

# Vyhledávací stromy

Binární vyhledávání popsané v předchozí části má velmi příznivou časovou složitost. Pokud bychom měli množinu prvků, v níž velmi často a intenzívně hledáme, pak by se zřejmě vyplatilo je na začátku setřídít. Problém ovšem nastane, když tato množina se v průběhu času mění, tj. jsou k ní přidávány nové prvky nebo z ní naopak některé prvky jsou odebírány. Už jsme uvedli, že vkládání prvků doprostřed pole nebo jejich odebírání zprostředka pole je poměrně neefektivní operace, neboť je spojena s přesuny poměrně značné části prvků v poli. Pro takovéto případy je výhodnější použít vyhledávací stromy.

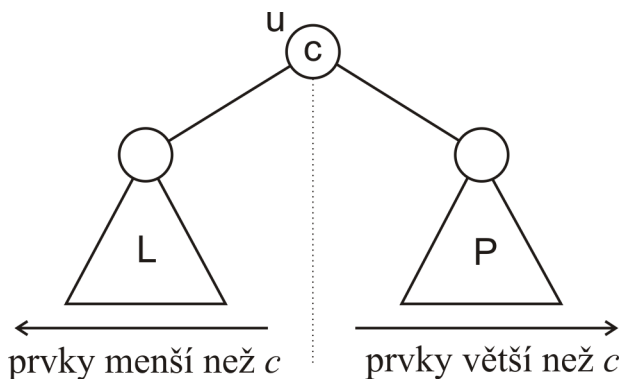
Vyhledávací stromy jsou velmi významnou a širokou skupinou vyhledávacích metod. Lze je rozdělit na

- Binární vyhledávací stromy
- Vícecestné vyhledávací stromy

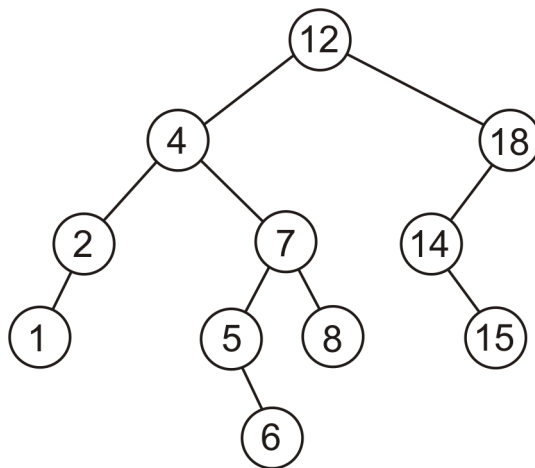
## Binární vyhledávací stromy

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 provedeme jeho 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 provedeme krok 2.

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

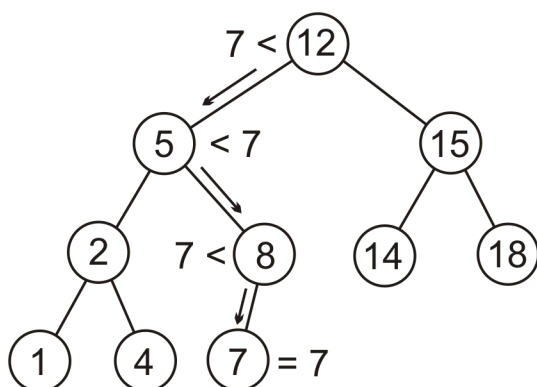
- Pokud není  $x < c$ , srovnáme, zda je  $x > c$ :

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

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

- Pokud není ani  $x > c$ , zbývá už jen případ, že platí  $x = c$ , čímž jsme u konce hledání, neboť 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

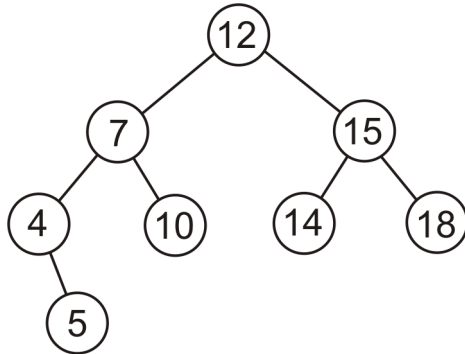
Operace přidání prvku do binárního vyhledávacího stromu znamená na příslušném místě přidat do stromu uzel, do kterého nový prvek vložíme.

Označme přidávaný prvek  $x$ . Provedeme jeho vyhledání ve stromu. Použijeme k tomu již popsany algoritmus vyhledávání. Ten může skončit třemi způsoby:

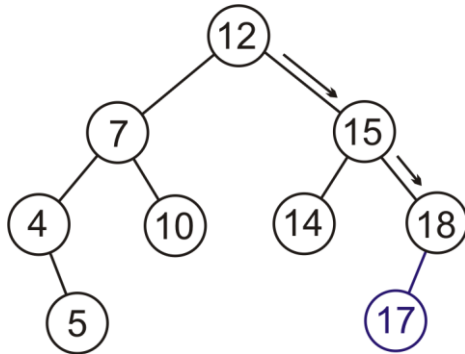
- Prvek  $x$  byl ve stromu nalezen. Tím přidávání končí, neboť prvek  $x$  už je ve stromu obsažen a u vyhledávacích stromů se nepředpokládá vícenásobný výskyt stejného prvku.
- Vyhledávání skončilo v uzlu  $u$  s prvkem  $c$ , přičemž  $x < c$  a přitom uzel  $u$  už nemá levého následníka. V tom případě přidáme ke stromu nový uzel jako levého následníka uzlu  $u$  a do něho nový prvek  $x$  vložíme.

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

**Příklad.** Do binárního vyhledávacího stromu



máme přidat 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

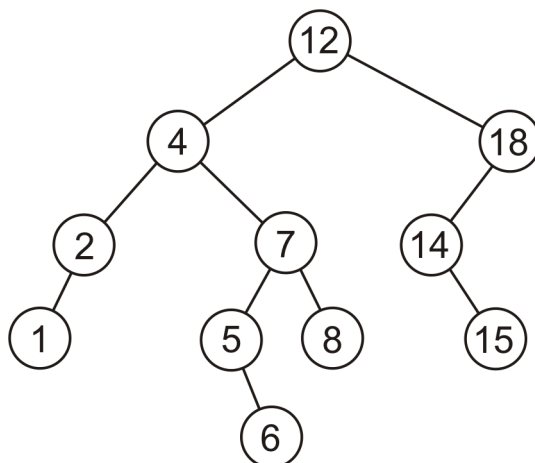
Operace odebrání prvku z binárního stromu znamená na příslušném místě zrušení uzlu ve stromu.

Označme odebíraný prvek  $x$ .

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

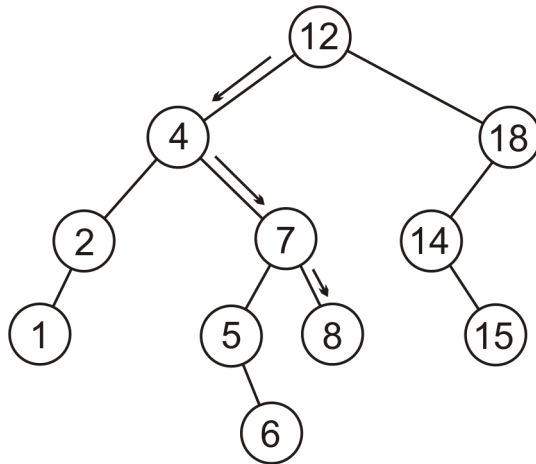
- Prvek  $x$  nebyl ve stromu nalezen – není co odebrat.
- Prvek byl nalezen v uzlu  $v$ , který má nejvýše jednoho následníka. Tento uzel zrušíme.
- Prvek byl nalezen v uzlu  $v$ , který má dva následníky. V tomto případě do uzlu  $v$  přesuneme buďto nejpravější (největší) prvek z jeho levého podstromu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

**Příklad.** Ze stromu

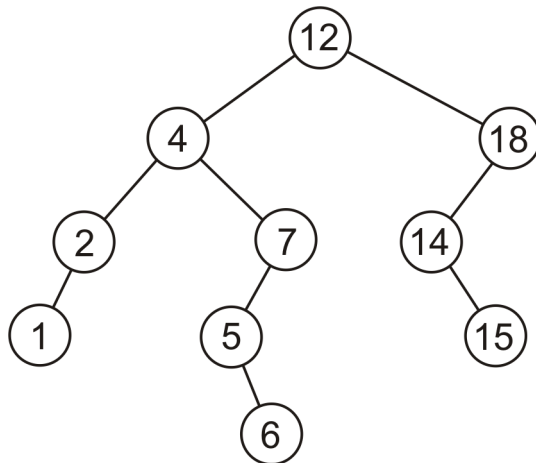


máme odebrat prvek 8.

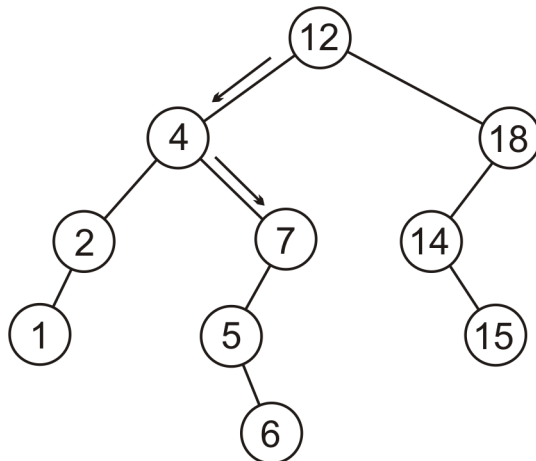
Nejprve prvek 8 ve stromu vyhledáme



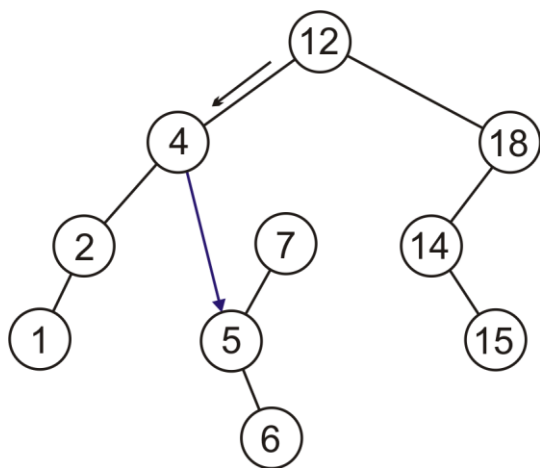
Protože prvek 8 je v uzlu, který nemá více než jednoho následníka, uzel s tímto prvkem můžeme zrušit.



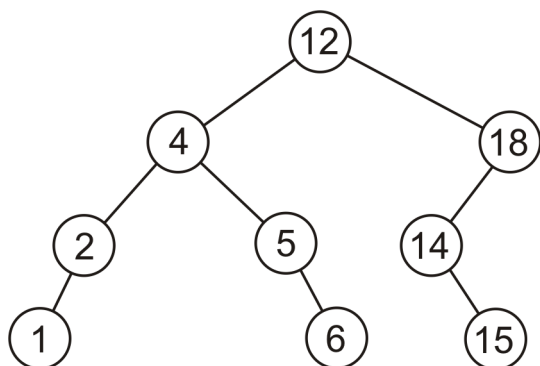
Dále máme odebrat prvek 7. Nejprve ho ve stromu vyhledáme.



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.

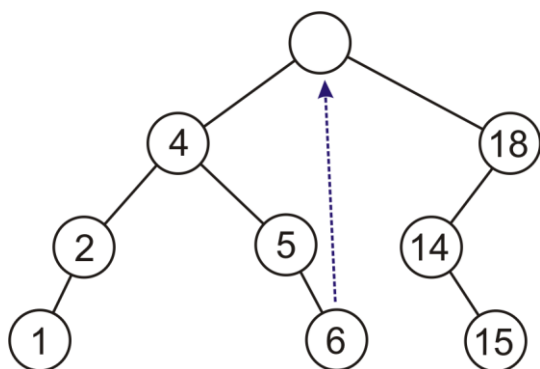


A uzel s prvkem 7 zrušíme.

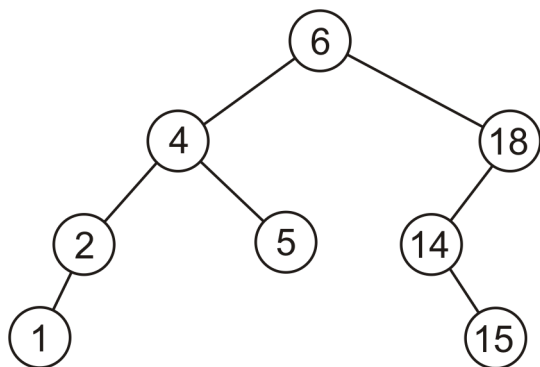


Nyní máme odebrat prvek 12. Jeho vyhledání je zde rychlé, neboť prvek je v kořenu. Uzel s tímto prvkem má dva následníky, nemůžeme ho přímo odebrat.

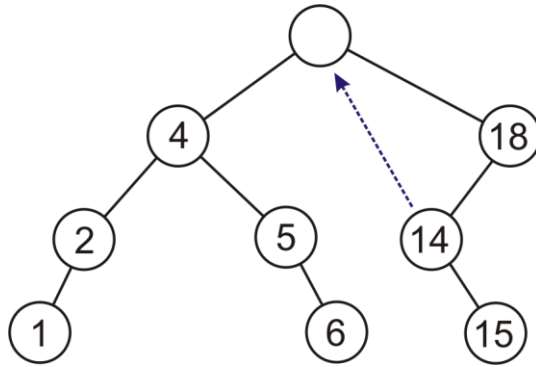
První možnost je nahradit odebíraný prvek 12 nejpravějším prvkem z levého podstromu, což je prvek 6.



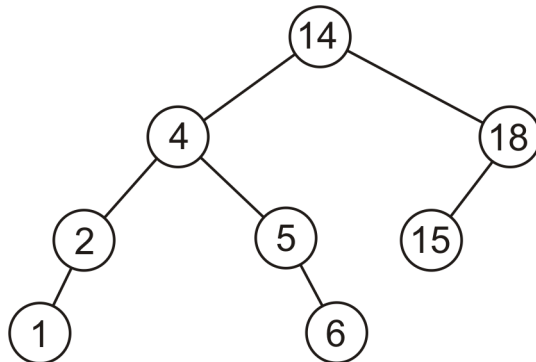
A uzel, ve kterém byl prvek 6, zrušit.



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

```