Seznamy
(pokračování)

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
```

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
        | (2)
        | A=[1|B]
```

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
        | (2)
        | A=[1|B]
        |
:- append([2],[3,4],B).
```

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
        | (2)
        | A=[1|B]
        |
:- append([2],[3,4],B).
        | (2)
        | B=[2|C]  => A=[1,2|C]
```

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
        | (2)
        | A=[1|B]
        |
:- append([2],[3,4],B).
        | (2)
        | B=[2|C]  => A=[1,2|C]
        |
:- append([],[3,4],C).
```

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).     % (1)
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).   % (2)

:- append([1,2],[3,4],A).
        | (2)
        | A=[1|B]
        |
:- append([2],[3,4],B).
        | (2)
        | B=[2|C]  => A=[1,2|C]
        |
:- append([],[3,4],C).
        | (1)
        | C=[3,4]  => A=[1,2,3,4],
        |
       yes
```

Optimalizace posledního volání

- **Last Call Optimization (LCO)**
- Implementační technika snižující nároky na paměť
- Mnoho vnořených rekurzivních volání je náročné na paměť
- Použití LCO umožňuje vnořenou rekurzi s konstantními pamětovými nároky
- Typický příklad, kdy je možné použití LCO:
  - procedura musí mít pouze jedno rekurzivní volání: **v posledním cíli poslední klauzule**
  - cíle předcházející tomuto rekurzivnímu volání musí být **deterministické**
  - ```
    p( ... ) :- ...                % žádné rekurzivní volání v těle klauzule
    p( ... ) :- ...                % žádné rekurzivní volání v těle klauzule
    ...
    p(...) :- ..., !, p( ... ). % řez zajišťuje determinismus
    ```
- Tento typ **rekurze lze převést na iteraci**
    ```

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length( Seznam, Delka )`

```
length( [], 0 ).
length( [ H | T ], Delka ) :- length( T, Delka0 ), Delka is 1 + Delka0.
```

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length( Seznam, Delka )`

```
length( [], 0 ).
length( [ H | T ], Delka ) :- length( T, Delka0 ), Delka is 1 + Delka0.
```

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDelka, CelkovaDelka ):
%          CelkovaDelka = ZapocitanaDelka + ,,počet prvků v Seznam''
```

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length( Seznam, Delka )`

```
length( [], 0 ).
length( [ H | T ], Delka ) :- length( T, Delka0 ), Delka is 1 + Delka0.
```

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDelka, CelkovaDelka ):
%          CelkovaDelka = ZapocitanaDelka + ,,počet prvků v Seznam''

length( Seznam, Delka ) :- length( Seznam, 0, Delka ). % pomocný predikát

length( [], Delka, Delka ).                  %  celková délka = započítaná délka
length( [ H | T ], A, Delka ) :- A0 is A + 1, length( T, A0, Delka ).
```

- Přídavný argument se nazývá **akumulátor**

max_list s akumulátorem

Výpočet největšího prvku v seznamu max_list(Seznam, Max)

```
max_list([X], X).

max_list([X|T], Max) :-
   max_list(T,MaxT),
   ( MaxT >= X, !, Max = MaxT
   ;
     Max = X ).
```

max_list s akumulátorem

Výpočet největšího prvku v seznamu max_list(Seznam, Max)

```
max_list([X], X).

max_list([X|T], Max) :-
   max_list(T,MaxT),
   ( MaxT >= X, !, Max = MaxT
   ;
     Max = X ).
```

```
max_list([H|T],Max) :- max_list(T,H,Max).

max_list([], Max, Max).
max_list([H|T], CastecnyMax, Max) :-
   ( H > CastecnyMax, !,
     max_list(T, H, Max )
   ;
     max_list(T, CastecnyMax, Max) ).
```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí

  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`

  - ```
    reverse( [], [] ).
    reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
    ```
    ```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí
  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`
  - ```
    reverse( [], [] ).
    reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
            reverse( T, OpacnyT ),
            append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
    ```
  - naivní `reverse` s kvadratickou složitosti
    ```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí
  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`
  - ```
    reverse( [], [] ).
    reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
            reverse( T, OpacnyT ),
            append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
    ```
  - naivní reverse s kvadratickou složitosti
- reverse pomocí akumulátoru s lineární složitostí
  - ```
    % reverse( Seznam, Akumulator, Opacny ):
    %   Opacny  obdržíme přídáním prvků ze  Seznam  do  Akumulator  v opacnem poradi
    ```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí
  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`
  - ```
    reverse( [], [] ).
    reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
            reverse( T, OpacnyT ),
            append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
    ```
  - naivní `reverse` s kvadratickou složitosti
- `reverse` pomocí akumulátoru s lineární složitostí
  - ```
    % reverse( Seznam, Akumulator, Opacny ):
    %   Opacny  obdržíme přídáním prvků ze  Seznam  do  Akumulator  v opacnem poradi
    reverse( Seznam, OpacnySeznam ) :- reverse( Seznam, [], OpacnySeznam).
    reverse( [], S, S ).
    reverse( [ H | T ], A, Opacny ) :-
          reverse( T, [ H | A ], Opacny ).          % přidání H do akumulátoru
    ```

Akumulátor jako seznam

- Nalezení seznamu, ve kterém jsou prvky v opačném pořadí
  `reverse( Seznam, OpacnySeznam )`
  - ```
    reverse( [], [] ).
    reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
            reverse( T, OpacnyT ),
            append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
    ```
  - naivní `reverse` s kvadratickou složitosti
- `reverse` pomocí akumulátoru s lineární složitostí
  - ```
    % reverse( Seznam, Akumulator, Opacny ):
    %   Opacny  obdržíme přídáním prvků ze  Seznam  do  Akumulator  v opacnem poradi
    reverse( Seznam, OpacnySeznam ) :- reverse( Seznam, [], OpacnySeznam).
    reverse( [], S, S ).
    reverse( [ H | T ], A, Opacny ) :-
          reverse( T, [ H | A ], Opacny ).                    % přidání H do akumulátoru
    ```
  - zpětná konstrukce seznamu (srovnej s předchozí dopřednou konstrukcí, např. append)

Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů
- ```
  append( [], S, S ).
  append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3 ).
  ```
  ```

Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů
- ```
  append( [], S, S ).
  append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3 ).
  ```
- ```
  ?- append( [2,3], [1], S ).
  ```

Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů
- ```
  append( [], S, S ).
  append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3 ).
  ```
- ```
  ?- append( [2,3], [1], S ).
  ```
  postupné volání cílů:

  append([2,3], [1], S) → append([3], [1], S') → append([], [1], S'')

Neefektivita při spojování seznamů

- Sjednocení dvou seznamů
- ```
  append( [], S, S ).
  append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3 ).
  ```
- ```
  ?- append( [2,3], [1], S ).
  ```
  postupné volání cílů:

  append([2,3], [1], S) → append([3], [1], S') → append([], [1], S'')
- Vždy je nutné projít celý první seznam

Rozdílové seznamy

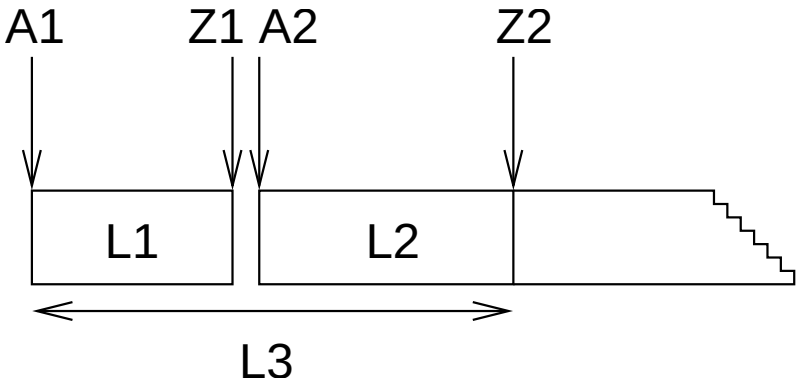
- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`

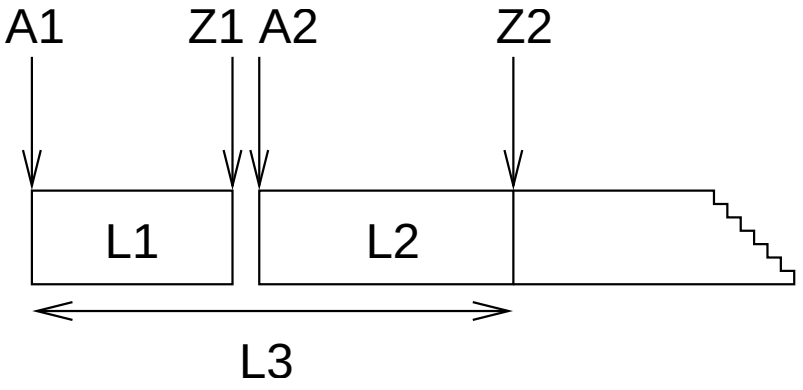



```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
```

L1 L2 L3

Rozdílové seznamy

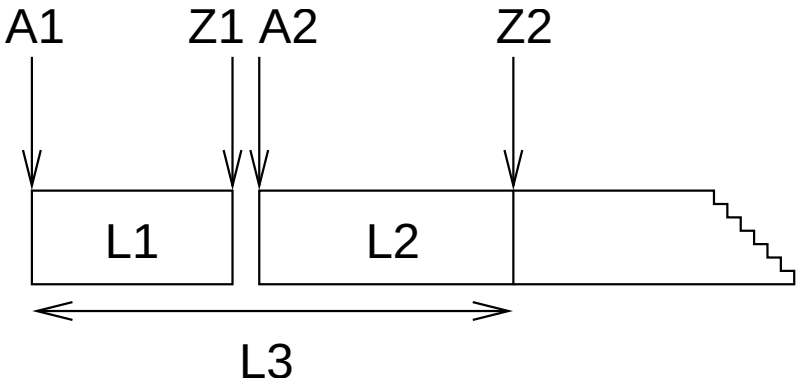
- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`




```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
          L1      L2       L3
        [2,3]     [1]      [2,3,1]
[2,3|Z1]-Z1   [1|Z2]-Z2
```

Rozdílové seznamy

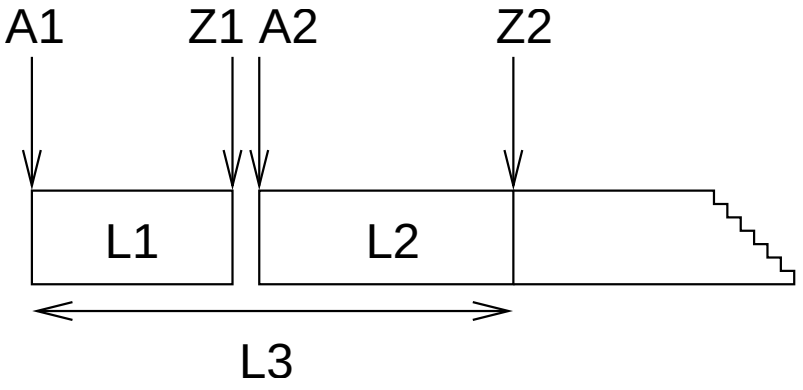
- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`




```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
          L1      L2       L3
       [2,3]     [1]      [2,3,1]
[2,3|Z1]-Z1  [1|Z2]-Z2
                          [2,3|Z1]-Z2
```

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`

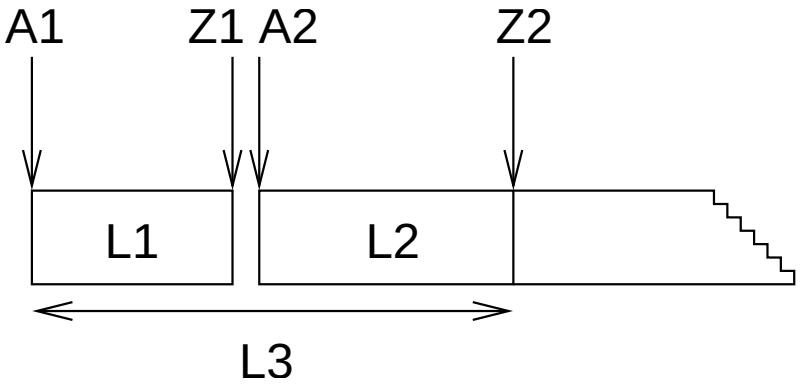



```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
```

L1	L2	L3
[2,3]	[1]	[2,3,1]
[2,3|Z1]-Z1	[1|Z2]-Z2	
		[2,3|Z1]-Z2
		[2,3,1|Z2]-Z2

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: **rozdílové seznamy**
- `[a,b] = L1-L2 = [a,b|T]-T = [a,b,c|S]-[c|S] = [a,b,c]-[c]`
- Reprezentace prázdného seznamu: `L-L`




```
append( A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2 ).
          L1      L2       L3
       [2,3]     [1]      [2,3,1]
[2,3|Z1]-Z1  [1|Z2]-Z2
                          [2,3|Z1]-Z2
                          [2,3,1|Z2]-Z2
```

- `?- append( [2,3|Z1]-Z1, [1|Z2]-Z2, S ).`

  `S = A1 - Z2 = [2,3|Z1] - Z2 = [2,3| [1|Z2] ] - Z2`

  `Z1 = [1|Z2]` `S = [2,3,1|Z2]-Z2`

- Jednotková složitost, oblíbená technika ale není tak flexibilní

Akumulátor vs. rozdílové seznamy: reverse

```
reverse( [], [] ).
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
        reverse( T, OpacnyT ),
        append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

kvadratická složitost

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, [], Opacny ).

reverse0( [], S, S ).
reverse0( [ H | T ], A, Opacny ) :-
         reverse0( T, [ H | A ], Opacny ).
```

akumulátor (lineární)

Akumulátor vs. rozdílové seznamy: reverse

```
reverse( [], [] ).
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
        reverse( T, OpacnyT ),
        append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

kvadratická složitost

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, [], Opacny ).

reverse0( [], S, S ).
reverse0( [ H | T ], A, Opacny ) :-
         reverse0( T, [ H | A ], Opacny ).
```

akumulátor (lineární)

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, Opacny-[]).

reverse0( [], S-S ).
reverse0( [ H | T ], Opacny-OpacnyKonec  ) :-
         reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).
```

rozdílové seznamy (lineární)

Akumulátor vs. rozdílové seznamy: reverse

```
reverse( [], [] ).
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-
        reverse( T, OpacnyT ),
        append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

kvadratická složitost

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, [], Opacny ).

reverse0( [], S, S ).
reverse0( [ H | T ], A, Opacny ) :-
         reverse0( T, [ H | A ], Opacny ).
```

akumulátor (lineární)

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, Opacny-[]).

reverse0( [], S-S ).
reverse0( [ H | T ], Opacny-OpacnyKonec  ) :-
         reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).
```

rozdílové seznamy (lineární)

Příklad: operace pro manipulaci s frontou

- test na prázdnost, přidání na konec, odebrání ze začátku

Vestavěné predikáty

Vestavěné predikáty

- Predikáty pro řízení běhu programu
  - `fail`, `true`, ...
- Různé typy rovností
  - unifikace, aritmetická rovnost, ...
- Databázové operace
  - změna programu (programové databáze) za jeho běhu
- Vstup a výstup
- Všechna řešení programu
- Testování typu termu
  - proměnná?, konstanta?, struktura?, ...
- Konstrukce a dekompozice termu
  - argumenty?, funktor?, ...

Databázové operace

- Databáze: specifikace množiny relací
- Prologovský program: **programová databáze**, kde jsou relace specifikovány explicitně (fakty) i implicitně (pravidly)
- Vestavěné predikáty pro změnu databáze během provádění programu:

`assert( Klauzule )`	přidání `Klauzule` do programu
`asserta( Klauzule )`	přidání na začátek
`assertz( Klauzule )`	přidání na konec
`retract( Klauzule )`	smazání klauzule unifikovatelné s `Klauzule`

- Pozor: nadměrné použití těchto operací snižuje srozumitelnost programu

Příklad: databázové operace

- ***Caching***: odpovědi na dotazy jsou přidány do programové databáze

Příklad: databázové operace

- ***Caching***: odpovědi na dotazy jsou přidány do programové databáze
  - `?- solve( problem, Solution),`
    `asserta( solve( problem, Solution) ).`
  - `:- dynamic solve/2.` % nezbytné při použití v SICStus Prologu

Příklad: databázové operace

- ***Caching***: odpovědi na dotazy jsou přidány do programové databáze
  - `?- solve( problem, Solution),`
    `asserta( solve( problem, Solution) ).`
  - `:- dynamic solve/2.` % nezbytné při použití v SICStus Prologu
- Příklad:

```
uloz_trojice( Seznam1, Seznam2 ) :-
        member( X1, Seznam1 ),
        member( X2, Seznam2 ),
        spocitej_treti( X1, X2, X3 ),
        assertz( trojice( X1, X2, X3 ) ),
        fail.
```

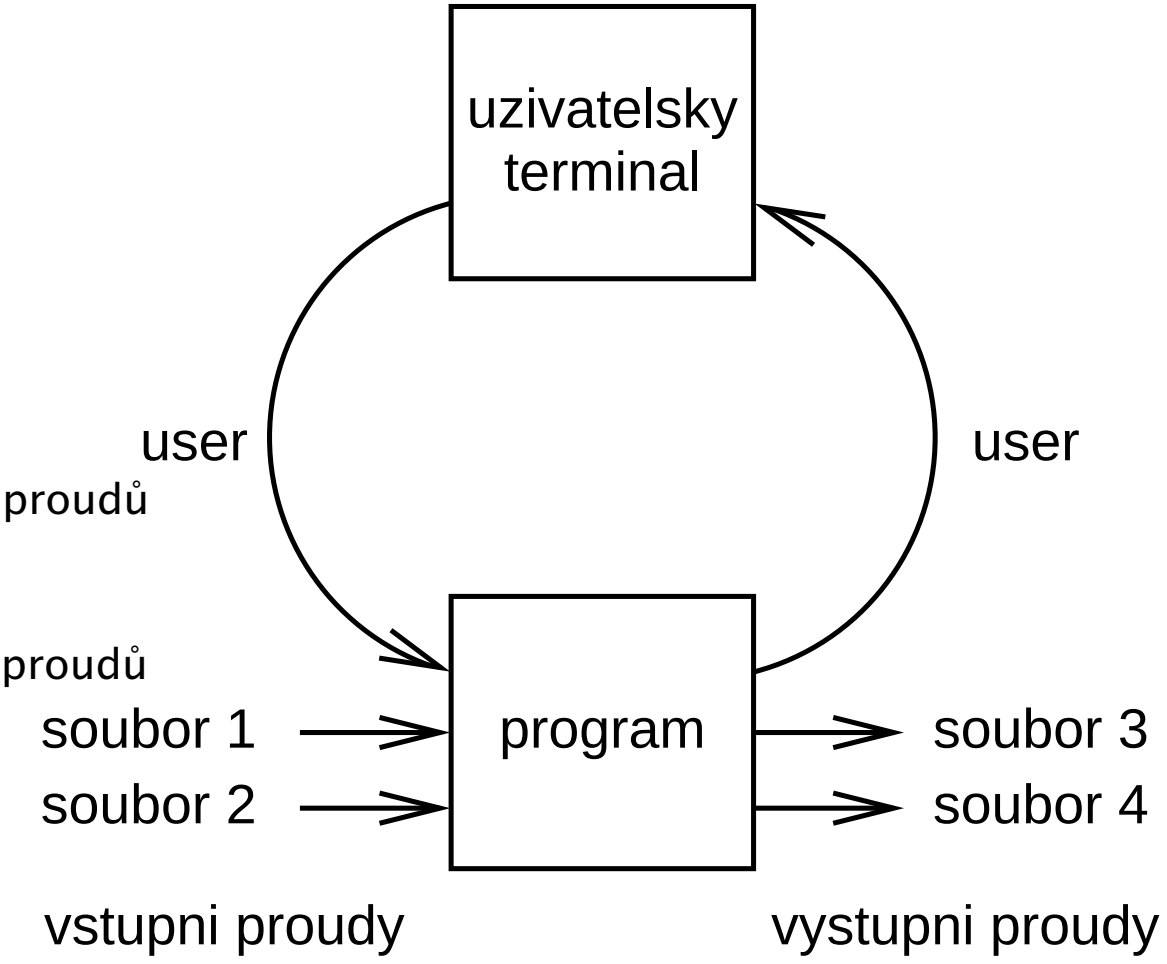
Příklad: databázové operace

- ***Caching***: odpovědi na dotazy jsou přidány do programové databáze
  - `?- solve( problem, Solution),`
    `asserta( solve( problem, Solution) ).`
  - `:- dynamic solve/2.` % nezbytné při použití v SICStus Prologu
- Příklad:

```
uloz_trojice( Seznam1, Seznam2 ) :-
        member( X1, Seznam1 ),
        member( X2, Seznam2 ),
        spocitej_treti( X1, X2, X3 ),
        assertz( trojice( X1, X2, X3 ) ),
        fail.
uloz_trojice( _, _ ) :- !.
```

Vstup a výstup

- program může číst data ze **vstupního proudu** (*input stream*)
- program může zapisovat data do **výstupního proudu** (*output stream*)
- dva **aktivní proudy**
  - aktivní vstupní proud
  - aktivní výstupní proud
- **uživatelský terminál** – `user`
  - datový vstup z terminálu
    chápán jako jeden ze vstupních proudů
  - datový výstup na terminál
    chápán jako jeden z výstupních proudů



Vstupní a výstupní proudy: vestavěné predikáty

- změna (**otevření**) aktivního vstupního/výstupního proudu: `see(S)/tell(S)`

```
cteni( Soubor ) :- see( Soubor ),
                   cteni_ze_souboru( Informace ),
                   see( user ).
```

- **uzavření** aktivního vstupního/výstupního proudu: `seen/told`

Vstupní a výstupní proudy: vestavěné predikáty

- změna (**otevření**) aktivního vstupního/výstupního proudu: `see(S)/tell(S)`

```
cteni( Soubor ) :- see( Soubor ),
                   cteni_ze_souboru( Informace ),
                   see( user ).
```

- **uzavření** aktivního vstupního/výstupního proudu: `seen/told`
- **zjištění** aktivního vstupního/výstupního proudu: `seeing(S)/telling(S)`

```
cteni( Soubor ) :- seeing( StarySoubor ),
                   see( Soubor ),
                   cteni_ze_souboru( Informace ),
                   seen,
                   see( StarySoubor ).
```

Sekvenční přístup k textovým souborům

- **čtení** dalšího **termu**: `read(Term)`
  - při čtení jsou termy odděleny tečkou

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
```

Sekvenční přístup k textovým souborům

- **čtení** dalšího **termu**: `read(Term)`
  - při čtení jsou termy odděleny tečkou

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
|: ahoj. ahoj( petre ). [ ahoj( 'Petre!' ), jdeme ].
A = ahoj, B = petre, C = ahoj('Petre!'), D = jdeme
```

Sekvenční přístup k textovým souborům

- **čtení** dalšího **termu**: `read(Term)`
  - při čtení jsou termy odděleny tečkou

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
|: ahoj. ahoj( petre ). [ ahoj( 'Petre!' ), jdeme ].
A = ahoj, B = petre, C = ahoj('Petre!'), D = jdeme
```

  - po dosažení konce souboru je vrácen atom `end_of_file`
- **zápis** dalšího **termu**: `write(Term)`

```
?- write( ahoj ).    ?- write( 'Ahoj Petre!' ).
```

nový řádek na výstup: `nl`

N mezer na výstup: `tab(N)`

Sekvenční přístup k textovým souborům

- **čtení** dalšího **termu**: `read(Term)`
  - při čtení jsou termy odděleny tečkou

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
|: ahoj. ahoj( petre ). [ ahoj( 'Petre!' ), jdeme ].
A = ahoj, B = petre, C = ahoj('Petre!'), D = jdeme
```

  - po dosažení konce souboru je vrácen atom `end_of_file`
- **zápis** dalšího **termu**: `write(Term)`

```
?- write( ahoj ).    ?- write( 'Ahoj Petre!' ).
```

  nový řádek na výstup: `nl`

  N mezer na výstup: `tab(N)`
- **čtení/zápis** dalšího **znaku**: `get0(Znak)`, `get(NeprazdnyZnak)`/`put(Znak)`
  - po dosažení konce souboru je vrácena `-1`

Příklad čtení ze souboru

```
process_file( Soubor ) :-
        seeing( StarySoubor ),          % zjištění aktivního proudu
        see( Soubor ),                  % otevření souboru  Soubor
        repeat,
           read( Term ),                % čtení termu  Term
           process_term( Term ),        % manipulace s termem
           Term == end_of_file,         % je konec souboru?
        !,
        seen,                           % uzavření souboru
        see( StarySoubor ).             % aktivace původního proudu

repeat.                                 % opakování
repeat :- repeat.
```

Čtení programu ze souboru

- **Interpretování** kódu programu
  - `?- consult(program).`
  - `?- consult('program.pl').`
  - `?- consult( [program1, 'program2.pl'] ).`
- **Kompilace** kódu programu
  - ?- compile([program1, 'program2.pl']).
  - ?- [program].
  - ?- [user]. **zadávání kódu ze vstupu** ukončené CTRL+D
  - další varianty podobně jako u interpretování
  - typické zrychlení: 5 až 10 krát