Úvod do TI - logika
Logické programování, PROLOG (10.přednáška)

Marie Duží
marie.duzi@vsb.cz

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Základy (logika) Prologu

- **Metoda** (čistého) **logického programování** je speciálním případem obecné rezoluční metody. Oproti obecné rezoluční metodě splňuje následující omezení:

- Pracuje pouze s Hornovými klauzulemi (které mají ***nanejvýš jeden pozitivní literál***).

- Používá **lineární strategii generování rezolvent** spolu s tzv. **navracením (backtracking)**.

Základy (logika) Prologu

- V logickém programování používáme následující terminologii:

- Zápisy: $P :- Q_1, Q_2,..,Q_n$. → *podmíněné příkazy* (**pravidla**)

  (což je ekvivalentní: $\neg Q_1 \vee \neg Q_2 \vee \ldots \vee \neg Q_n \vee P$, neboli $(Q_1 \wedge Q_2 \wedge \ldots \wedge Q_n) \supset P$)

- Zápis P. → *nepodmíněný příkaz* (**fakt**)

- Zápisy $?- Q_1, Q_2,..,Q_n$. → *cíle* (**cílové klauzule, dotazy**)

  (což je ekvivalentní: $\neg Q_1 \vee \neg Q_2 \vee \ldots \vee \neg Q_n$)

- Zápis ■, YES: → *spor* (**prázdná klauzule**)

Základy (logika) Prologu

- **Logický program** je posloupnost příkazů (procedur) podmíněných (tj. pravidel) i nepodmíněných (tj. faktů). Cílová klauzule zadává ***otázky***, na které má program nalézt odpovědi.

- *Pozn.*: Logický program je ***deklarativní*** *(ne imperativní)*. Specifikujeme, ”**co** se má provést” a (téměř) **ne**určujeme, ”**jak** se to má provést”.

- V podstatě jsou v Prologu pouze 2 možnosti, jak ovlivnit provádění programu:
  - Pořadí klauzulí a literálů
  - Příkaz ! (řez, cut)

Příklad

- Všichni studenti jsou mladší než Petrova matka. Karel a Mirka jsou studenti. *Kdo je mladší než Petrova matka?*

- **Zápis v PL1**:

  $\forall x\, [\mathrm{St}(x) \supset \mathrm{Ml}(x, f(\mathrm{a}))]$
  St(b)
  St(c)
  $\Rightarrow \exists y\ \mathrm{Ml}(y, f(\mathrm{a}))$???

- **Zápis v Prologu**:

  mladsi(X, matka(petr)):- student(X). pravidlo
  student(karel). fakt
  student(mirka). fakt
  ?- mladsi(Y, matka(petr)). dotaz

Základy (logika) Prologu: Příklad

- Řešení rezolucí v PL1 (*a* = Petr, *b* = Karel, *c* = Mirka):

1. $\neg St(x) \lor Ml(x, f(a))$
2. $St(b)$
3. $St(c)$
4. $(\forall y)\ \neg Ml(y, f(a))$ negovaný závěr
5. $Ml(b, f(a))$ rezoluce 1.,2.; x / b
6. spor – YES (y / b)
7. $Ml(c, f(a))$ rezoluce 1.,3.; x / c
8. spor – YES (y / c)

Příklad

- Řešení v Prologu:

mladsi(X, matka(petr)):- student(X). pravidlo
student(karel). fakt
student(mirka).fakt
?- mladsi(Y, matka(petr)). dotaz

Překladač provádí unifikaci a rezoluci, **lineární strategie řízená cílem**:

1) Cíl ?- mladsi(Y, matka(petr)) unifikuje s mladsi(X, matka(petr)), Y=X;
2) Generuje nový cíl: ?- student(Y)
3) Unifikuje tento cíl s 2. faktem v databázi: úspěch při Y=karel
4) Vydá odpověď : **YES, Y = karel ;**

Můžeme zadat ; to znamená, že se ptáme „a kdo ještě?“ Vyvolá tzv. ***backtracking*****,** tj. proces navracení. Vrátí se k poslednímu cíli a pokouší se splnit jej znovu: ?- student(Y).
Teď již nemůže použít 2. klausuli (pamatuje si místo, které již bylo užito), ale může použít 3. klausuli:

5) Vydá odpověď: **YES, Y = mirka**;
NO

Příklad

mladsi(X, matka(petr)):- student(X). pravidlo

student(karel). fakt

student(mirka). fakt

mladsi(X, matka(petr)):- dite(X, matka(petr)).
pravidlo

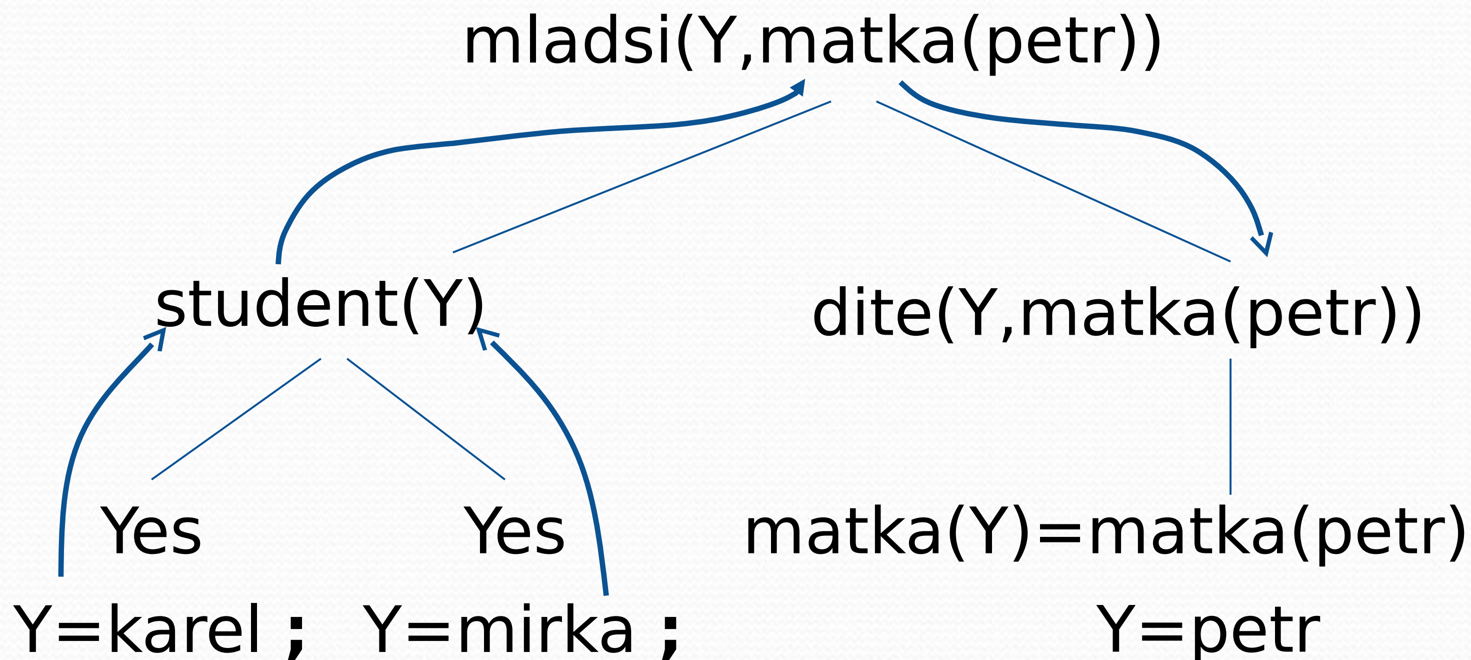
dite(X,Y):-Y=matka(X). pravidlo

?- mladsi(Y, matka(petr)). dotaz

a) Vydá odpověď : **YES, Y = Karel ;**
b) Vydá odpověď : **YES, Y = Mirka ;**

Jak to bude fungovat dál? Měla by přijít odpověď **Y = Petr** (Petr je mladší než jeho matka).

Navracení (backtracking)



...

Základy Prologu

mladsi(X, matka(petr)):- student(X). pravidlo

student(karel). fakt

student(mirka). fakt

mladsi(X, matka(petr)):- dite(X, matka(petr)). pravidlo

dite(X,Y):-Y=matka(X). pravidlo

?- mladsi(Y, matka(petr)). dotaz

a) Vydá odpověď : **YES, Y = Karel ;**

b) Vydá odpověď : **YES, Y = Mirka ;**

c) Vydá odpověď : **Yes, Y = Petr.** (Petr je mladší než jeho matka.)

Položíme další dotaz: ?- student(petr).

Odpověď: **NO**

To ovšem **neznamená,** že Petr ve skutečnosti není student, nebo že neexistují jiní studenti. Pouze není uveden v dané bázi znalostí: **předpoklad uzavřeného světa** (platí jen to, co je v bázi znalostí)**.**

Negace jako neúspěch při odvozování. Nemůžeme přímo zadat negativní fakta.

Prolog - negace

- Nemůžeme zadat přímo, že např. Marie není student. Můžeme použít predikát ***not***:

```
Not(student(marie)):-
call(student(marie)), !, fail.
not(student(marie)).
```

- not(student(marie)).
  - Pokud z báze znalostí vyplývá, že student(marie), pak selže.
  - Pokud call(student(marie)) selže, pak uspěje.
  - cut ! – řez: odřízne možnost navracení: „nezkoušej to znovu“.
- Negace jako neúspěch při odvozování.

Základy („logika“) Prologu

Logický program je ***deklarativní*** *(ne imperativní)*. Specifikujeme, ”**co** se má provést” a (téměř) **ne**určujeme, ”**jak** se to má provést”.

Cestu, jak odpovědět na dotazy, najde překladač, tj. určí, co vyplývá ze zadané báze znalostí, a jaké hodnoty je nutno substituovat unifikací za proměnné.

Omezení na Hornovy klauzule však může někdy činit potíže. Viz příklad – hádanka.

Shrnutí omezení: nanejvýš jeden pozitivní literál, nemůžeme vyjádřit přímo negativní fakta, lineární strategie řízená cílem.

Negace = neúspěch při odvozování !

Příklad, hádanka – nanejvýš 1 pozitivní literál!

- Tom, Peter and John are members of a sport club. Every member of the club is **a skier or a climber**. No climber likes raining. All skiers like snow. Peter does not like what Tom likes, and does like what Tom does not like. Tom likes snow and raining.

- *Question*: Is there in the club a sportsman who is a climber but not a skier?

- *Solution: Knowledge base (+ query 11):*

1. $SC(t)$
2. $SC(p)$
3. $SC(j)$
4. $\forall x\ [\ SC(x) \supset \mathbf{(SKI(x) \lor CLIMB(x))}\ ]$ **problém:** 2 pozitivní literály.
5. $\forall x\ [\ CLIMB(x) \supset \neg LIKE(x,r)\ ]$
6. $\forall x\ [\ SKI(x) \supset LIKE(x,s)]$
7. $\forall x\ [LIKE(t,x) \supset \neg LIKE(p,x)]$
8. $\forall x\ [\neg LIKE(t,x) \supset LIKE(p,x)]$
9. $LIKE(t,s)$
10. $LIKE(t,r)$
11. **?** $\mathbf{\exists x\ [SC(x) \land CLIMB(x) \land \neg SKI(x)]}$

Příklad: Euklidův algoritmus

1. nsd(X,X,X).
2. nsd(X,Y,Z):- X>Y, nsd(X-Y,Y,Z).
3. nsd(X,Y,Z):- Y>X, nsd(X,Y-X,Z).

Pozn.: V běžných implementacích Prologu je vestavěna základní aritmetika.

4. ?- nsd(4,6,Z).

Dotaz: hledáme největšího společného dělitele čísel 4 a 6.

Výpočet:

5. ?- 4>6, nsd(4-6,6,Z) rezoluce: 4.,2.
4. ?- nsd(4,6,Z) backtracking
5. ?- 6>4, nsd(4,6-4,Z) rezoluce: 4,3.
6. ?- nsd(4,2,Z) „Výpočet“ klausule 5., fakt "6>4"
7. ?- 4>2, nsd(4-2,2,Z) rezoluce: 6.,2.
8. ?- nsd(2,2,Z) „Výpočet“ klausule 7., fakt "4>2"
9. ano rezoluce: 8.,1. **výsledek: Z = 2**

Příklad: generování přirozených čísel

1. nat(0). 0 je přirozené číslo
2. nat(s(X)):-nat(X). následník přirozeného čísla je přirozené číslo
3. ?- nat(s(X)). jaká jsou všechna přirozená čísla ?

Výpočet:

4. ?-nat(X) rezoluce: 3.,2.
5. YES, X = 0 ; neboť dotaz 3 je splněn pro X=0
3. ?- nat(s(X)) backtracking
4. ?-nat(X) rezoluce: 3.,5.
6. YES, X = s(0) ; neboť otázka 3. je splněna pro X=s(0)
7. YES, X = s(s(0))

......

Pozn.: srovnej Přednáška 9 - příklad na matematickou indukci.

Lineární strategie

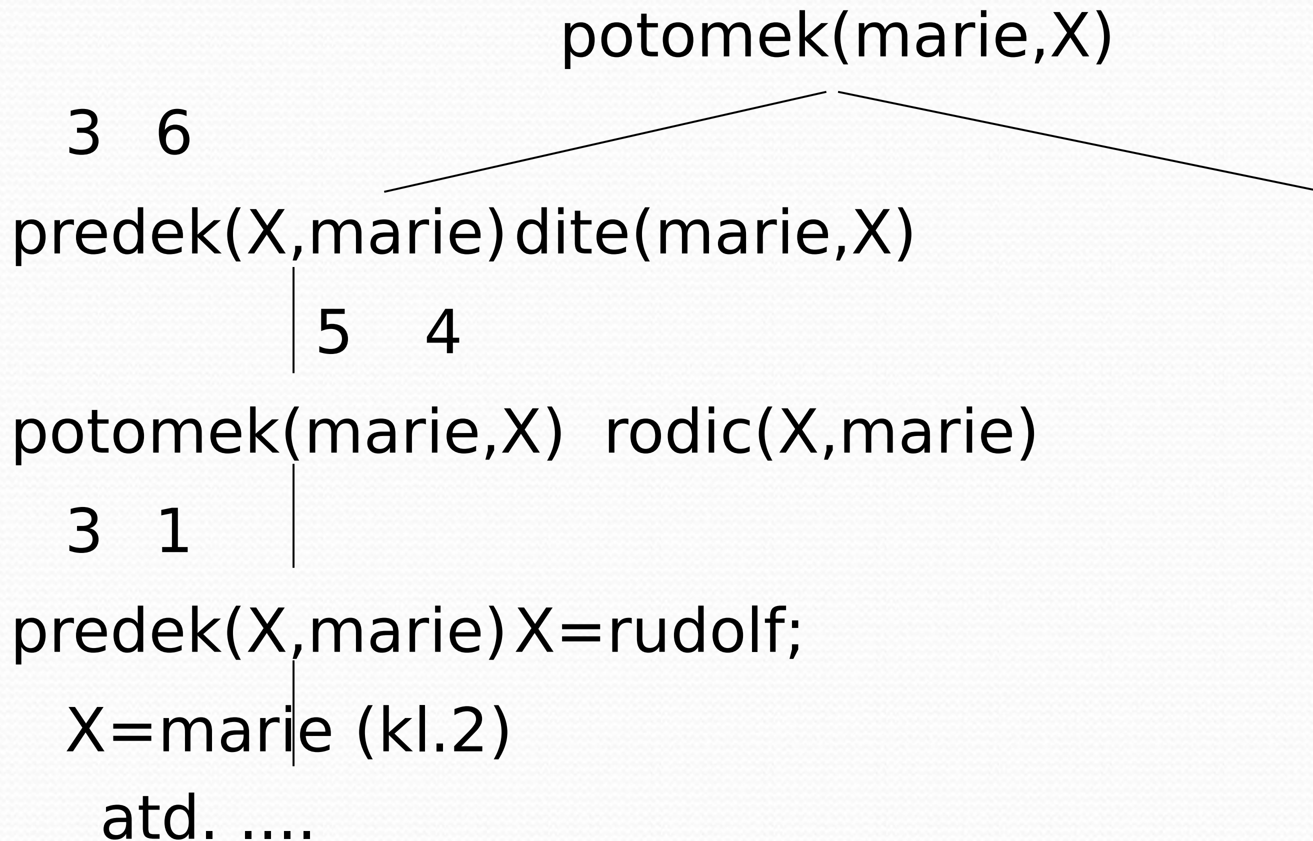
- Pořadí klauzulí může ovlivnit provádění programu („jak?“)

Program A:

1. rodic(rudolf, marie).
2. rodic(kveta,marie).
3. potomek(X,Y):- predek(Y,X).
4. dite(X,Y):- rodic(Y,X).
5. predek(X,Y):- potomek(Y,X).
6. potomek(X,Y):- dite(X,Y).
7. potomek(X,Y):- dite(X,Z), potomek(Z,Y).
8. ?- potomek(marie,X).

Pozn. Přejmenování proměnných provádí rovněž Prolog sám.

Strom výpočtu



Náš program nevydá odpověď, ačkoliv řešení existuje;**první pomoc**: dej (nedořešené) klauzule 3, 5 dozadu, a odřízni je pomocí „cut !“ dořešíš později

První pomoc (opatrně): cut !

Program B:

1. rodic(rudolf, marie).
2. rodic(kveta,marie).
3. potomek(X,Y):- dite(X,Y).
4. potomek(X,Y):- dite(X,Z), potomek(Z,Y).
5. dite(X,Y):- rodic(Y,X).
6. potomek(X,Y):- !, predek(Y,X).
7. predek(X,Y):- !, potomek(Y,X).
8. ?- potomek(marie,X).

Odřízneme „nedodělané větve“, tj. klauzule 6, 7 a umístíme je nakonec.

Pořadí klauzulí a literálů – „jak“?

1. rodic(rudolf, marie).
2. rodic(kveta,marie).
3. potomek(X,Y):- dite(X,Y).
4. potomek(X,Y):- potomek(X,Z), dite(Z,Y).
5. dite(X,Y):- rodic(Y,X).
6. ?- potomek(marie,W).

Výpočet: ?- dite(marie,W), ?-rodic(W,marie), W=rudolf;
W=kveta; ?????

Po druhém středníku se zacyklí:

?-rodic(W,marie), ?- dite(marie,W), ?- potomek(marie,W),
?-potomek(marie,Z), ?- dite(Z’,Z), ?- potomek(marie,Z’), ?-
dite(Z,Z’),
?- dite(Z’,Z’’), ...

Stačí zde přehodit literály ve 4. klauzuli.

Po přehození, správně:

1. rodic(rudolf, marie).
2. rodic(kveta,marie).
3. potomek(X,Y):- dite(X,Y).
4. potomek(X,Y):- dite(X,Z), **potomek(Z,Y).**
5. dite(X,Y):- rodic(Y,X).
6. ?- potomek(marie,W).

Pomocná zásada: v programu uvádějte **nejprve fakta, pak pravidla**.

V rekurzivních pravidlech **rekurzivní predikát až nakonec**.

Rekurzivní pravidla (obdoba cyklu v imperativních programovacích jazycích): predikát konsekventu (hlava pravidla) se opakuje v antecedentu (tělo pravidla)

Typický příklad: rekurze

Výpočet funkce **faktoriál**: *x*! = *x . x – 1 . ... . 1, 0*! = *1*

```
fact(0, Factorial, Factorial).
fact(Pocet,Pomocna,Factorial) :-
   P1 is Pocet – 1,
   I1 is Pomocna * Počet,
   fact(P1,I1,Factorial).
```

```
?- fact(3,1,X).
```

Výpočet:

fact(3,1,Factorial)   pomocná proměnná = 1
fact(2,3,Factorial)
fact(1,6,Factorial)
fact(0,6,Factorial)

YES, Factorial = 6

Lineární strategie řízená cílem + backtracking (navrácení) - shrnutí

- Interpret Prologu prohledává strom výpočtu programu zleva doprava a do hloubky (prohledávání do šířky by byla strategie korektní a úplná, ale vyžadovala by při implementaci více zásobníků).

- Tato lineární strategie není úplná, nemusí vydat řešení, i když existuje, pokud program uvízne v nekonečné větvi, která pořadím klauzulí předchází větvi se správným řešením.

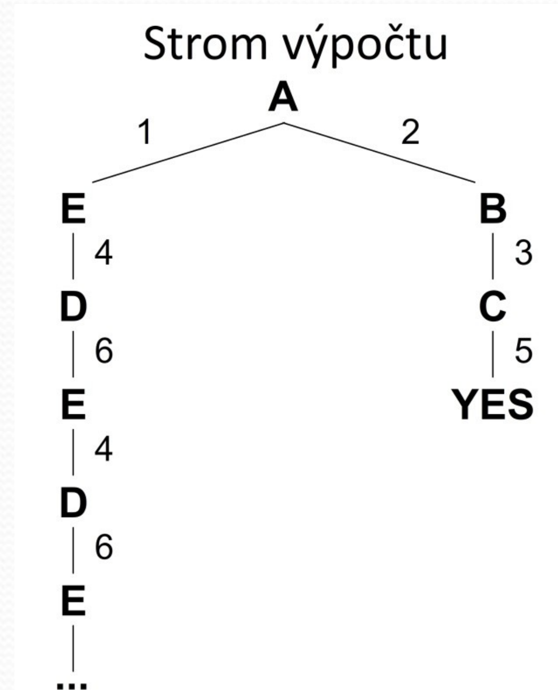
Algoritmus (lineární strategie řízená cílem) interpretace logického programu

1. Za aktuální cílovou klauzuli vezmi výchozí cílovou klauzuli (dotaz).
2. Je-li aktuální cílová klauzule prázdná, ukonči výpočet s odpovědí "ano" na otázky položenou výchozí cílovou klauzulí. (Byly-li ve výchozí cílové klausuli volné proměnné, pak poslední substituce termů za tyto proměnné je řešením – součást odpovědi.) Není-li aktuální cílová klauzule prázdná, přejdi k bodu (3).
3. Vezmi nejlevější cíl v aktuální cílové klauzuli a hledej v programu příkaz se stejným jménem, který dosud nebyl s tímto cílem konfrontován (neúspěšně). Při hledání tohoto cíle postupuj v programu shora dolů (podle pořadí příkazů). Nenalezneš-li takový příkaz, ukonči výpočet s odpovědí "ne" na otázku položenou aktuální cílovou klauzulí. Nalezneš-li, přejdi k bodu (4).
4. Pokus se unifikovat hlavu vybraného cíle s hlavou nalezeného stejnojmenného příkazu. Jestliže unifikace neexistuje, vrať se k bodu (3). Jestliže existuje, vezmi za novou aktuální cílovou klauzuli rezolventu dosavadní cílové klauzule s tělem nalezeného příkazu (při užití nejobcnější unifikace hlavy cíle a hlavy příkazu). Přejdi k bodu (2).

Lineární strategie řízená cílem + backtracking (navracení) – příklad neúplnost

Program:

1. A:- E.
2. A:- B.
3. B:- C.
4. E:- D.
5. C.
6. D:- E.
7. ?- A.



Procedura A má dvě možnosti (větve) výpočtu.

První pomoc: přehodit větve, tj. klauzule 1 a 2. „Druhá pomoc“ – odříznout nekonečnou větev 1 pomocí Cut !

Klauzule řez: ! – obdoba „go to“

- Kontroluje a omezuje navracení.
- Odřízne „nepotřebné větve“.
- Tento cíl je splněn jen jednou, při pokusu o návrat na cíl ! vrací program až na cíl, který předcházel proceduře, která řez obsahuje (procedura je množina pravidel a faktů se stejnou hlavou = konsekvent).

- Červený řez – změní deklarativní sémantiku programu (špatná programátorská praxe).
- **Zelený** řez – nemění deklarativní sémantiku, pouze (pokud možno) zefektivní program:

  a) **R**ealizace „if, then, else“ (vylučující se nebo)
  b) **Z**pracování výjimek (chyb)
  c) **O**mezení prohledávání velkých databází (po určitém počtu průchodů a úspěšném nalezení)

Realizace „if, then, else“, cyklu pomocí „fail“

- **Opakovaně prováděj:**
  Je-li teplota vysoká (více než 30%), **pak** vypni topení, **jinak je-li** teplota nízká (méně než 15%), **pak** zapni topení, **jinak** nedělej nic.

```
termostat(Akce) :-
        teplota(X),
        akce(X,Akce),
        write('Proved:', Akce), nl,
        fail.    % selže, tedy vyvolá se navracení (backtraching).

akce(X,'zapni topeni') :- X < 15, !.
akce(X,'vypni topeni') :- X > 30, !.
akce(_,'nedelej nic').

?- termostat(X).
```

Realizace „if, then, else“, cyklu pomocí „fail“

```
termostat(Akce) :-
        teplota(X),
        akce(X,Akce),
        write(‘Proved:’, Akce), nl,
        fail.   % selže, tedy vyvolá se navracení (backtraching).

akce(X,’zapni topeni’) :- X < 15, !.
akce(X,’vypni topeni’) :- X > 30, !.
akce(_,’nedelej nic’).
```

Podtržení _ je anonymní proměnná, nepotřebuji její hodnotu.

```
?- termostat(X).
```

Výpočet, možné výpisy: zapni topeni, vypni topeni, nedelej nic.

Kdybychom nezařadili řez za každý test, vypisovalo by se vždy: zapni topeni, nedelej nic, vypni topeni, nedelej nic, nedelej nic, …

Realizace „if, then, else“, řešení bez řezu

```
akce(X,’zapni topeni’) :- X < 15.
akce(X,’vypni topeni’) :- X > 30.
akce(X,’nedelej nic’) :- not(X < 15), not(X >
    30).
```

- Méně efektivní řešení, zbytečně znovu testujeme na platnost obou (již testovaných) podmínek.

Zpracování výjimek, chyb

```
test(X) :- X = chyba, !, fail.
test(X) :- write('platne:', X).
```

- Pokud dojde k chybě, pak řez způsobí průchod na fail, test selže, ale návrat na druhou klauzuli (pokus o znovu-splnění cíle test(X)) se již neuskuteční, vrátí se až na klauzuli předcházející test.
- Ekvivalentní, ale *mnohem přehlednější program:*

```
test(X) :- not(X = chyba), write('platne:', X).
```

Datová struktura Seznam

- „potenciálně nekonečná uspořádaná *n*-tice“.
- Např. [ryba, želva, krab, chobotnice, …]
- Zadání tvaru [Hlava|Telo], kde **Hlava je prvek seznamu** a **Tělo je opět seznam**.
- Prázdný seznam [ ].
  - Procedura member (většinou je vestavěna) testuje zda první argument je prvek druhého argumentu (seznamu)

member(X,[X|_]).   je prvkem, pokud = 1.
member(X,[_|Y]) :- member(X,Y). jinak testuj tělo

  - Procedura append (spojuje dva seznamy)

append([ ],L,L).