

# Vyhledávací stromy

Binární vyhledávání popsané v předchozí části má příznivou časovou složitost. Pokud bychom měli množinu prvků, v níž velmi často a intenzívně hledáme, pak by se nám viditelně vyplatilo je na začátku setřídít. Problém ovšem nastane, když se tato množina v průběhu času mění, tj. jsou k ní přidávány nové prvky nebo z ní naopak některé prvky jsou odebírány. Vkládání prvků na jiné místo, než je konec pole, pole nebo jejich odebírání z pole je poměrně neefektivní operace, neboť je spojena s přesuny značné části prvků v poli. Časová složitost těchto operací je lineární, což už je nepříznivá časová složitost, jestliže tyto operace probíhají častěji. Zde už je výhodnější použít vyhledávací stromy.

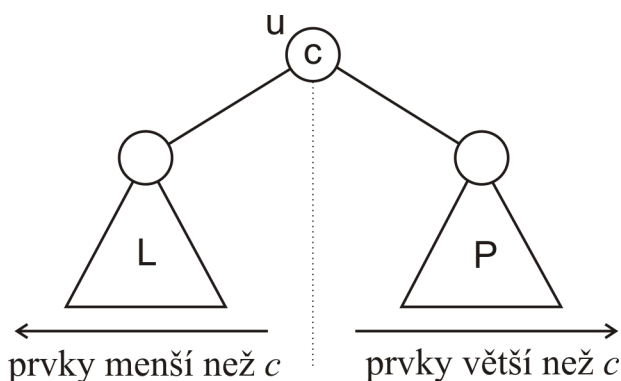
Vyhledávací stromy jsou velmi významnou a širokou skupinou vyhledávacích metod. Lze je rozdělit na

- Binární vyhledávací stromy
- Vícecestné vyhledávací stromy

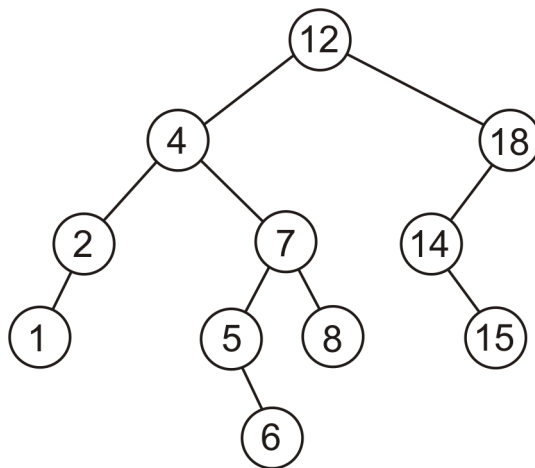
## Binární vyhledávací stromy

Jsou binární stromy s vlastnostmi:

- V každém uzlu stromu je uložen jeden datový prvek.
- Pro každý uzel  $u$  a prvek v něm uložený  $c$  platí, že prvky uložené v levém podstromu uzlu  $u$  (má-li uzel  $u$  levý podstrom) jsou menší než prvek  $c$  a prvky uložené v pravém podstromu uzlu  $u$  (má-li uzel  $u$  pravý podstrom) jsou větší než prvek  $c$ .



## Příklad.



## Vyhledání prvku

### 1. Počáteční krok

Uzel, který je v daném okamžiku vyhledávání aktuální, budeme označovat  $u$ . Na začátku jím bude kořen stromu.  
Hledaná hodnota nechť je  $x$ .

### 2. Průběžný krok

Vezmeme prvek obsažený v aktuálním uzlu  $u$ , označme ho  $c$ , a uděláme srovnání s hledanou hodnotou  $x$ :

- Nejprve srovnáme, zda je  $x < c$ :

Pokud ano, pak je nutné v hledání pokračovat v levém podstromu. Jako nový aktuální uzel  $u$  položíme levého následníka současného aktuálního uzlu a znovu uděláme krok 2.

Pokud současný aktuální uzel  $u$  levého následníka nemá, vyhledávání končí - hledaný prvek není ve stromu obsažen.

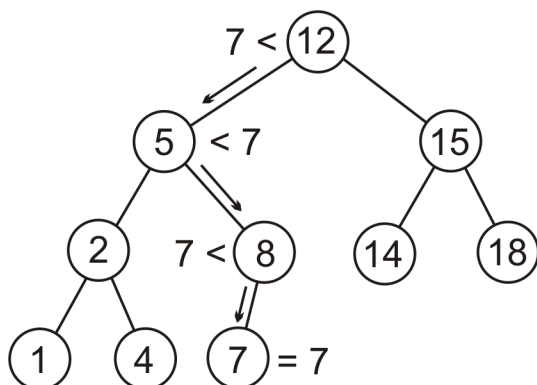
- Pokud není  $x < c$ , srovnáme, zda je  $x > c$ :

Pokud ano, je nutné v hledání pokračovat v pravém podstromu. Jako nový aktuální uzel  $u$  položíme pravého následníka současného aktuálního uzlu a opět uděláme krok 2.

Pokud současný aktuální uzel pravého následníka nemá, vyhledávání končí, hledaný prvek není ve stromu obsažen.

- Pokud není  $x > c$ , zbývá už jen případ, že platí  $x = c$ , čímž jsme u konce hledání a prvek  $c$  obsažený v současném aktuálním uzlu  $u$  je tím hledaným prvkem.

**Příklad.** V následujícím stromu máme vyhledat číslo 7.



Časová složitost:  $\Theta(h)$ , kde  $h$  je výška vyhledávacího stromu.

Pseudokód:

```
Search(T, x)  
  u  $\leftarrow$  T.root  
  while u  $\neq$  NIL  
    if x < u.item  
      u  $\leftarrow$  u.left  
    else  
      if x > u.item  
        u  $\leftarrow$  u.right  
      else  
        return u  
  return NIL
```

## Přidání prvku

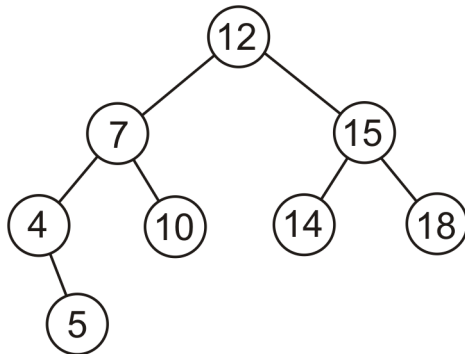
Operace přidání prvku do binárního vyhledávacího stromu znamená na příslušném místě přidat do stromu uzel, do kterého nový prvek vložíme.

Označme přidávaný prvek  $x$ . Nejprve proběhne jeho vyhledání ve stromu. Použijeme k tomu již popsany algoritmus vyhledávání. Vyhledání prvku  $x$  ve stromu může skončit třemi způsoby:

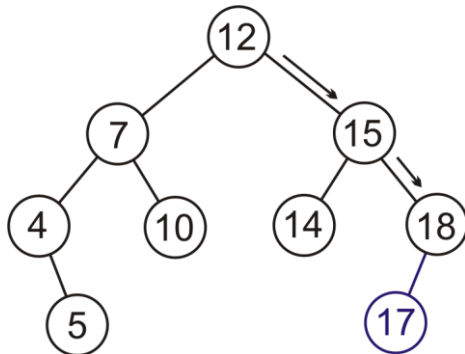
- Prvek  $x$  byl ve stromu nalezen. Tím přidávání končí, neboť prvek  $x$  už je ve stromu obsažen a u standardních vyhledávacích stromů nelze mít stejný prvek vícekrát.
- Vyhledávání skončilo v uzlu  $u$  s prvkem  $c$ , kde je  $x < c$  a uzel  $u$  už nemá levého následníka. V tom případě přidáme ke stromu nový uzel jako levého následníka uzlu  $u$  a do něho nový prvek  $x$  vložíme.

- Vyhledávání skončilo v uzlu  $u$  s prvkem  $c$ , kde je  $x > c$  a uzel  $u$  už nemá pravého následníka. V tom případě přidáme ke stromu nový uzel jako pravého následníka uzlu  $u$  a do něho nový prvek  $x$  vložíme.

**Příklad.** Do binárního vyhledávacího stromu



máme vložit prvek 17. Následující obrázek ukazuje postup.



Časová složitost:  $\Theta(h)$ , kde  $h$  je výška vyhledávacího stromu.

Pseudokód:

**NewNode (x)**

```

u ← new Node
u.item ← x
u.left ← u.right ← NIL
return u
  
```

**Insert(T, x)**

```

if T.root = NIL
    T.root ← NewNode(x)
    return true
u ← T.root
while true
    if x < u.item
        if u.left = NIL
  
```

```

        u.left ← NewNode(x)
        return true
    u ← u.left
else
    if x > u.item
        if u.right = NIL
            u.right ← NewNode(x)
            return true
        u ← u.right
    else
        return false

```

## Odebrání prvku

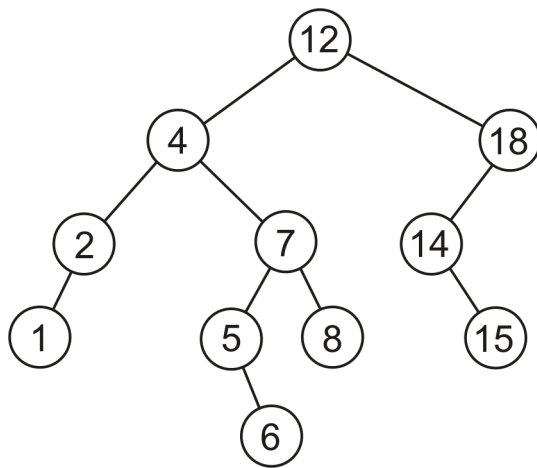
Operace odebrání prvku z binárního stromu znamená zrušení uzlu ve stromu. Nemusí to ale být uzel, ve kterém je odebíraný prvek, jak ukazuje následující popis postupu odebrání.

Označme odebíraný prvek  $x$ .

Vyhledáme prvek  $x$  ve stromu. Vyhledání může skončit třemi způsoby:

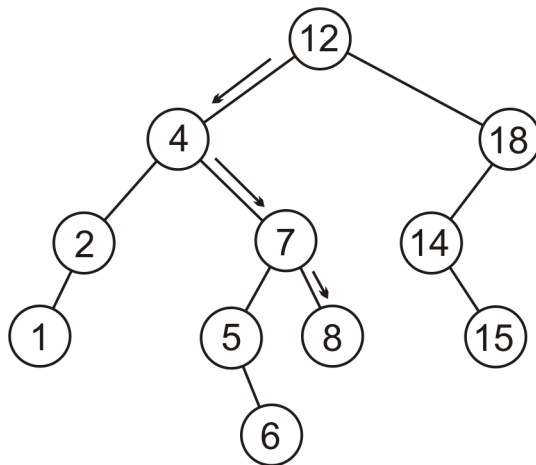
- Prvek  $x$  nebyl ve stromu nalezen – není co odebrat.
- Prvek byl nalezen v uzlu  $v$ , který má nejvýše jednoho následníka. Tento uzel zrušíme. Pokud rušený uzel  $v$  měl (jednoho) následníka, jeho následník nyní bude následníkem předchůdce rušeného uzlu  $v$ . Pokud rušený uzel  $v$  neměl předchůdce (byl kořenem), jeho následník bude novým kořenem.
- Prvek byl nalezen v uzlu  $v$ , který má dva následníky. V tomto případě do uzlu  $v$  přesuneme buďto nejpravější (největší) prvek z jeho levého podstromu anebo nejlevější (nejmenší) prvek z jeho pravého podstromu a uzel, z kterého byl prvek přesunut, zrušíme.

**Příklad.** Ze stromu

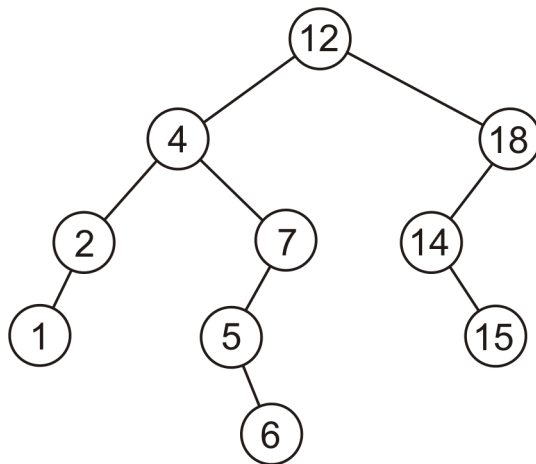


máme odebrat prvek 8.

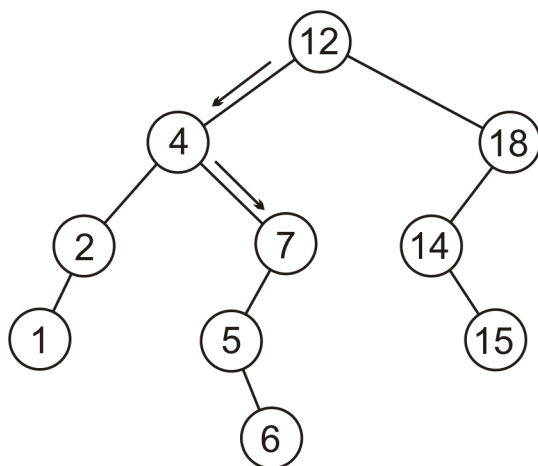
Nejprve prvek 8 ve stromu vyhledáme



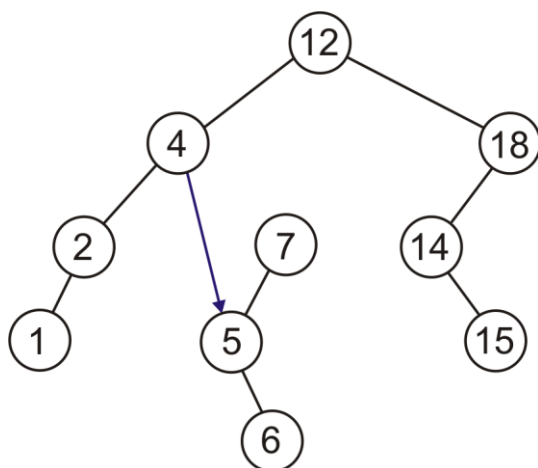
Protože prvek 8 je v uzlu, který nemá více než jednoho následníka, uzel s tímto prvkem můžeme zrušit.



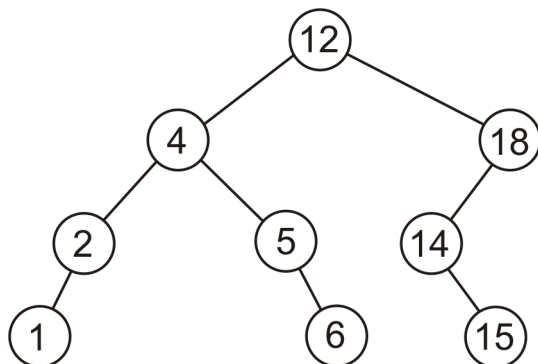
Dále máme odebrat prvek 7. Nejprve ho ve stromu vyhledáme.



Protože prvek 7 je v uzlu, který nemá více než jednoho následníka, uzel s tímto prvkem můžeme zrušit. Nejprve ale přesměrujeme odkaz v předchůdci rušeného uzlu na následníka rušeného uzlu.

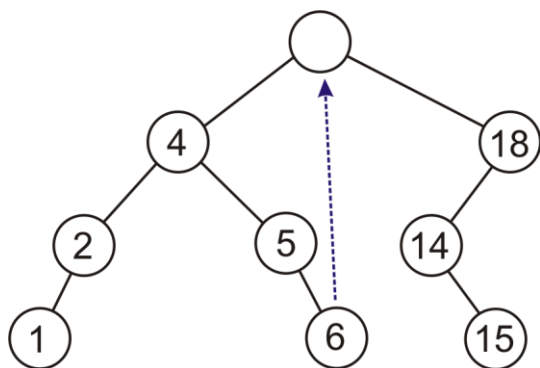


A uzel s prvkem 7 zrušíme.

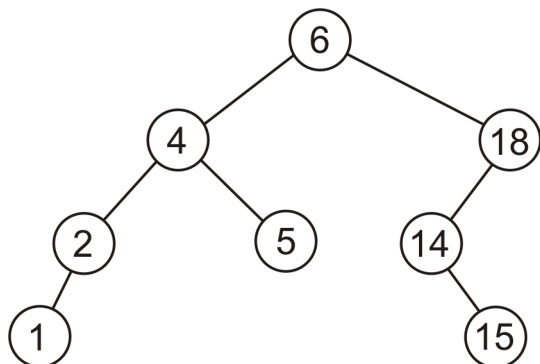


Dále máme odebrat prvek 12. Jeho vyhledání je zde rychlé, neboť prvek je v kořenu. Uzel s tímto prvkem má dva následníky, nemůžeme ho přímo odebrat.

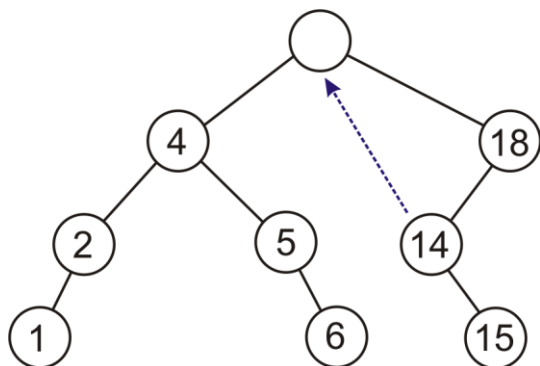
První možnost je nahradit odebíraný prvek 12 nejpravějším prvkem z levého podstromu, což je prvek 6.



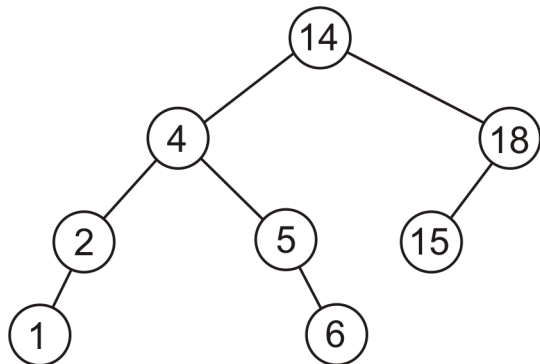
A uzel, ve kterém byl prvek 6, zrušit.



Druhá možnost je nahradit odebíraný prvek 12 nejlevějším prvkem z pravého podstromu, což je prvek 14.



A uzel, ve kterém byl prvek 14, zrušit.



Časová složitost:  $\Theta(h)$ , kde  $h$  je výška vyhledávacího stromu.



Pseudokód:

```
Delete(T, x)
  u ← T.root
  if u = NIL
    return false
  if u.item = x
    T.root ← DeleteNode(u)
    return true
  while true
    if x < u.item
      if u.left = NIL
        return false
      if u.left.item = x
        u.left ← DeleteNode(u.left)
        return true
      u ← u.left
    else
      if u.right = NIL
        return false
      if u.right.item = x
        u.right ← DeleteNode(u.right)
        return true
      u ← u.right
DeleteNode(u)
  if u.left = NIL
    return u.right
  if u.right = NIL
    return u.left
  v ← u.right
  if v.left = NIL
    u.item ← v.item
    u.right ← v.right
    return u
  w ← v.left
```

```
while w.left ≠ NIL
    v ← w
    w ← w.left
u.item ← w.item
v.left ← w.right
return u
```