák kezelése: a functor/3 eljárás (kieg. anyag)

- functor/3: kifejezés funktorának, adott funktorú kifejezésnek az előállítás
- Hívási minták: functor(-Kif, +Név, +Argszám)  
functor(+Kif, ?Név, ?Argszám)
- Jelentése: Kif egy Név/Argszám funktorú kifejezés.
  - A konstansok 0-argumentumú kifejezésnek számítanak.
  - Ha Kif kimenő, az adott funktorú legáltalánosabb kifejezéssel egyesíti (argumentumaiban csupa különböző változóval).
- Példák:
  - | ?- functor(el(a,b,1), F, N).  $\implies$  F = el, N = 3
  - | ?- functor(E, el, 3).  $\implies$  E = el(\_A,\_B,\_C)
  - | ?- functor(alma, F, N).  $\implies$  F = alma, N = 0
  - | ?- functor(Kif, 122, 0).  $\implies$  Kif = 122
  - | ?- functor(Kif, el, N).  $\implies$  **hiba**
  - | ?- functor(Kif, 122, 1).  $\implies$  **hiba**
  - | ?- functor([1,2,3], F, N).  $\implies$  F = '.', N = 2
  - | ?- functor(Kif, ., 2).  $\implies$  Kif = [\_A|\_B]

## Struktúrák kezelése: az `arg/3` eljárás (kieg. anyag)

- `arg/3`: kifejezés adott sorszámú argumentuma.
  - Hívási minta: `arg(+Sorszám, +StrKif, ?Arg)`
  - Jelentése: A `StrKif` struktúra `Sorszám`-adik argumentuma `Arg`.
  - Végrehajtása: `Arg`-ot az adott sorszámú argumentummal **egyesíti**.
  - Az `arg/3` eljárás így nem csak egy argumentum elővételére, hanem a struktúra változó-argumentumának behelyettesítésére is használható (ld. a 2. példát alább).

- Példák:

```
| ?- arg(3, el(a, b, 23), Arg).    =>   Arg = 23
| ?- K=el(_,_,_), arg(1, K, a),
      arg(2, K, b), arg(3, K, 23). =>   K = el(a,b,23)
| ?- arg(1, [1,2,3], A).          =>   A = 1
| ?- arg(2, [1,2,3], B).          =>   B = [2,3]
```

- Az *univ* visszavezethető a `functor` és `arg` eljárásokra (és viszont), például:

```
Kif =.. [F,A1,A2] <=> functor(Kif, F, 2),
                      arg(1, Kif, A1), arg(2, Kif, A2)
```

## Alkalmazás: részkifejezések keresése (kieg. anyag)

- A feladat: adott egy tetszőleges kifejezés, soroljuk fel a benne levő számokat, és minden szám esetén adjuk meg az ún. *kiválasztóját!*
- Egy részkifejezés kiválasztója egy olyan lista, amely megadja, hogy sorra mely argumentumpozíciók mentén juthatunk el hozzá.
- Az  $[i_1, i_2, \dots, i_k]$   $k \geq 0$  lista egy `Kif`-ből az  $i_1$ -edik argumentum  $i_2$ -edik argumentumának, ...  $i_k$ -adik argumentumát választja ki. (Az `[]` kiválasztó `Kif`-ből `Kif`-et választja ki.)

- Pl. `a*b+f(5,8,7)/c`-ben `b` kiválasztója `[1,2]`, `7` kiválasztója `[2,1,3]`.

```
% kif_szám(?Kif, ?N, ?Kiv): Kif Kiv kiválasztójú része az N szám.
kif_szám(X, X, []) :- number(X).
kif_szám(X, N, [I|Kiv]) :- compound(X),
                          X =.. [_F|Args], nth1(I, Args, X1),          % (*)
                          kif_szám(X1, N, Kiv).
```

```
| ?- kif_szám(f(5,[8,b]), Sz, K).=> Sz = 5, K = [1] ? ;
                                     Sz = 8, K = [2,1] ? ; no
```

- A `(*)` sor helyett ez is állhat:

```
functor(X, _F, ArgNo), between(1, ArgNo, I), arg(I, X, X1),
```

## Atomok szétszedése és összerakása

- `atom_codes/2`: névkonstans és karakterkód-lista közötti átalakítás

- Hívási minták: `atom_codes(+Atom, ?KódLista)`  
`atom_codes(-Atom, +KódLista)`

- Jelentése: `Atom` karakterkódjainak a listája `KódLista`.

- Példák:

```
| ?- atom_codes(ab, Cs).          =>   Cs = [97,98]
| ?- atom_codes(ab, [0'a|L]).     =>   L = [98]
| ?- Cs="bc", atom_codes(Atom, Cs).=>   Cs = [98,99], Atom = bc
| ?- atom_codes(Atom, [0'a|L]).  =>   hiba
```

- Az `atom_codes(Atom, KódLista)` beépített eljárás végrehajtása:

- Ha `Atom` adott (bemenő), és a  $c_1 c_2 \dots c_n$  karakterekből áll, akkor `KódLista`-t egyesíti a  $[k_1, k_2, \dots, k_n]$  listával, ahol  $k_i$  a  $c_i$  karakter kódja.
- Ha `KódLista` egy adott karakterkód-lista, akkor ezekből a karakterekből összerak egy névkonstanst, és azt egyesíti `Atom`-mal.

## Atomok kezelése: példák (kieg. anyag)

- Keresés névkonstansokban

```
% Atom-ban a Rész nem üres részatom kétszer ismétlődik.
```

```
dadogó_rész(Atom, Rész) :-
    atom_codes(Atom, Cs),
    Ds = [_|_],
    append([_,Ds,Ds,_], Cs), % append/2, lásd library(lists)
    atom_codes(Rész, Ds).
```

```
| ?- dadogó_rész(babaruhaha, R).    =>   R = ba ? ; R = ha ? ; no
```

- Atomok összefűzése

```
% atom_concat(+A, +B, ?C): A és B névkonstansok összefűzése C.
% (Szabványos beépített eljárás atom_concat(?A, ?B, +C) módban is.)
```

```
atom_concat(A, B, C) :-
    atom_codes(A, Ak), atom_codes(B, Bk),
    append(Ak, Bk, Ck),
    atom_codes(C, Ck).
```

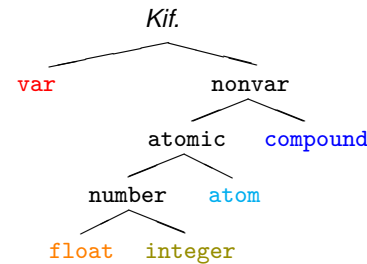
```
| ?- atom_concat(abra, kadabra, A). =>   A = abrakadabra ?
```

## Számok szétszedése és összerakása

- number\_codes/2: szám és karakterkód-lista közötti átalakítás
  - Hívási minták: number\_codes(+Szám, ?KódLista)
  - number\_codes(-Szám, +KódLista)
- Jelentése: Igaz, ha Szám tizes számrendszerbeli alakja a KódLista karakterkód-listának felel meg.
- Példák:
 

```
| ?- number_codes(12, Cs).           => Cs = [49,50]
| ?- number_codes(0123, [0'1|L]).    => L = [50,51]
| ?- number_codes(N, " - 12.0e1").   => N = -120.0
| ?- number_codes(N, "12e1").        => hiba (nincs .0)
| ?- number_codes(120.0, "12e1").    => no (mert a szám adott! :-)
```
- A number\_codes(Szám, KódLista) beépített eljárás végrehajtása:
  - Ha Szám adott (bemenő), és a  $c_1 c_2 \dots c_n$  karakterekből áll, akkor KódLista-t egyesíti a  $[k_1, k_2, \dots, k_n]$  kifejezéssel, ahol  $k_i$  a  $c_i$  karakter kódja.
  - Ha KódLista egy adott karakterkód-lista, akkor ezekből a karakterekből összerak egy számot (ha nem lehet, hibát jelez), és azt egyesíti Szám-mal.

## Prolog kifejezések általános rendezése: a < reláció



A különböző kif.-fajták sorrendje:

var < float < integer <  
< atom < compound

Egy kifejezésfaján belüli  
sorrendezés szabályai:

- Változók: rendszerfüggő (pl. memóriacím alapján)
- Egész és lebegőpontos számok: szokásosan  $(x < y \Leftrightarrow x < y)$
- Atomok: lexikografikus sorrend (abc < abcd, abcv < abcz)
- Összetett kif.-ek:  $név_a(a_1, \dots, a_n) < név_b(b_1, \dots, b_m) \Leftrightarrow$ 
  - $n < m$ , pl.  $p(x, s(u, v, w)) < a(b, c, d)$ , vagy
  - $n = m$ , és  $név_a < név_b$  (lexikografikusan), pl.  $a(x, y) < p(b, c)$ , vagy
  - $n = m$ ,  $név_a = név_b$ , és az első olyan  $i$ -re melyre  $a_i \neq b_i$ ,  $a_i < b_i$ , pl.  $r(1, u+v, 3, x) < r(1, u+v, 5, a)$

## Kifejezések összehasonlítása – beépített eljárások

- Beépített eljárások tetszőleges kifejezések összehasonlítására:

| hívás         | igaz, ha                                     |
|---------------|----------------------------------------------|
| Kif1 @< Kif2  | Kif1 < Kif2                                  |
| Kif1 @=< Kif2 | Kif2 $\not<$ Kif1                            |
| Kif1 @> Kif2  | Kif2 < Kif1                                  |
| Kif1 @>= Kif2 | Kif1 $\not<$ Kif2                            |
| Kif1 == Kif2  | Kif1 $\not<$ Kif2 $\wedge$ Kif2 $\not<$ Kif1 |
| Kif1 \== Kif2 | Kif1 < Kif2 $\vee$ Kif2 < Kif1               |

- Az összehasonlítás mindig a belső (kanonikus) alak szerint történik:
 

```
| ?- [1, 2, 3, 4] @< struktúra(1, 2, 3). => yes
```
- Beépített elj. tetszőleges lista rendezésére: sort(+L, ?S)  
Jelentése: az L lista @< szerinti rendezése S, ==/2 szerint azonos elemek ismétlődését kiszűrve.
 

```
| ?- sort([a,c,a,b,b,c,c,b,d,a(2,3),c(1),2.0,1,X], S).
S = [X,2.0,1,a,b,c,d,c(1),a(2,3)] ? ; no
(SWI):S = [X,1,2.0,a,b,c,d,c(1),a(2,3)]. :-()
```

## Összefoglalás: a Prolog egyenlőség-szerű beépített eljárásai

- $U = V$ : U egyesítendő V-vel. Soha sem jelez hibát.
 

```
| ?- X = 1+2.   => X = 1+2
| ?- 3 = 1+2.   => no
| ?- X == 1+2.  => no
| ?- 3 == 1+2.  => no
| ?- +(1,2)==1+2 => yes
```
- $U == V$ : U azonos V-vel. Soha sem jelez hibát és soha sem helyettesít be.
 

```
| ?- X := 1+2.  => hiba
| ?- 1+2 := X.  => hiba
| ?- 2+1 := 1+2. => yes
| ?- 2.0 := 1+1. => yes
```
- $U \text{ is } V$ : U egyesítendő a V aritmetikai kifejezés értékével. Hiba, ha V nem (tömör) aritmetikai kifejezés.
 

```
| ?- 2.0 is 1+1. => no
| ?- X is 1+2.   => X = 3
| ?- 1+2 is X.   => hiba
| ?- 3 is 1+2.   => yes
| ?- 1+2 is 1+2. => no
| ?- 1+2 .. X.   => X = [+ , 1, 2]
| ?- X .. [f,1]. => X = f(1)
```
- $(U \text{ .. } V$ : U „szétszedettje” a V lista)

## Összefoglalás: a Prolog nem-egyenlő jellegű beépített eljárásai

A nem-egyenlőség jellegű eljárások soha sem helyettesítenek be változót!

- $U \neq V$ :  $U$  nem egyesíthető  $V$ -vel.  
Soha sem jelez hibát.
 

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| ?- X \neq 1+2.      | ⇒ | no |
| ?- +(1,2) \neq 1+2. | ⇒ | no |
- $U \neq V$ :  $U$  nem azonos  $V$ -vel.  
Soha sem jelez hibát.
 

|                     |   |     |
|---------------------|---|-----|
| ?- X \neq 1+2.      | ⇒ | yes |
| ?- 3 \neq 1+2.      | ⇒ | yes |
| ?- +(1,2) \neq 1+2. | ⇒ | no  |
- $U \neq V$ : Az  $U$  és  $V$  aritmetikai kifejezések értéke különbözik.  
Hibát jelez, ha  $U$  vagy  $V$  nem (tömör) aritmetikai kifejezés.
 

|                  |   |             |
|------------------|---|-------------|
| ?- X \neq 1+2.   | ⇒ | <b>hiba</b> |
| ?- 1+2 \neq X.   | ⇒ | <b>hiba</b> |
| ?- 2+1 \neq 1+2. | ⇒ | no          |
| ?- 2.0 \neq 1+1. | ⇒ | no          |

## Az egyesítés kiegészítése: előfordulás-ellenőrzés, *occurs check*

- Kérdés:  $x$  és  $s(x)$  egyesíthető-e?
  - A matematikai válasz: *nem*, egy változó nem egyesíthető egy olyan struktúrával, amelyben előfordul (ez az előfordulás-ellenőrzés).
  - Az ellenőrzés költséges, ezért alaphelyzetben nem alkalmazzák (emiattn ún. ciklikus kifejezések keletkezhetnek)
  - Szabványos eljárásként rendelkezésre áll:  
unify\_with\_occurs\_check/2
  - Kiterjesztés (pl. SICStus): az előfordulás-ellenőrzés elhagyása miatt keletkező ciklikus kifejezések tisztességes kezelése.
- Példák:
 

```
| ?- X = s(1,X).
      X = s(1,s(1,s(1,s(1,s(...)))))) ?
| ?- unify_with_occurs_check(X, s(1,X)).
      no
| ?- X = s(X), Y = s(s(Y)), X = Y.
      X = s(s(s(s(s(...))))), Y = s(s(s(s(s(...)))))) ?
```

## A Prolog (nem-)egyenlőség jellegű beépített eljárásai – példák

|     |        | Egyesítés |            | Azonosság |            | Aritmetika |            |                   |
|-----|--------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------------|
| $U$ | $V$    | $U = V$   | $U \neq V$ | $U == V$  | $U \neq V$ | $U =: V$   | $U \neq V$ | $U \text{ is } V$ |
| 1   | 2      | no        | yes        | no        | yes        | no         | yes        | no                |
| a   | b      | no        | yes        | no        | yes        | error      | error      | error             |
| 1+2 | +(1,2) | yes       | no         | yes       | no         | yes        | no         | no                |
| 1+2 | 2+1    | no        | yes        | no        | yes        | yes        | no         | no                |
| 1+2 | 3      | no        | yes        | no        | yes        | yes        | no         | no                |
| 3   | 1+2    | no        | yes        | no        | yes        | yes        | no         | yes               |
| X   | 1+2    | X=1+2     | no         | no        | yes        | error      | error      | X=3               |
| X   | Y      | X=Y       | no         | no        | yes        | error      | error      | error             |
| X   | X      | yes       | no         | yes       | no         | error      | error      | error             |

Jelmagyarázat: yes – siker; no – meghiúsulás, error – hiba.