

# Algorytmy i struktury danych

## Lista zadań 7

### Zadanie 1

Jakie informacje przechowujemy w węźle B-drzewa? Podaj definicję B-drzewa.

```
struct BTree
{
    uint32_t t;
    bool isLeaf;
    size_t n;
    int32_t *keys;
    size_t *offsets;
};
```

1. Każdy węzeł posiada  $n$  kluczy, przechowywanych w kolejności niemalejącej, a także informację o tym czy jest on liściem.
2. Dodatkowo każdy węzeł posiada  $n + 1$  wskaźników do swoich dzieci.
3. Klucze węzła dzielą zbiór kluczy przechowywanych w jego dzieciach na  $n + 1$  przedziałów.
4. Wszystkie liście znajdują się na tym samym poziomie równym wysokości drzewa  $h$ .
5. Każdy węzeł, z wyjątkiem korzenia, posiada co najmniej  $t - 1$  kluczy.
6. Każdy węzeł może posiadać maksymalnie  $2t - 1$  kluczy.

### Zadanie 2

(2 pkt.) Udowodnij, że żadna z poniższych operacji wykonana na drzewie spełniającym wszystkie warunki B-drzewa, nie prowadzi do ich naruszenia.

- (a) **split\_child**, przesuwająca środkowy klucz (medianę) z węzła o  $2t - 1$  kluczach do rodzica, który ma mniej niż  $2t - 1$  kluczy, a klucze i dzieci na prawo od mediany – do nowego brata dodanego po prawej stronie dzielonego węzła.
- (b) **unsplit\_child** odwrotna do **split\_child**, sklejająca dwa sąsiednie węzły o minimalnej liczbie kluczy  $t - 1$  oraz klucz stojący w rodzicu między nimi w jeden nowy węzeł. Zakładamy, że rodzic ma co najmniej  $t$  kluczy lub jest korzeniem.
- (c) **borrow\_from\_sibling**, rotacja przenosząca do węzła o minimalnej  $t - 1$  liczbie kluczy, który ma prawego brata z co najmniej  $t$  kluczami, klucz stojący w rodzicu między braćmi i wpisująca na jego miejsce jego miejsce pierwszy klucz brata. Jakie operacje na dzieciach należy dodatkowo wykonać?

### Zadanie 3

W B-drzewie o  $t = 10$  podaj wzory i wyniki numeryczne określające:

(a) ile kluczy może zawierać korzeń (podaj przedział),

$$n_{minr} = 1 \quad n_{max} = 2t - 1 = 19 \quad \langle 1, 19 \rangle$$

(b) ile dzieci może mieć korzeń (podaj przedział),

$$nc_{minr} = 2 \quad n_{max} = 2t - 1 + 1 = 20 \quad \{0\} \cup \langle 2, 20 \rangle$$

(c) ile kluczy może mieć potomek korzenia (podaj przedział),

$$n_{min} = t - 1 = 9 \quad n_{max} = 2t - 1 = 19 \quad \langle 9, 19 \rangle$$

(d) ile dzieci może mieć potomek korzenia (podaj przedział),

$$nc_{min} = t = 10 \quad n_{max} = 2t - 1 + 1 = 20 \quad \langle 10, 20 \rangle$$

(e) ile maksymalnie węzłów może być na  $k$ -tym poziomie (przyjmując, że korzeń to poziom 0)

$$nc_{max}(k) = (2t)^k \quad \text{dla } t = 10 \implies n_{max}(k) = 20^k$$

(f) ile łącznie kluczy może być na  $k$ -tym poziomie (podaj przedział).

$$nc_{min}(k) = \begin{cases} 2t^{k-1} & \text{dla } k \geq 1 \\ 1 & \text{dla } k = 0 \end{cases}$$

$$n_{min}(k) = 2t^{k-1}(t-1) \quad \langle 2t^{k-1}(t-1), (2t)^k(2t-1) \rangle$$

$$n_{max}(k) = (2t)^k(2t-1) \quad \langle 2 \cdot 10^{k-1}9, 20^k19 \rangle$$

### Zadanie 4

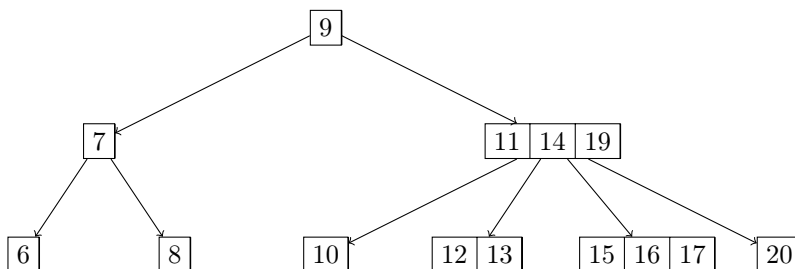
Jaka jest minimalna, a jaka maksymalna liczba kluczy w B-drzewie mającym  $h$  poziomów, przy ustalonej wartości parametru  $t$  (patrz Cormen).

$$n_{min}(h) = 1 + \sum_{i=0}^{h-1} (2t)^{i-1}(t-1) = 1 + 2(t-1) \sum_{i=0}^{h-1} t^{i-1} = 1 + 2(t-1) \frac{t^{h-1}}{t-1} = 2t^{h-1} - 1$$

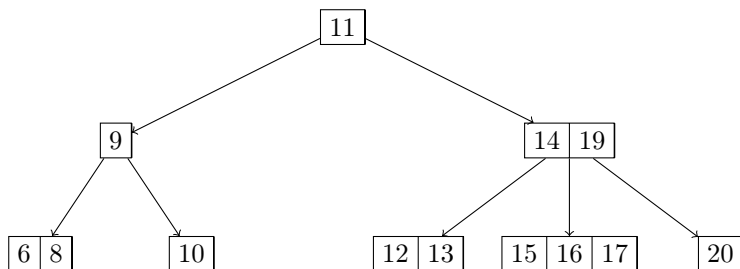
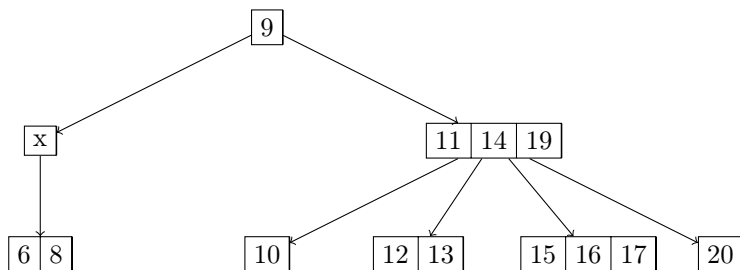
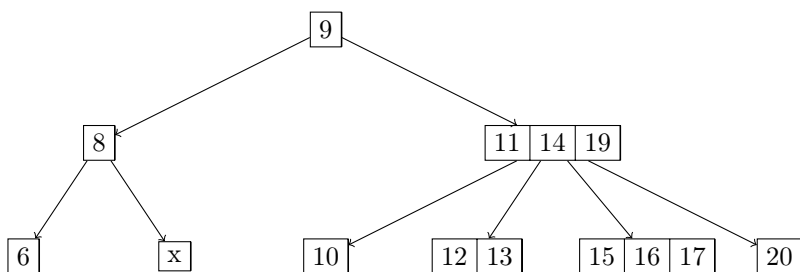
$$n_{max}(h) = \sum_{i=0}^{h-1} (2t)^i(2t-1) = (2t-1) \sum_{i=0}^{h-1} (2t)^i = (2t-1) \frac{(2t)^h - 1}{2t-1} = (2t)^h - 1$$

### Zadanie 5

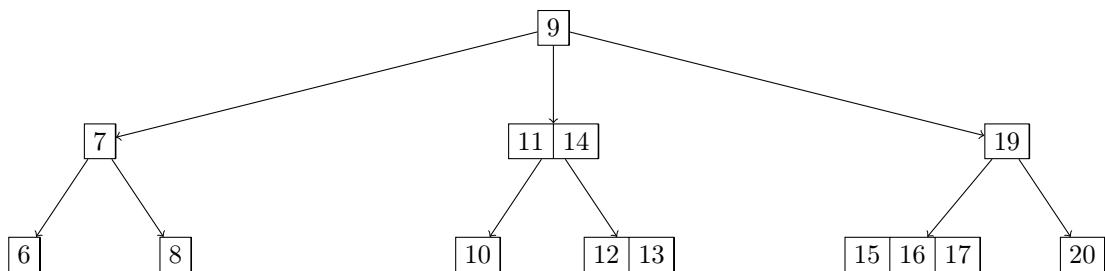
Podano na rysunku B-drzewo o  $t = 2$ :



- usuń z tego drzewa 7.



- do drzewa widocznego powyżej dodaj 18.



## Zadanie 6

(2 pkt.) Do pustego B-drzewa o  $t = 2$  wstaw kolejno 22 litery swojego imienia i nazwiska oraz adresu. Następnie usuń w tej samej kolejności w jakiej były wstawiane.

## Zadanie 7

Narysuj B-drzewo o  $t = 3$  zawierające dokładnie 17 kluczy na trzech poziomach: korzeń, jego dzieci i wnuki. Następnie usuń z tego drzewa korzeń.