

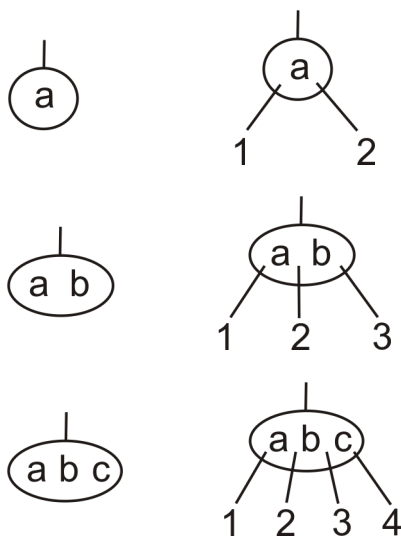
# Červeno-černé stromy

Červeno-černé (dále jen ČČ) stromy jsou vyvážené binární vyhledávací stromy. Jejich vyvážení lze odvodit z B-stromů řádu 4.

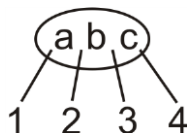
## B-stromy řádu 4

B-stromy řádu 4 jsou vyvážené vyhledávací stromy s vlastnostmi:

- V každém uzlu mohou být uloženy 1-3 prvky.
- Každý uzel je list nebo má o 1 následníka více, než je počet prvků uložených v uzlu.



- Pro každý prvek uložený ve stromu platí pravidlo, že prvky uložené ve stejném uzlu vlevo od něho jsou menší a prvky uložené vpravo od něho jsou větší. Totéž platí pro podstromy – prvky v podstromu, který je vlevo, jsou menší a prvky v podstromu vpravo jsou větší.

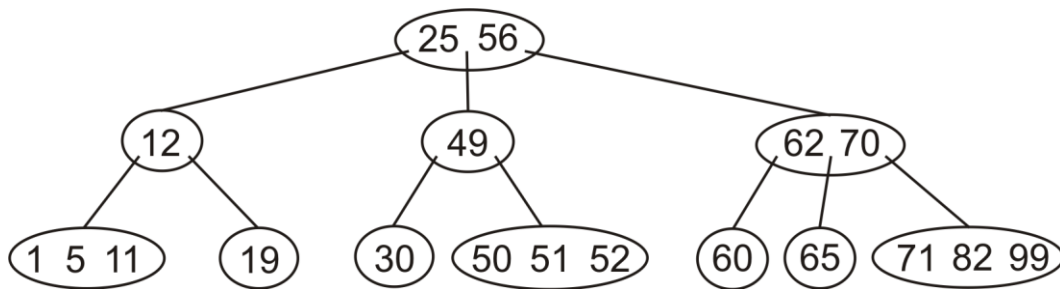


Platí:  $a < b < c$

Nechť $x$ je libovolný prvek z podstromu:	Platí:
1	$x < a$
2	$a < x < b$
3	$b < x < c$
4	$x > c$

- Všechny listy mají stejnou vzdálenost od kořene (strom je vyvážený).

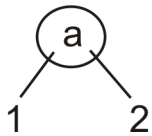
### Příklad B-stromu řádu 4



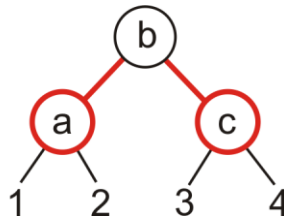
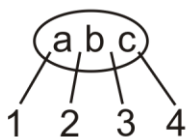
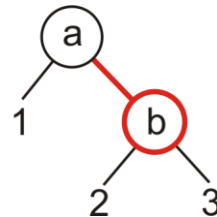
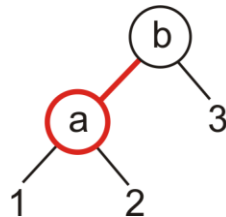
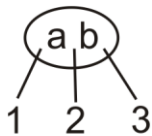
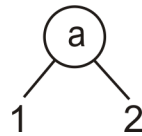
### Vytvoření ČČ stromu z B-stromu

Jednotlivé uzly B-stromu nahradíme 1-3 binárními uzly. Horní z nahrazujících uzlů bude černý, uzly pod ním budou červené uzly. Horní uzel bude s uzly pod ním spojen červenými hranami.

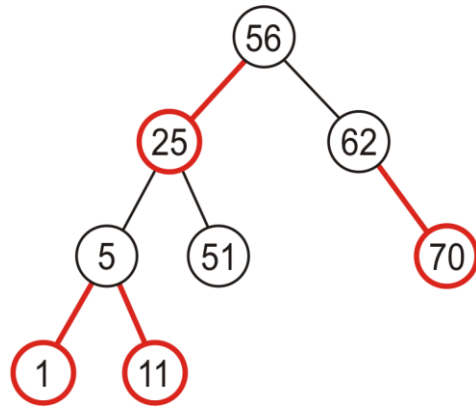
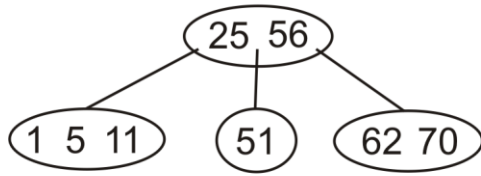
B-strom



ČČ strom



## Příklad vytvoření ČČ stromu



Vlastnosti ČČ stromu:

- Kořenový uzel je vždy černý. Barva ostatních uzlů je dána barvou hrany, kterou je uzel spojen s předchůdcem.
- Mezi kořenem a libovolným listovým uzlem je stejný počet černých hran (a tím i černých uzlů).
- Ve stromu nikdy nenásledují dvě červené hrany po sobě (a tím i nikdy nenásledují dva červené uzly po sobě).
- Necht' mezi kořenem a listem je  $m$  černých hran. Pak mezi kořenem a libovolným listem je nejvýše  $m+1$  červených hran.