

Dekompozice problému, AND/OR grafy

Aleš Horák

E-mail: `hales@fi.muni.cz`

`http://nlp.fi.muni.cz/uui/`

Obsah:

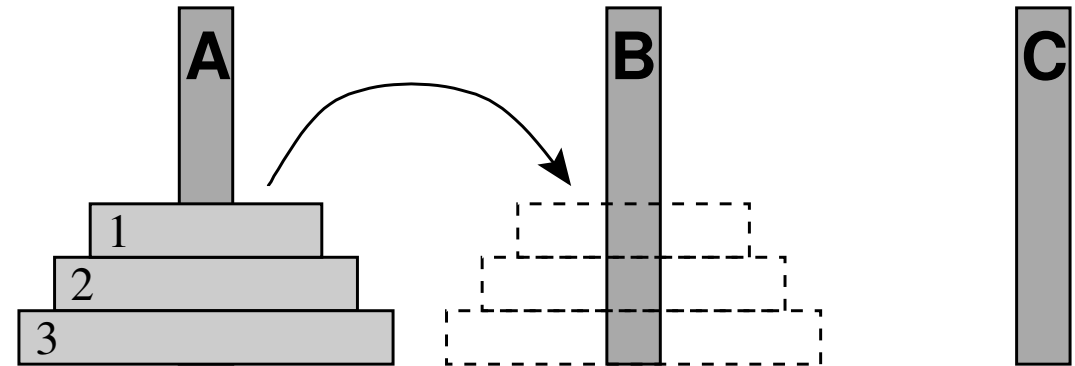
- Připomínka – průběžná písemka
- Příklad – Hanoiské věže
- AND/OR grafy
- Prohledávání AND/OR grafů

PŘIPOMÍNKA – PRŮBĚŽNÁ PÍSEMKA

- termín – **příští týden**, **25. října**, **10:00**, **A107**, na přednášce
- náhradní termín: **není**
- příklady (formou testu – odpovědi A, B, C, D, E, z látky probrané do 25.10.):
 - uveden příklad v Prologu, otázka **Co řeší tento program?**
 - uveden příklad v Prologu a cíl, otázka **Co je (návratová) hodnota výsledku?**
 - **upravte** (doplňte/změňte řádek) uvedený **program tak, aby...**
 - uvedeno několik **tvrzení**, potvrďte jejich pravdivost/nepravdivost
- rozsah: **4 příklady**
- hodnocení: **max. 32 bodů** – za *správnou odpověď* 8 bodů, za *žádnou odpověď* 0 bodů, za *špatnou odpověď* -3 bodů.

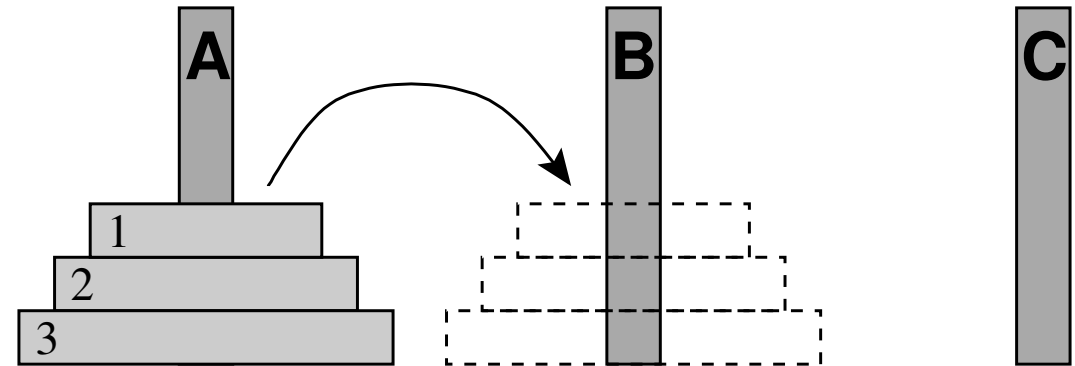
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE

- máme tři tyče: **A**, **B** a **C**.
- na tyči **A** je (podle velikosti) n kotoučů.
- úkol: přeskládat z **A** pomocí **C** na tyč **B**
(zaps. $n(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$) bez porušení uspořádání



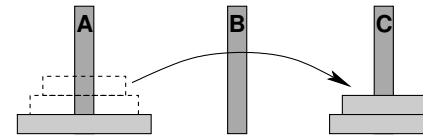
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE

- máme tři tyče: **A**, **B** a **C**.
- na tyči **A** je (podle velikosti) n kotoučů.
- úkol: přeskládat z **A** pomocí **C** na tyč **B** (zaps. $n(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$) bez porušení uspořádání



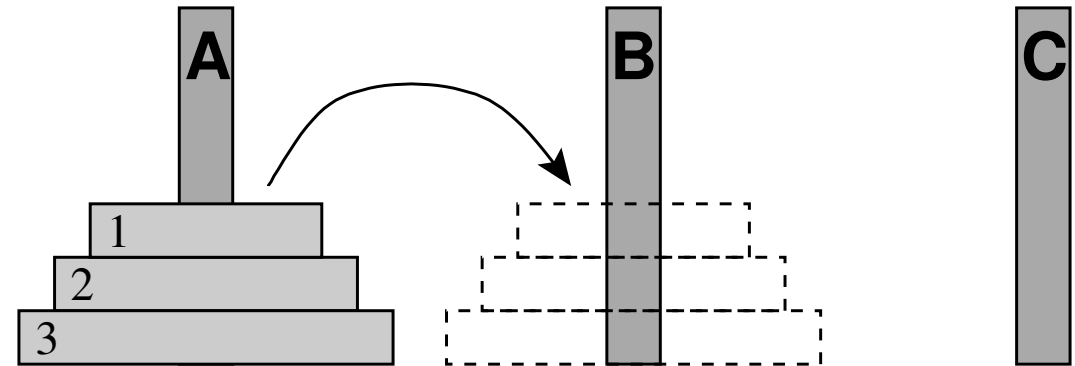
Můžeme rozložit na fáze:

1. přeskládat $n - 1$ kotoučů z **A** pomocí **B** na **C**.



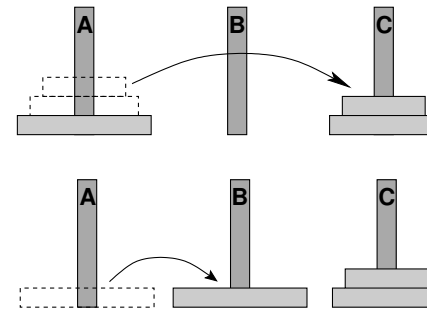
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE

- máme tři tyče: **A**, **B** a **C**.
- na tyči **A** je (podle velikosti) n kotoučů.
- úkol: přeskládat z **A** pomocí **C** na tyč **B** (zaps. $n(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$) bez porušení uspořádání



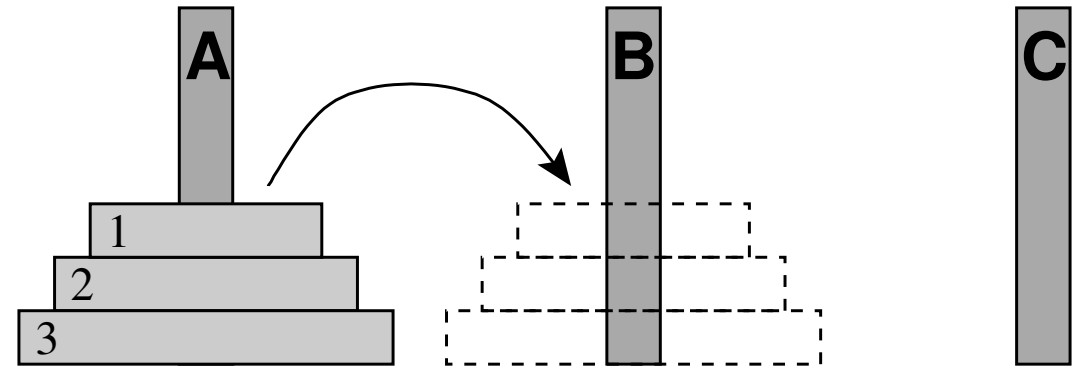
Můžeme rozložit na fáze:

1. přeskládat $n - 1$ kotoučů z **A** pomocí **B** na **C**.
2. přeložit 1 kotouč z **A** na **B**



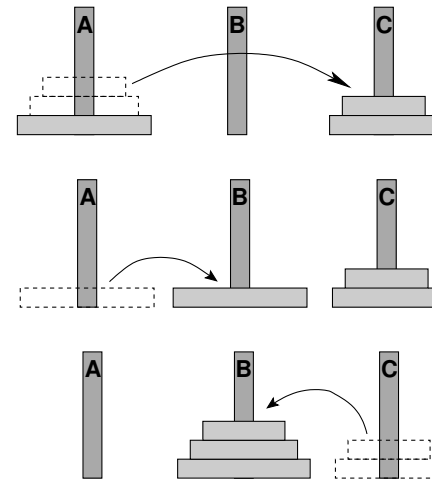
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE

- máme tři tyče: **A**, **B** a **C**.
- na tyči **A** je (podle velikosti) n kotoučů.
- úkol: přeskládat z **A** pomocí **C** na tyč **B** (zaps. $n(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$) bez porušení uspořádání



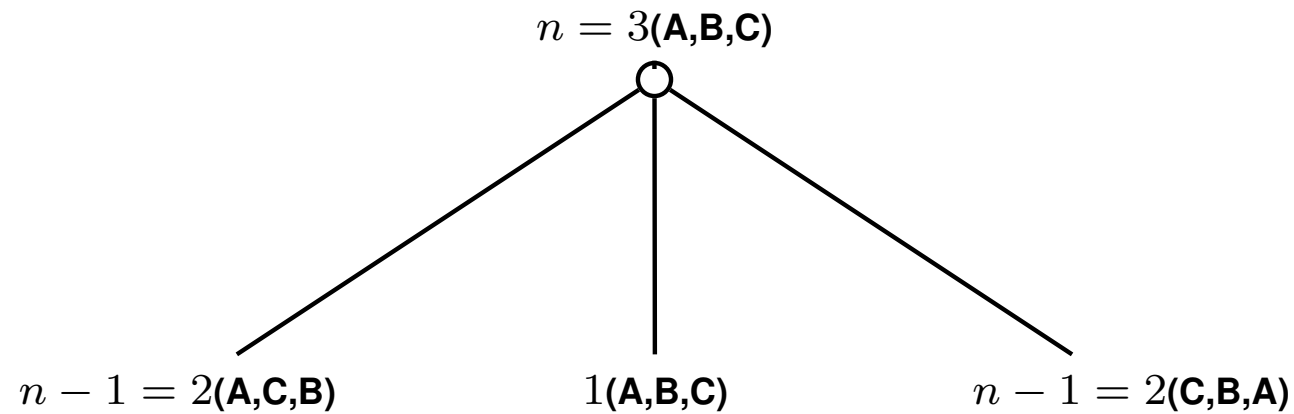
Můžeme rozložit na fáze:

1. přeskládat $n - 1$ kotoučů z **A** pomocí **B** na **C**.
2. přeložit 1 kotouč z **A** na **B**
3. přeskládat $n - 1$ kotoučů z **C** pomocí **A** na **B**



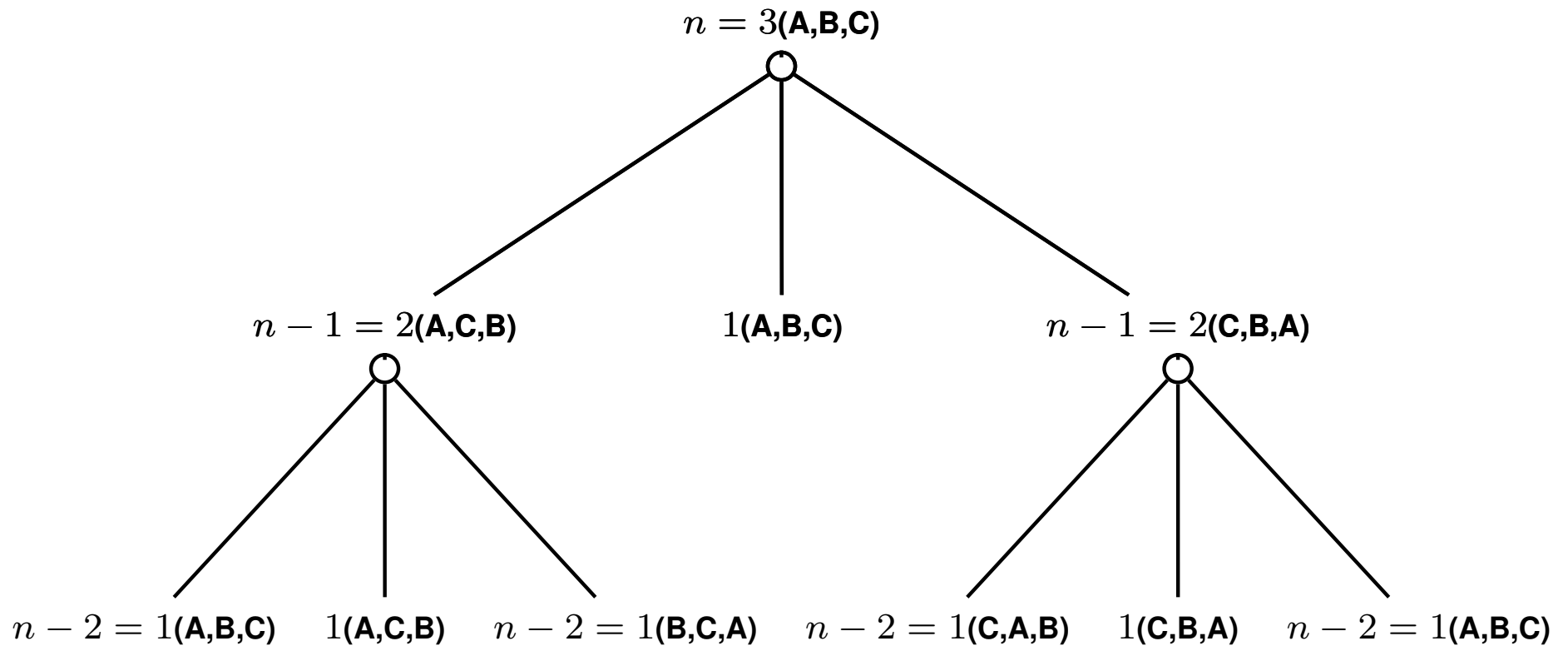
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE pokrač.

schéma celého řešení pro $n = 3$:



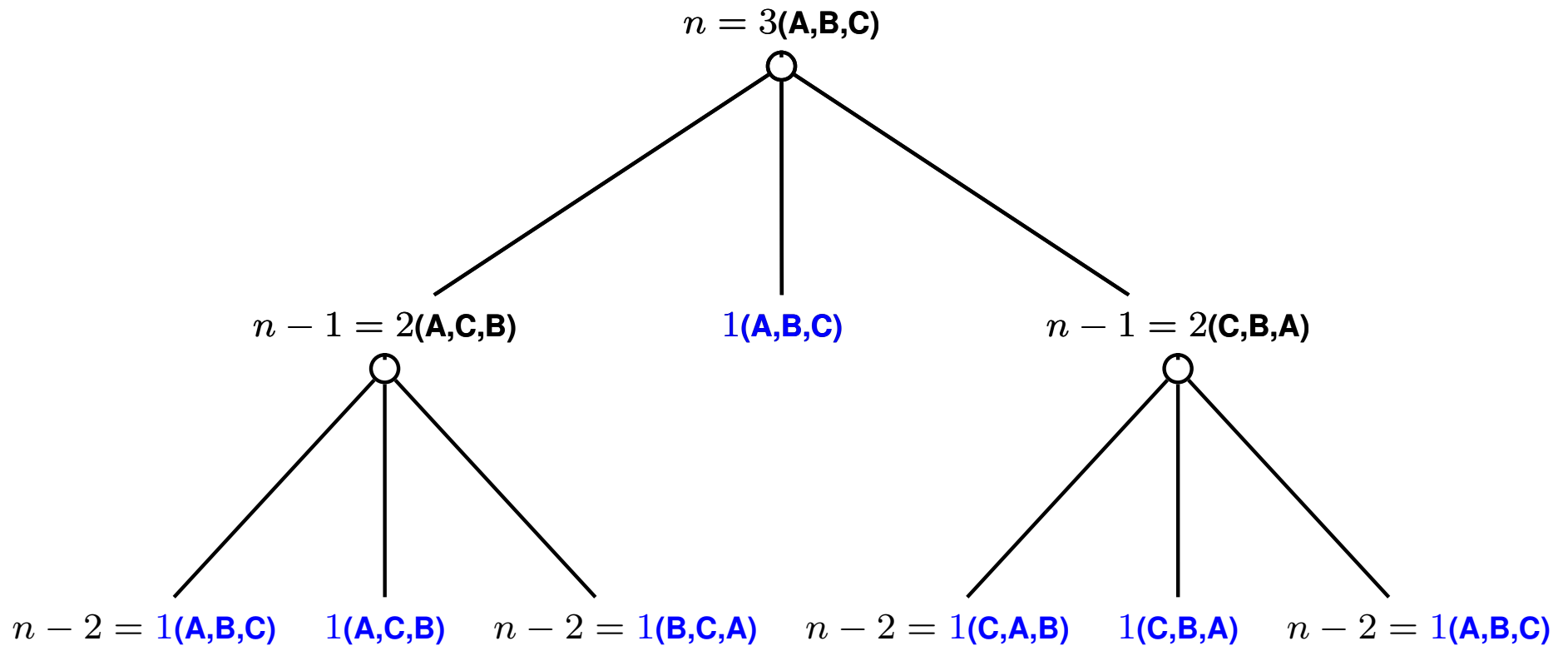
PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE pokrač.

schéma celého řešení pro $n = 3$:



PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE pokrač.

schéma celého řešení pro $n = 3$:



PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE pokrač.

? – **op**(100,xfx,to), dynamic(hanoi/5).

hanoi(1,A,B,C,[A to B]).

hanoi(N,A,B,C,Moves) :- N > 1, N1 is N-1, lemma(hanoi(N1,A,C,B,Ms1)),
hanoi(N1,C,B,A,Ms2), append(Ms1,[A to B|Ms2],Moves).

lemma(P) :- P,asserta((P :- !)).

PŘÍKLAD – HANOISKÉ VĚŽE pokrač.

?– **op**(100,xfx,to), dynamic(hanoi/5).

hanoi(1,A,B,C,[A to B]).

hanoi(N,A,B,C,Moves) :- N > 1, N1 is N-1, lemma(hanoi(N1,A,C,B,Ms1)),
hanoi(N1,C,B,A,Ms2), append(Ms1,[A to B|Ms2],Moves).

lemma(P) :- P,asserta((P :- !)).

?– hanoi(3,a,b,c,M).

M = [a to b, a to c, b to c, a to b, c to a, c to b, a to b] ;

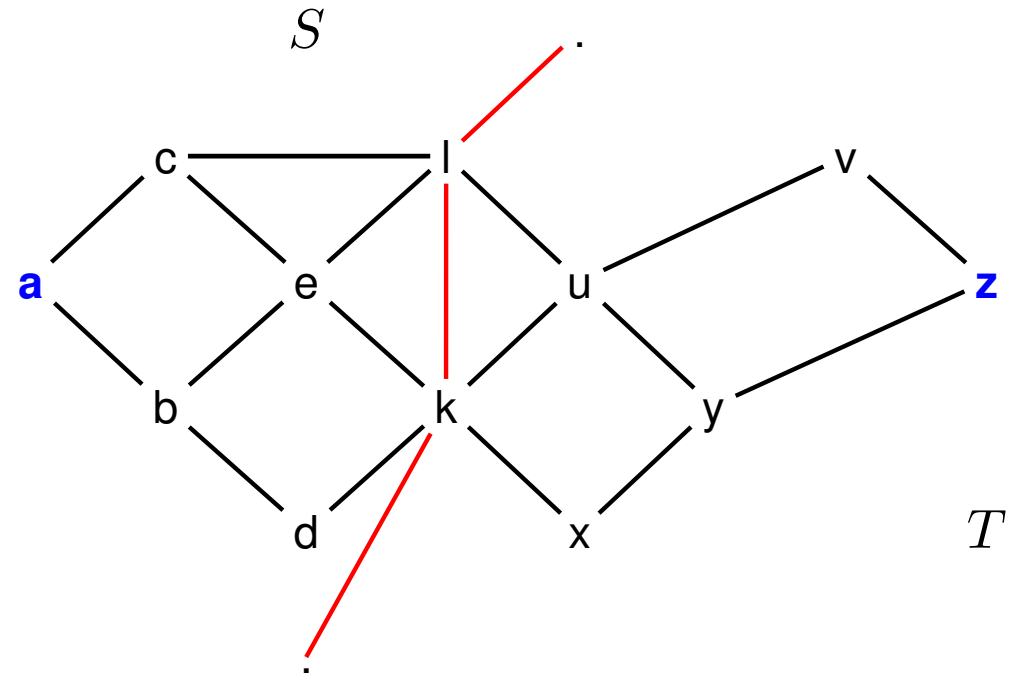
No

CESTA MEZI MĚSTY POMOCÍ AND/OR GRAFŮ

města: **a**, ..., **e** ... ve státě S
l a **k** ... hraniční přechody
u, ..., **z** ... ve státě T

hledáme cestu z **a** do **z**:

- ➔ cesta z **a** do hraničního přechodu
- ➔ cesta z hraničního přechodu do **z**



CESTA MEZI MĚSTY POMOCÍ AND/OR GRAFŮ pokrač.

schéma řešení pomocí rozkladu na podproblémy = AND/OR graf

reprezentace v Prologu:

OR uzel v s následníky u_1, u_2, \dots, u_N :

```
v :- u1.
v :- u2.
...
v :- uN.
```

AND uzel x s následníky y_1, y_2, \dots, y_M :

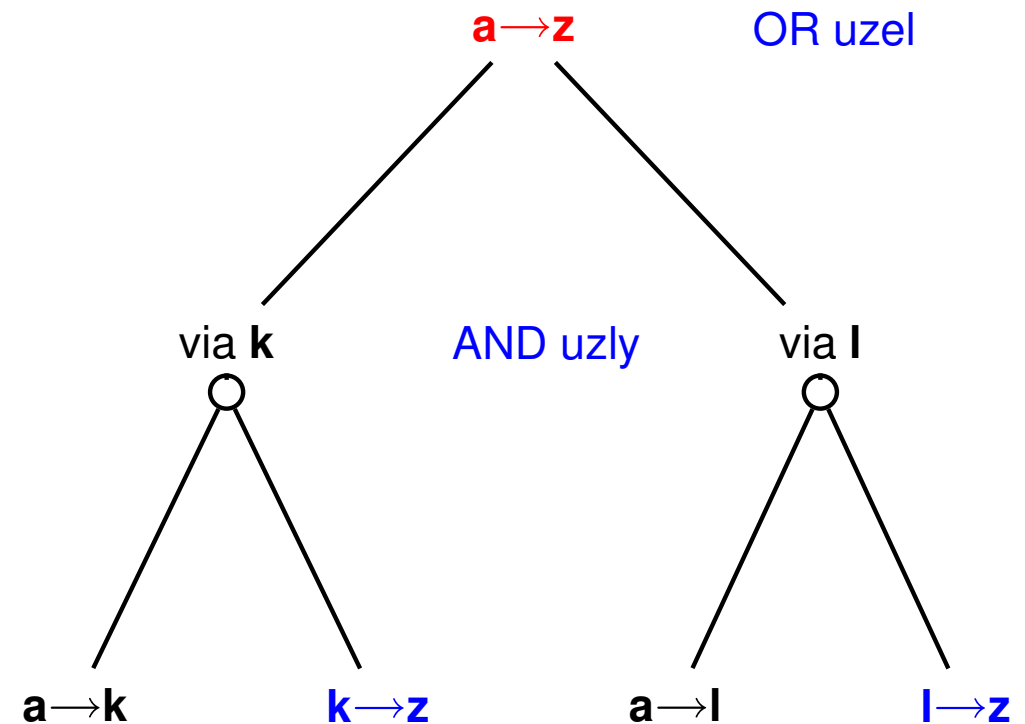
```
x :- y1, y2, ..., yM.
```

cílový uzel g :

```
g.
```

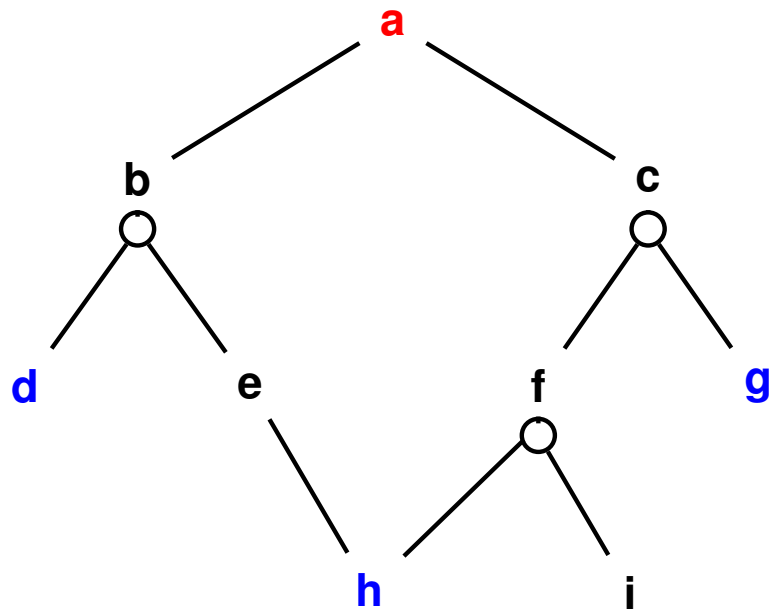
kořenový uzel $root$:

```
?- root.
```



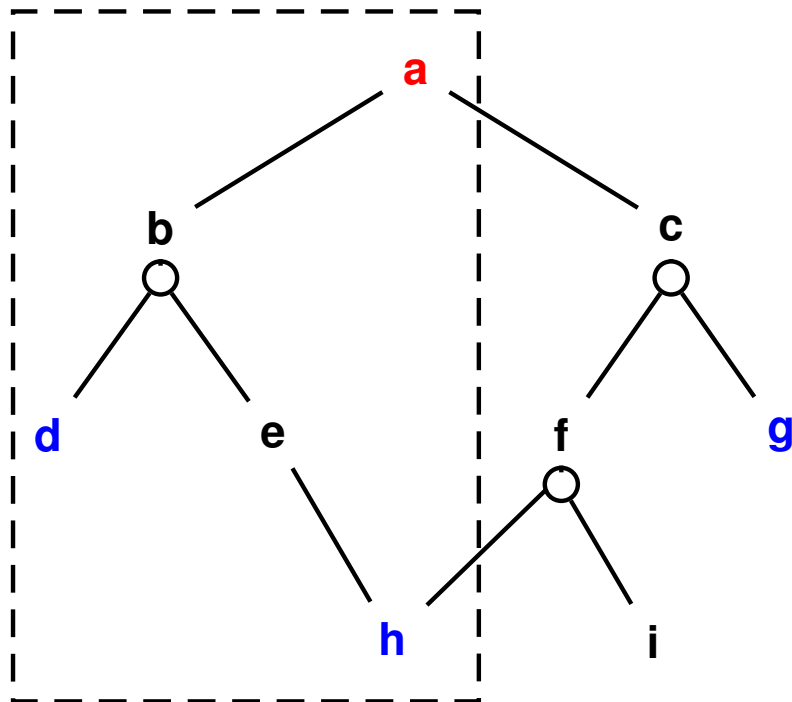
Celkové řešení = podgraf AND/OR grafu, který nevynechává žádného následníka AND-uzlu.

TRIVIÁLNÍ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU V PROLOGU



```
a :- b.  
a :- c.  
b :- d, e.  
e :- h.  
c :- f, g.  
f :- h, i.  
d.  
g.  
h.
```

TRIVIÁLNÍ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU V PROLOGU



```
a :- b.  
a :- c.  
b :- d, e.  
e :- h.  
c :- f, g.  
f :- h, i.  
d.  
g.  
h.  
  
?- a.  
Yes
```

REPREZENTACE AND/OR GRAFU

AND/OR graf = graf s 2 typy vnitřních uzlů – AND uzly a OR uzly

- AND uzel jako součást řešení vyžaduje průchod všech svých poduzlů
- OR uzel se chová jako běžný uzel klasického grafu

Reprezentace AND/OR grafu v Prologu:

- zavedeme operátory '---->' a ':'

```
?- op(600, xfx, ---->).  
?- op(500, xfx, :).
```

- AND/OR graf budeme zapisovat

```
a ----> or:[b, c].  
b ----> and:[d, e].
```


REPREZENTACE AND/OR GRAFU

AND/OR graf = graf s 2 typy vnitřních uzlů – AND uzly a OR uzly

- AND uzel jako součást řešení vyžaduje průchod všech svých poduzlů
- OR uzel se chová jako běžný uzel klasického grafu

Reprezentace AND/OR grafu v Prologu:

- zavedeme operátory '---->' a ':'

```
?- op(600, xfx, ---->).
?- op(500, xfx, :).
```

- AND/OR graf budeme zapisovat

```
a ----> or:[b, c].
b ----> and:[d, e].
```

op(+Priorita, +Typ, +Jméno)

Priorita číslo 0..1200

Typ jedno z **xf**, **yf**, **xfx**, **xfy**,
yfx, **yfy**, **fy** nebo **fx**

Jméno funktor nebo symbol

REPREZENTACE AND/OR GRAFU

AND/OR graf = graf s 2 typy vnitřních uzlů – AND uzly a OR uzly

- AND uzel jako součást řešení vyžaduje průchod všech svých poduzlů
- OR uzel se chová jako běžný uzel klasického grafu

Reprezentace AND/OR grafu v Prologu:

→ zavedeme operátory '---->' a ':'

→ AND/OR graf budeme zapisovat

```
?- op(600, xfx, ---->).
?- op(500, xfx, :).
```

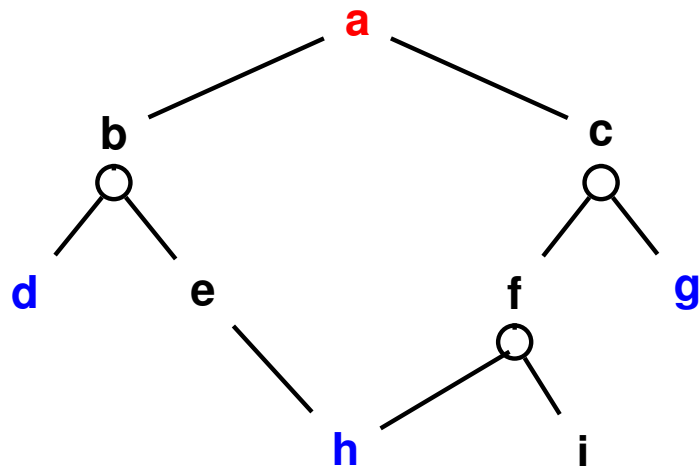
```
a ----> or:[b, c].
b ----> and:[d, e].
```

op(+Priorita, +Typ, +Jméno)

Priorita číslo 0..1200

Typ jedno z **xf**, **yf**, **xfx**, **xfy**, **yfx**, **yfy**, **fy** nebo **fx**

Jméno funktor nebo symbol



```
a ----> or:[b,c].
b ----> and:[d,e].
c ----> and:[f,g].
e ----> or:[h].
f ----> and:[h,i].
goal(d).
goal(g).
goal(h).
```

STROM ŘEŠENÍ AND/OR GRAFU

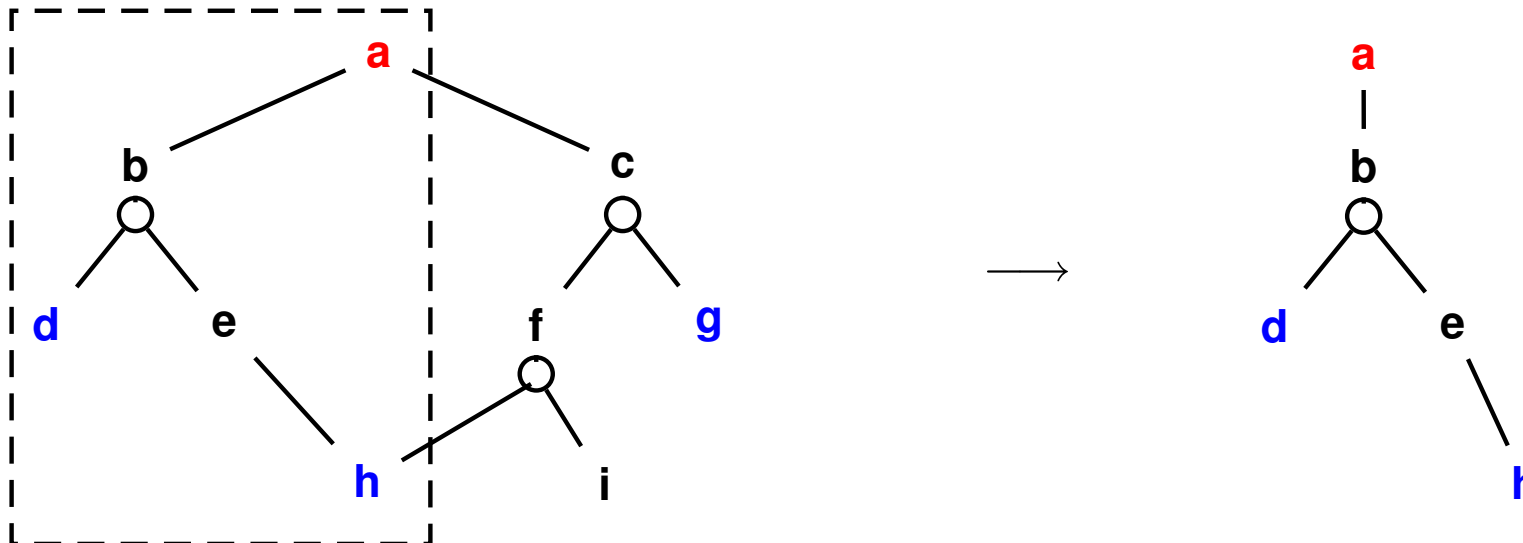
strom řešení T problému P s AND/OR grafem G :

- problém P je kořen stromu T
- jestliže P je OR uzel grafu $G \Rightarrow$ právě jeden z jeho následníků se svým stromem řešení je v T
- jestliže P je AND uzel grafu $G \Rightarrow$ všichni jeho následníci se svými stromy řešení jsou v T
- každý list stromu řešení T je cílovým uzlem v G

STROM ŘEŠENÍ AND/OR GRAFU

strom řešení T problému P s AND/OR grafem G :

- problém P je kořen stromu T
- jestliže P je OR uzel grafu $G \Rightarrow$ právě jeden z jeho následníků se svým stromem řešení je v T
- jestliže P je AND uzel grafu $G \Rightarrow$ všichni jeho následníci se svými stromy řešení jsou v T
- každý list stromu řešení T je cílovým uzlem v G



PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU DO HLOUBKY

```
% solve (Node, SolutionTree )
solve(Node,Node) :- goal(Node).
solve(Node,Node ----> Tree) :-
    Node ----> or:Nodes, member(Node1,Nodes), solve(Node1,Tree).
solve(Node,Node ----> and:Trees) :-
    Node ----> and:Nodes, solveall(Nodes,Trees).

% solveall ([Node1,Node2 , ...],[ SolutionTree1 , SolutionTree2 , ...])
solveall ([],[]).
solveall ([Node|Nodes],[Tree|Trees]) :- solve(Node,Tree), solveall(Nodes,Trees).
```

PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU DO HLOUBKY

```

% solve (Node, SolutionTree )
solve(Node,Node) :- goal(Node).
solve(Node,Node ----> Tree) :-
    Node ----> or:Nodes, member(Node1,Nodes), solve(Node1,Tree).
solve(Node,Node ----> and:Trees) :-
    Node ----> and:Nodes, solveall(Nodes,Trees).

% solveall ([Node1,Node2 , ...],[ SolutionTree1 , SolutionTree2 , ...])
solveall ([],[]).
solveall ([Node|Nodes],[Tree|Trees]) :- solve(Node,Tree), solveall(Nodes,Trees).

?- solve(a,Tree).
Tree = a----> (b---->and:[d, e---->h]) ;
No
    
```

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU

→ doplnění reprezentace o **cenu** přechodové hrany:

Uzel \rightarrow AndOr:[NaslUzel1/Cena1, NaslUzel2/Cena2, ..., NaslUzelN/CenaN].

→ pro každý uzel N máme danou:

$h(N)$ = heuristický odhad ceny optimálního podgrafu s kořenem N

→ pro každý uzel N , jeho následníky N_1, \dots, N_b a jeho předchůdce M definujeme:

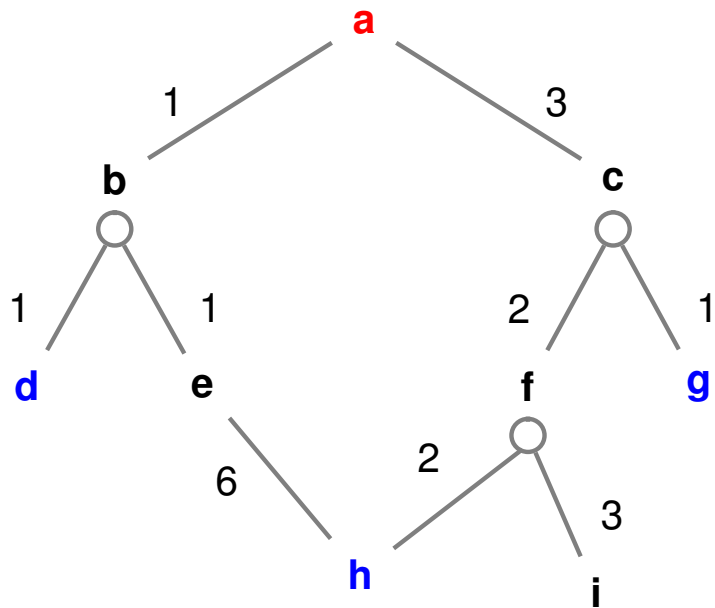
$$F(N) = \begin{cases} h(N), & \text{pro ještě neexpandovaný uzel } N \\ 0, & \text{pro elementární problém} \\ \text{cena}(M, N) + \min_i(F(N_i)), & \text{pro OR-uzel } N \\ \text{cena}(M, N) + \sum_i F(N_i), & \text{pro AND-uzel } N \end{cases}$$

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

seříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$

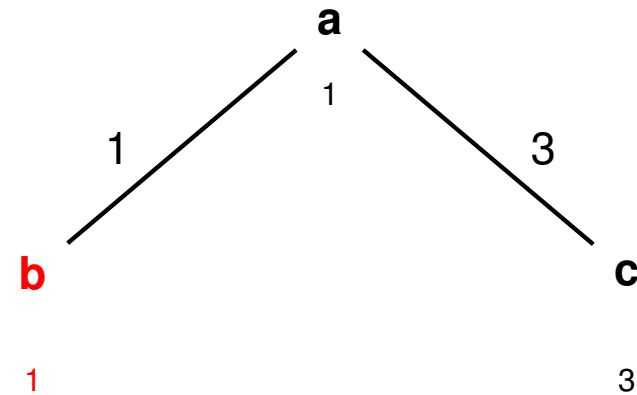
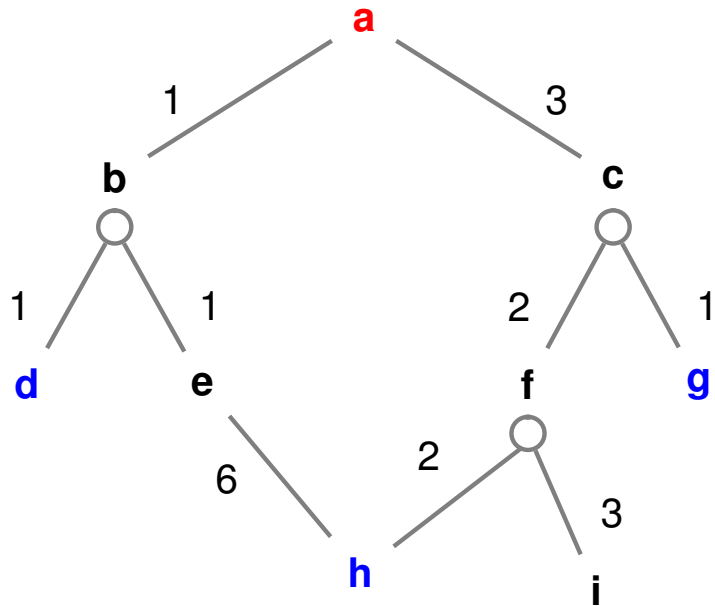


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

seříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$

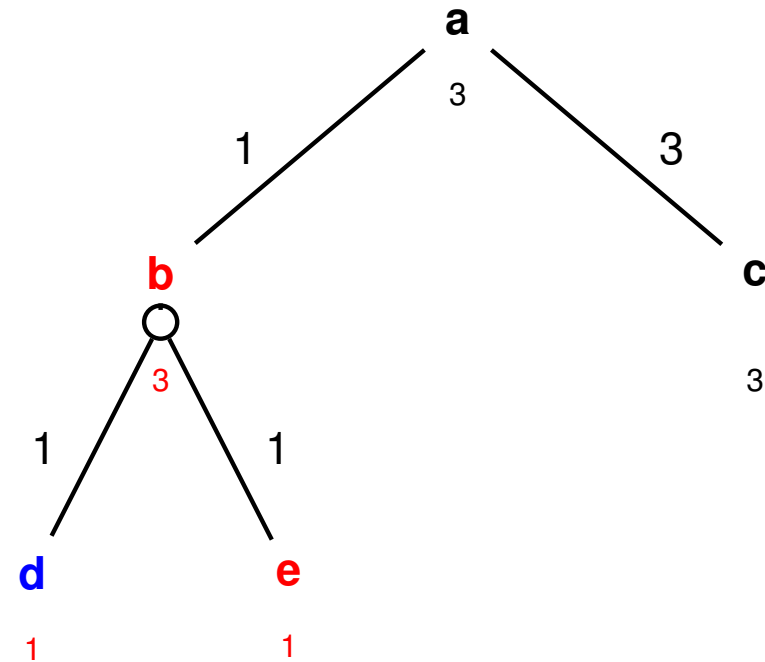
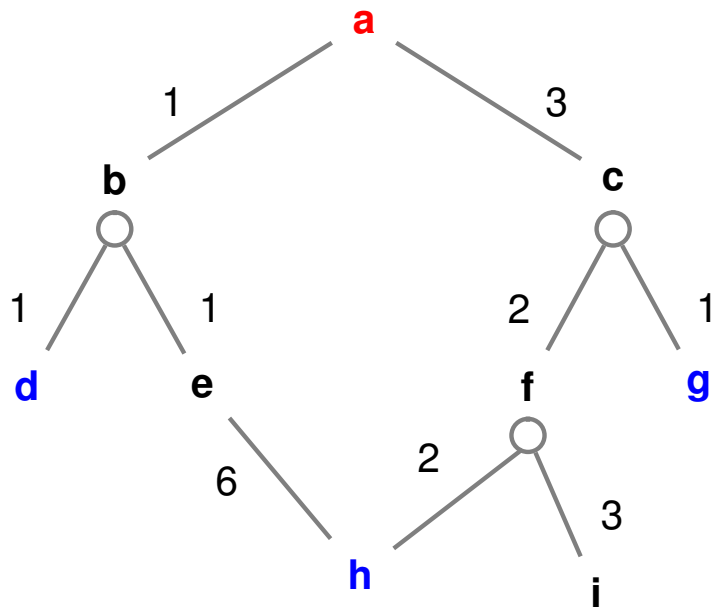


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

seříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$

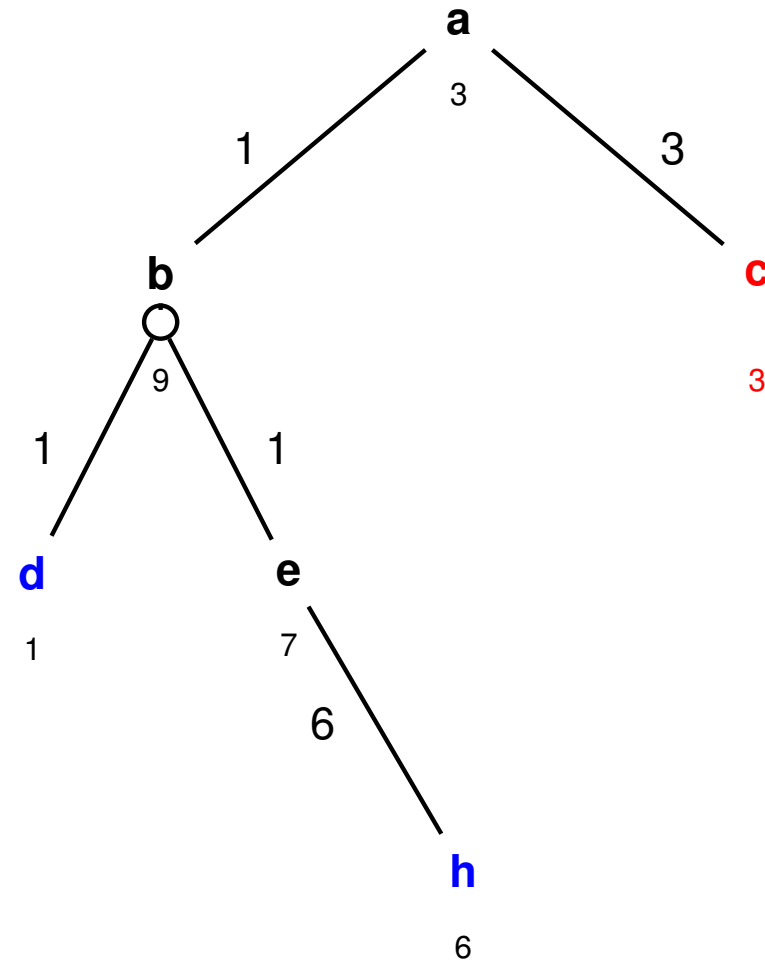
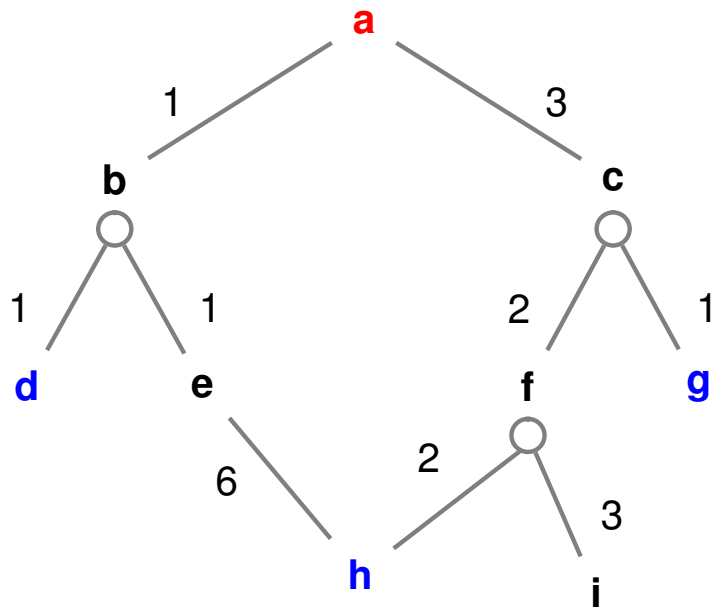


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

setříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$

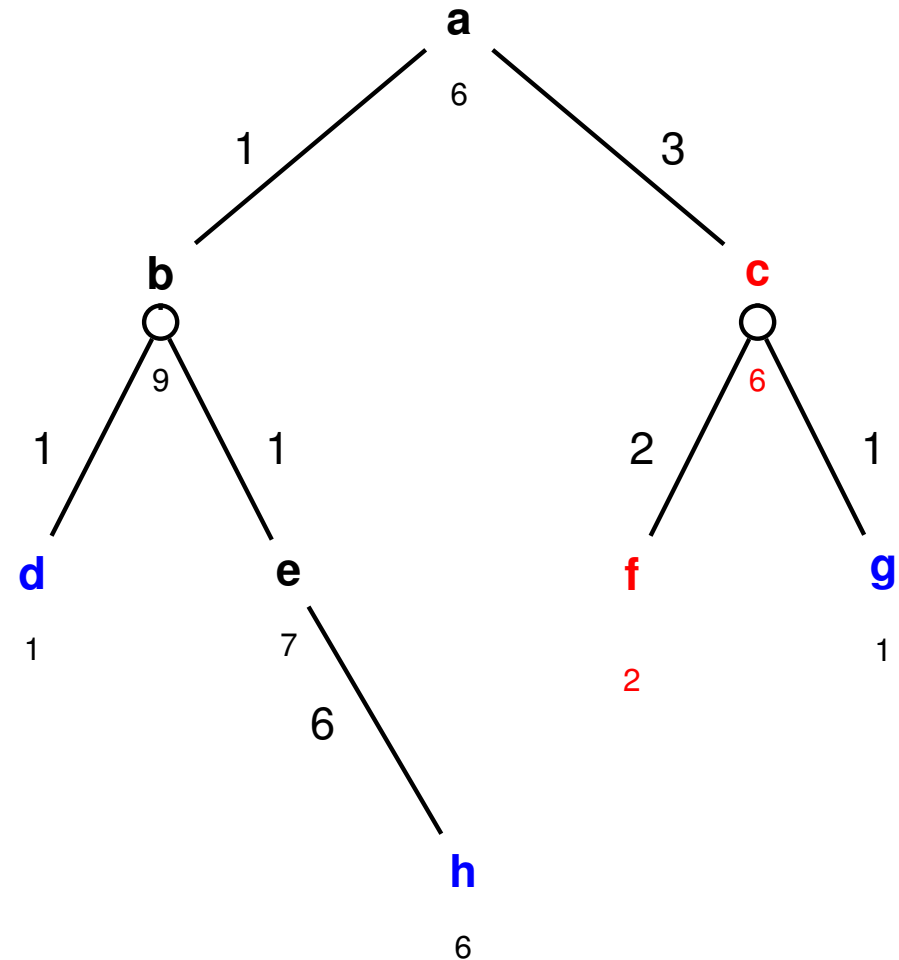
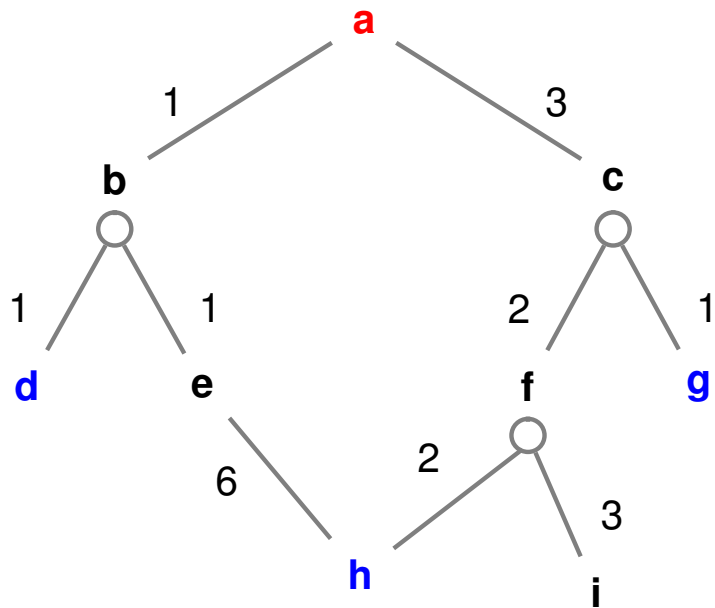


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

setříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$

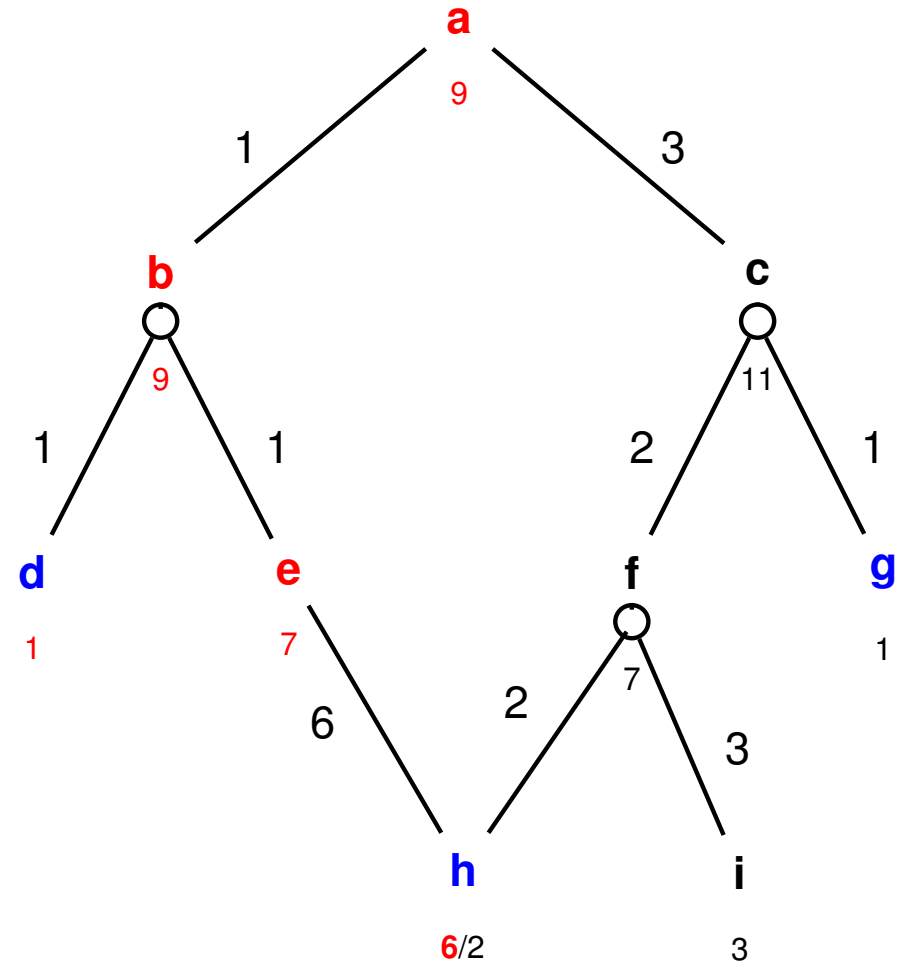
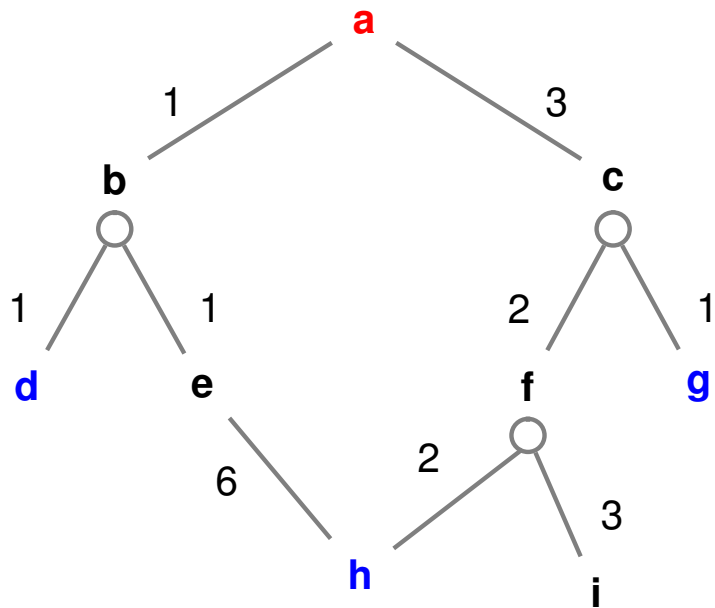


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU – PŘÍKLAD

setříděný seznam částečně expandovaných grafů =

[Nevyřešený₁, Nevyřešený₂, ..., Vyřešený₁, ...]

$$F_{\text{Nevyřešený}_1} \leq F_{\text{Nevyřešený}_2} \leq \dots$$



REPREZENTACE AND/OR GRAFU PŘI HEURISTICKÉM PROHLEDÁVÁNÍ

list AND/OR grafu ... struktura **leaf(N,F,C)**.

$$F = C + h(N)$$

OR uzel AND/OR grafu ... struktura **tree(N,F,C,or:[T1,T2,T3,...])**.

$$F = C + \min_i F_i$$

AND uzel AND/OR grafu ... struktura **tree(N,F,C,and:[T1,T2,T3,...])**.

$$F = C + \sum_i F_i$$

vyřešený list AND/OR grafu ... struktura **solvedleaf(N,F)**.

$$F = C$$

vyřešený OR uzel AND/OR grafu ... struktura **solvedtree(N,F,T)**.

$$F = C + F_1$$

vyřešený AND uzel AND/OR grafu ... struktura **solvedtree(N,F,and:[T1,T2,...])**.

$$F = C + \sum_i F_i$$

C ... cena hrany do uzlu **N**

F ... příslušná heuristická **F**-hodnota uzlu **N**

N ... identifikátor uzlu

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU

```
andor(Node,SolutionTree) :- biggest(Bound),expand(leaf(Node,0,0),Bound,SolutionTree,yes).
```

```
expand(Tree,Bound,Tree,no) :- f(Tree,F),F > Bound,!. 
```

```
expand(leaf(Node,F,C),_,solvedleaf(Node,F),yes) :- goal(Node),!.
```

```
expand(leaf(Node,F,C),Bound,NewTree,Solved) :- expandnode(Node,C,Tree1),!,
  (expand(Tree1,Bound,NewTree,Solved);Solved=never,!).
```

```
expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved) :- Bound1 is Bound-C,
  expandlist(SubTrees,Bound1,NewSubs,Solved1),
  continue(Solved1,Node,C,NewSubs,Bound,NewTree,Solved).
```

```
expandlist(Trees,Bound,NewTrees,Solved) :-
  selecttree(Trees,Tree,OtherTrees,Bound,Bound1),
  expand(Tree,Bound1,NewTree,Solved1),
  combine(OtherTrees,NewTree,Solved1,NewTrees,Solved).
```

```
continue(yes,Node,C,SubTrees,_,solvedtree(Node,F,SubTrees),yes) :-
  backup(SubTrees,H), F is C+H,!
```

```
continue(never,_,_,_,_,_,never) :- !.
```

```
continue(no,Node,C,SubTrees,Bound,NewTree,Solved) :- backup(SubTrees,H),
  F is C+H,!,expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved).
```

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU

```
andor(Node,SolutionTree) :- biggest(Bound),expand(leaf(Node,0,0),Bound,SolutionTree,yes).
```

```
% Case 1: bound exceeded, in all remaining cases  $F \leq Bound$ 
```

```
expand(Tree,Bound,Tree,no) :- f(Tree,F),F > Bound,!.
```

```
% Case 2: goal encountered
```

```
expand(leaf(Node,F,C),_,solvedleaf(Node,F),yes) :- goal(Node),!.
```

```
% Case 3: expanding a leaf
```

```
expand(leaf(Node,F,C),Bound,NewTree,Solved) :- expandnode(Node,C,Tree1),!,
    (expand(Tree1,Bound,NewTree,Solved);Solved=never,!).
```

```
% Case 4: expanding a tree
```

```
expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved) :- Bound1 is Bound-C,
    expandlist(SubTrees,Bound1,NewSubs,Solved1),
    continue(Solved1,Node,C,NewSubs,Bound,NewTree,Solved).
```

```
expandlist(Trees,Bound,NewTrees,Solved) :-
```

```
    selecttree(Trees,Tree,OtherTrees,Bound,Bound1),
```

```
    expand(Tree,Bound1,NewTree,Solved1),
```

```
    combine(OtherTrees,NewTree,Solved1,NewTrees,Solved).
```

```
continue(yes,Node,C,SubTrees,_,solvedtree(Node,F,SubTrees),yes) :-
```

```
    backup(SubTrees,H), F is C+H,!.
```

```
continue(never,_,_,_,_,_,never) :- !.
```

```
continue(no,Node,C,SubTrees,Bound,NewTree,Solved) :- backup(SubTrees,H),
    F is C+H,! ,expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved).
```

```
expand(+Tree, +Bound,
-NewTree, ?Solved)
expanduje Tree po Bound.
Výsledek je NewTree se
stavem Solved
```


HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU

```
andor(Node,SolutionTree) :- biggest(Bound),expand(leaf(Node,0,0),Bound,SolutionTree,yes).
```

```
% Case 1: bound exceeded, in all remaining cases  $F \leq Bound$ 
```

```
expand(Tree,Bound,Tree,no) :- f(Tree,F),F > Bound,!.
```

```
% Case 2: goal encountered
```

```
expand(leaf(Node,F,C),_,solvedleaf(Node,F),yes) :- goal(Node),!.
```

```
% Case 3: expanding a leaf
```

```
expand(leaf(Node,F,C),Bound,NewTree,Solved) :- expandnode(Node,C,Tree1),!,
    (expand(Tree1,Bound,NewTree,Solved);Solved=never,!).
```

```
% Case 4: expanding a tree
```

```
expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved) :- Bound1 is Bound-C,
    expandlist(SubTrees,Bound1,NewSubs,Solved1),
    continue(Solved1,Node,C,NewSubs,Bound,NewTree,Solved).
```

```
expandlist(Trees,Bound,NewTrees,Solved) :-
```

```
    selecttree(Trees,Tree,OtherTrees,Bound,Bound1),
```

```
    expand(Tree,Bound1,NewTree,Solved1),
```

```
    combine(OtherTrees,NewTree,Solved1,NewTrees,Solved).
```

```
continue(yes,Node,C,SubTrees,_,solvedtree(Node,F,SubTrees),yes) :-
```

```
    backup(SubTrees,H), F is C+H,!.
```

```
continue(never,_,_,_,_,_,never) :- !.
```

```
continue(no,Node,C,SubTrees,Bound,NewTree,Solved) :- backup(SubTrees,H),
    F is C+H,! ,expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved).
```

expand(+Tree, +Bound, -NewTree, ?Solved)
 expanduje Tree po Bound.
 Výsledek je NewTree se stavem Solved

expandlist všechny grafy v seznamu Trees se závorou Bound. Výsledek je v seznamu NewTrees a celkový stav v Solved

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU

```
andor(Node,SolutionTree) :- biggest(Bound),expand(leaf(Node,0,0),Bound,SolutionTree,yes).
```

```
% Case 1: bound exceeded, in all remaining cases  $F \leq Bound$ 
```

```
expand(Tree,Bound,Tree,no) :- f(Tree,F),F > Bound,!.
```

```
% Case 2: goal encountered
```

```
expand(leaf(Node,F,C),_,solvedleaf(Node,F),yes) :- goal(Node),!.
```

```
% Case 3: expanding a leaf
```

```
expand(leaf(Node,F,C),Bound,NewTree,Solved) :- expandnode(Node,C,Tree1),!,
    (expand(Tree1,Bound,NewTree,Solved);Solved=never,!).
```

```
% Case 4: expanding a tree
```

```
expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved) :- Bound1 is Bound-C,
    expandlist(SubTrees,Bound1,NewSubs,Solved1),
    continue(Solved1,Node,C,NewSubs,Bound,NewTree,Solved).
```

```
expandlist(Trees,Bound,NewTrees,Solved) :-
```

```
    selecttree(Trees,Tree,OtherTrees,Bound,Bound1),
```

```
    expand(Tree,Bound1,NewTree,Solved1),
```

```
    combine(OtherTrees,NewTree,Solved1,NewTrees,Solved).
```

```
continue(yes,Node,C,SubTrees,_,solvedtree(Node,F,SubTrees),yes) :-
```

```
    backup(SubTrees,H), F is C+H,!.
```

```
continue(never,_,_,_,_,_,never) :- !.
```

```
continue(no,Node,C,SubTrees,Bound,NewTree,Solved) :- backup(SubTrees,H),
    F is C+H,! ,expand(tree(Node,F,C,SubTrees),Bound,NewTree,Solved).
```

expand(+Tree, +Bound, -NewTree, ?Solved)
 expanduje Tree po Bound.
 Výsledek je NewTree se stavem Solved

expandlist všechny grafy v seznamu Trees se závorou Bound. Výsledek je v seznamu NewTrees a celkový stav v Solved

continue určuje, jak pokračovat po expanzi seznamu grafů

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```

combine(or:_ , Tree, yes, Tree, yes) :- !.
combine(or:Trees, Tree, no, or:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.
combine(or:[], _ , never, _ , never) :- !.
combine(or:Trees, _ , never, or:Trees, no) :- !.
combine(and:Trees, Tree, yes, and:[Tree|Trees], yes) :- allsolved(Trees),!.
combine(and:_ , _ , never, _ , never) :- !.
combine(and:Trees, Tree, YesNo, and:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.

expandnode(Node, C, tree(Node, F, C, Op:SubTrees)) :- Node ---> Op:Successors,
    evaluate(Successors, SubTrees), backup(Op:SubTrees, H), F is C+H.

evaluate ([], []).
evaluate ([Node/C|NodesCosts], Trees) :- h(Node, H), F is C+H, evaluate(NodesCosts, Trees1),
    insert ( leaf (Node, F, C), Trees1, Trees).

allsolved ([]).
allsolved ([Tree|Trees]) :- solved(Tree), allsolved (Trees).

solved(solvedtree(_, _, _)).
solved(solvedleaf(_, _)).
    
```

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```

combine(or:_, Tree, yes, Tree, yes) :- !. ←
combine(or:Trees, Tree, no, or:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.
combine(or:[], _, never, _, never) :- !.
combine(or:Trees, _, never, or:Trees, no) :- !.
combine(and:Trees, Tree, yes, and:[Tree|Trees], yes) :- allsolved(Trees),!.
combine(and:_, _, never, _, never) :- !.
combine(and:Trees, Tree, YesNo, and:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.

expandnode(Node, C, tree(Node, F, C, Op:SubTrees)) :- Node ---> Op:Successors,
    evaluate(Successors, SubTrees), backup(Op:SubTrees, H), F is C+H.

evaluate ([], []).
evaluate ([Node/C|NodesCosts], Trees) :- h(Node, H), F is C+H, evaluate(NodesCosts, Trees1),
    insert ( leaf (Node, F, C), Trees1, Trees).

allsolved ([]).
allsolved ([ Tree|Trees ]) :- solved(Tree), allsolved (Trees).

solved(solvedtree(_, _, _)).
solved(solvedleaf(_, _)).

```

combine kombinuje
výsledky expanze stromu a
seznamu stromů

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```

combine(or:_, Tree, yes, Tree, yes) :- !. ←
combine(or:Trees, Tree, no, or:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.
combine(or:[], _, never, _, never) :- !.
combine(or:Trees, _, never, or:Trees, no) :- !.
combine(and:Trees, Tree, yes, and:[Tree|Trees], yes) :- allsolved(Trees),!.
combine(and:_, _, never, _, never) :- !.
combine(and:Trees, Tree, YesNo, and:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.

expandnode(Node, C, tree(Node, F, C, Op:SubTrees)) :- Node ---> Op:Successors,
    evaluate(Successors, SubTrees), backup(Op:SubTrees, H), F is C+H.

evaluate ([], []).
evaluate ([Node/C|NodesCosts], Trees) :- h(Node, H), F is C+H, evaluate(NodesCosts, Trees1),
    insert ( leaf (Node, F, C), Trees1, Trees).

allsolved ([]).
allsolved ([ Tree|Trees ]) :- solved(Tree), allsolved (Trees).

solved(solvedtree(_, _, _)).
solved(solvedleaf(_, _)).
    
```

combine kombinuje
výsledky expanze stromu a
seznamu stromů

expandnode vyrobí z uzlu
a jeho následovníků strom

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```

combine(or:_, Tree, yes, Tree, yes) :- !. ←
combine(or:Trees, Tree, no, or:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.
combine(or:[], _, never, _, never) :- !.
combine(or:Trees, _, never, or:Trees, no) :- !.
combine(and:Trees, Tree, yes, and:[Tree|Trees], yes) :- allsolved(Trees),!.
combine(and:_, _, never, _, never) :- !.
combine(and:Trees, Tree, YesNo, and:NewTrees, no) :- insert(Tree, Trees, NewTrees),!.

expandnode(Node, C, tree(Node, F, C, Op:SubTrees)) :- Node ---> Op:Successors,
    evaluate(Successors, SubTrees), backup(Op:SubTrees, H), F is C+H.

evaluate ([], []).
evaluate ([Node/C|NodesCosts], Trees) :- h(Node, H), F is C+H, evaluate(NodesCosts, Trees1),
    insert ( leaf (Node, F, C), Trees1, Trees).

allsolved ([]).
allsolved ([Tree|Trees]) :- solved(Tree), allsolved (Trees). ←

solved(solvedtree(_, _, _)).
solved(solvedleaf(_, _)).
    
```

combine kombinuje výsledky expanze stromu a seznamu stromů

expandnode vyrobí z uzlu a jeho následovníků strom

allsolved zkontroluje, jestli všechny stromy v seznamu jsou vyřešené

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```
f(Tree,F) :- arg(2,Tree,F),!.
```

```
insert(T,[],[ T]) :- !.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- solved(T1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- solved(T),insert(T,Ts,Ts1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- f(T,F),f(T1,F1),F=<F1,!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- insert(T,Ts,Ts1).
```

```
% First tree in OR-list is best
```

```
backup(or:[Tree|_], F) :- f(Tree,F),!.
```

```
backup(and:[],0) :- !.
```

```
backup(and:[Tree1|Trees],F) :- f(Tree1,F1),backup(and:Trees,F2),F is F1+F2,!.
```

```
backup(Tree,F) :- f(Tree,F).
```

```
% The only candidate
```

```
selecttree(Op:[Tree],Tree,Op:[],Bound,Bound) :- !.
```

```
selecttree(Op:[Tree|Trees],Tree,Op:Trees,Bound,Bound1) :- backup(Op:Trees,F),
  (Op=or,! ,min(Bound,F,Bound1);Op=and,Bound1 is Bound-F).
```

```
min(A,B,A) :- A<B,!.
```

```
min(A,B,B).
```

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```
f(Tree,F) :- arg(2,Tree,F),!.
```

```
insert(T,[],[ T]) :- !. ←
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- solved(T1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- solved(T),insert(T,Ts,Ts1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- f(T,F),f(T1,F1),F=<F1,!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- insert(T,Ts,Ts1).
```

```
% First tree in OR-list is best
```

```
backup(or:[Tree|_],F) :- f(Tree,F),!.
```

```
backup(and:[],0) :- !.
```

```
backup(and:[Tree1|Trees],F) :- f(Tree1,F1),backup(and:Trees,F2),F is F1+F2,!.
```

```
backup(Tree,F) :- f(Tree,F).
```

```
% The only candidate
```

```
selecttree(Op:[Tree],Tree,Op:[],Bound,Bound) :- !.
```

```
selecttree(Op:[Tree|Trees],Tree,Op:Trees,Bound,Bound1) :- backup(Op:Trees,F),
  (Op=or,! ,min(Bound,F,Bound1);Op=and,Bound1 is Bound-F).
```

```
min(A,B,A) :- A<B,!.
```

```
min(A,B,B).
```

insert vkládá strom do seznamu stromů se zachováním třídění

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```
f(Tree,F) :- arg(2,Tree,F),!.
```

```
insert(T,[],[ T]) :- !.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- solved(T1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- solved(T),insert(T,Ts,Ts1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- f(T,F),f(T1,F1),F=<F1,!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- insert(T,Ts,Ts1).
```

```
% First tree in OR-list is best
```

```
backup(or:[Tree|_],F) :- f(Tree,F),!.
```

```
backup(and:[],0) :- !.
```

```
backup(and:[Tree1|Trees],F) :- f(Tree1,F1),backup(and:Trees,F2),F is F1+F2,!.
```

```
backup(Tree,F) :- f(Tree,F).
```

```
% The only candidate
```

```
selecttree(Op:[Tree],Tree,Op:[],Bound,Bound) :- !.
```

```
selecttree(Op:[Tree|Trees],Tree,Op:Trees,Bound,Bound1) :- backup(Op:Trees,F),  
    (Op=or,! ,min(Bound,F,Bound1);Op=and,Bound1 is Bound-F).
```

```
min(A,B,A) :- A<B,!.
```

```
min(A,B,B).
```

insert vkládá strom do seznamu stromů se zachováním třídění

backup vyhledá uloženou F -hodnotu AND/OR stromu/uzlu

HEURISTICKÉ PROHLEDÁVÁNÍ AND/OR GRAFU pokrač.

```
f(Tree,F) :- arg(2,Tree,F),!.
```

```
insert(T,[],[T]) :- !.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- solved(T1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- solved(T),insert(T,Ts,Ts1),!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T,T1|Ts]) :- f(T,F),f(T1,F1),F=<F1,!.
```

```
insert(T,[T1|Ts],[T1|Ts1]) :- insert(T,Ts,Ts1).
```

```
% First tree in OR-list is best
```

```
backup(or:[Tree|_],F) :- f(Tree,F),!.
```

```
backup(and:[],0) :- !.
```

```
backup(and:[Tree1|Trees],F) :- f(Tree1,F1),backup(and:Trees,F2),F is F1+F2,!.
```

```
backup(Tree,F) :- f(Tree,F).
```

```
% The only candidate
```

```
selecttree(Op:[Tree],Tree,Op:[],Bound,Bound) :- !.
```

```
selecttree(Op:[Tree|Trees],Tree,Op:Trees,Bound,Bound1) :- backup(Op:Trees,F),  
    (Op=or,! ,min(Bound,F,Bound1);Op=and,Bound1 is Bound-F).
```

```
min(A,B,A) :- A<B,!.
```

```
min(A,B,B).
```

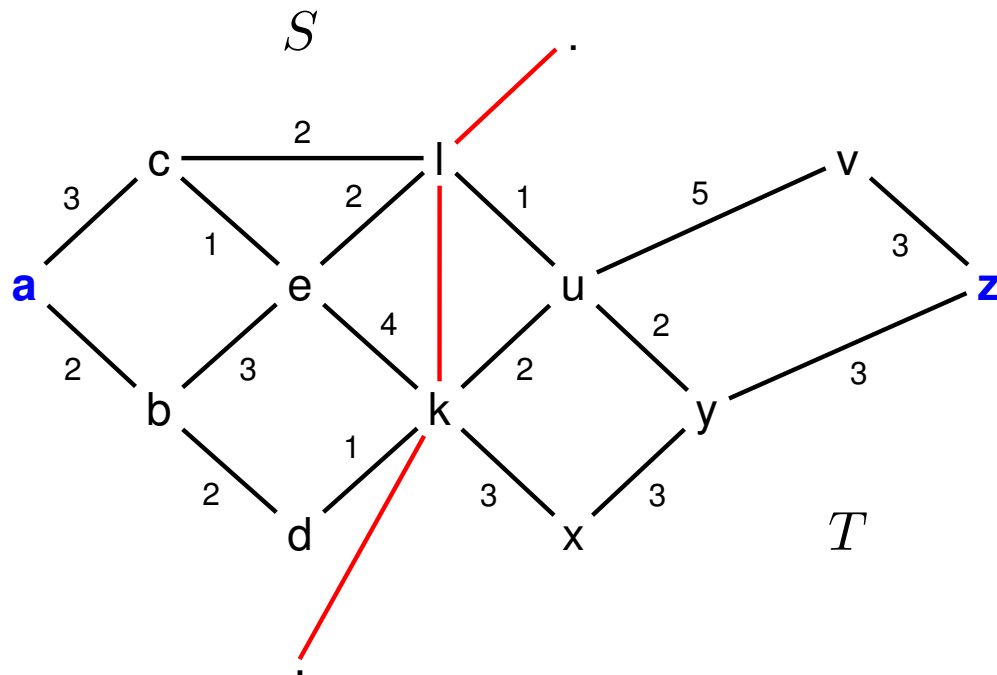
insert vkládá strom do seznamu stromů se zachováním třídění

backup vyhledá uloženou F -hodnotu AND/OR stromu/uzlu

selecttree (+Trees, -BestTree, -OtherTrees, +Bound, -Bound1) vybere BestTree z Trees, zbytek je v OtherTrees. Bound je závora pro Trees, Bound1 pro BestTree

CESTA MEZI MĚSTY HEURISTICKÝM AND/OR HLEDÁNÍM

- cesta mezi **Mesto1** a **Mesto2** – predikát **move(Mesto1,Mesto2,Vzdal)**.
- klíčové postavení města **Mesto3** – predikát **key(Mesto1–Mesto2,Mesto3)**.



```

move(a,b,2).  move(a,c,3).  move(b,e,3).
move(b,d,2).  move(c,e,1).  move(c,l,2).
move(e,k,4).  move(e,l,2).  move(k,u,2).
move(k,x,3).  move(u,v,5).  move(x,y,3).
move(y,z,3).  move(v,z,3).  move(l,u,1).
move(d,k,1).  move(u,y,2).
    
```

```

stateS(a). stateS(b). stateS(c). stateS(d). stateS(e).
stateT(u). stateT(v). stateT(x). stateT(y). stateT(z).
border(l). border(k).
    
```

```

key(M1–M2,M3) :- stateS(M1), stateT(M2), border(M3).
    
```

```

city (X) :- (stateS(X);stateT(X);border(X)).
    
```

CESTA MEZI MĚSTY HEURISTICKÝM AND/OR HLEDÁNÍM pokrač.

- vlastní hledání cesty:
1. **Y1, Y2,...** klíčové body mezi městy **A** a **Z**. Hledej jednu z cest:
 - cestu z **A** do **Z** přes **Y1**
 - cestu z **A** do **Z** přes **Y2**
 - ...
 2. Není-li mezi městy **A** a **Z** klíčové město \Rightarrow hledej souseda **Y** města **A** takového, že existuje cesta z **Y** do **Z**.

CESTA MEZI MĚSTY HEURISTICKÝM AND/OR HLEDÁNÍM pokrač.

Konstrukce příslušného AND/OR grafu:

? – **op**(560,xfx,via). % *operátory* *X–Z* a *X–Z via Y*

a–z ----> **or**:[a–z via k/0,a–z via l/0]

a–v ----> **or**:[a–v via k/0,a–v via l/0]

...

a–l ----> **or**:[c–l/3,b–l/2]

b–l ----> **or**:[e–l/3,d–l/2]

...

a–z via l ----> **and**:[a–l/0,l–z/0]

a–v via l ----> **and**:[a–l/0,l–v/0]

...

goal(a–a). **goal**(b–b). ...

CESTA MEZI MĚSTY HEURISTICKÝM AND/OR HLEDÁNÍM pokrač.

Konstrukce příslušného AND/OR grafu:

? – **op**(560,xfx,via). % *operátory X-Z a X-Z via Y*

a-z ----> **or**:[a-z via k/0,a-z via l/0]

a-v ----> **or**:[a-v via k/0,a-v via l/0]

...

a-l ----> **or**:[c-l/3,b-l/2]

b-l ----> **or**:[e-l/3,d-l/2]

...

a-z via l ----> **and**:[a-l/0,l-z/0]

a-v via l ----> **and**:[a-l/0,l-v/0]

...

goal(a-a). **goal**(b-b). ...

X-Z ----> **or**:Problemlist :- city(X),city(Z), bagof((X-Z via Y)/0, **key**(X-Z,Y), Problemlist),!.

X-Z ----> **or**:Problemlist :- city(X),city(Z), bagof((Y-Z)/D, **move**(X,Y,D), Problemlist).

X-Z via Y ----> **and**:[(X-Y)/0,(Y-Z)/0]:- city(X),city(Z),**key**(X-Z,Y).

goal(X-X).

/ h(Node,H). ... heuristická funkce */*

Když $\forall n : h(n) \leq h^*(n)$, kde h^* je minimální cena řešení uzlu $n \Rightarrow$ najdeme **vždy optimální řešení**