

Datové štruktúry a algoritmy

Zadanie 2 – Vyhľadávanie v dynamických množinách

Emma Macháčová

Meno cvičiaceho : Ing. Dominika Dolhá

Čas cvičení : pondelok 9:00

Dátum vytvorenia : 29. marec 2021

Obsah

Cieľ práce	1
Vlastná implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu	2
Opis riešenia	2
Funkcia insert.....	3
Funkcia AVL.....	3
Funkcia rotateRight.....	4
Funkcia rotateLeft.....	4
Funkcia rightLeft	5
Funkcia leftRight	5
Funkcia search	5
Funkcia printOut	5
Testy	6
Vyhodnotenie:	8
Prevzatá implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu	9
Opis riešenia	9
Porovnanie s vlastnou implementáciou.....	9

Cieľ práce

Cieľom projektu v rámci tohto zadania je porovnať viacero implementácií dátových štruktúr z hľadiska efektivity operácií **insert** a **search** v rozličných situáciách (bez implementácie operácie delete) :

- vlastná implementácia **binárneho vyhľadávacieho stromu** (BVS) s ľubovoľným algoritmom na vyvažovanie, napr. AVL, Červeno-Čierne stromy, (2,3) stromy, (2,3,4) stromy, Splay stromy, ...
- porovnanie prevzatej implementácie BVS s iným algoritmom na vyvažovanie ako v predchádzajúcom bode
- vlastná implementácia **hashovania** s riešením kolízií podľa vlastného výberu, spolu s implementáciou operácie zväčšenia hashovacej tabuľky
- porovnanie prevzatej implementácie hashovania s riešením kolízií iným spôsobom ako v predchádzajúcom bode

Vlastná implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu

Opis riešenia

Pre vlastnú implementáciu binárneho vyhľadávacieho stromu som zvolila **AVL algoritmus** na vyvažovanie (Adelson-Velsky and Landis), v ktorom sa pre každý uzol rozdiel výšky dvoch podstromov detských uzlov líšia najviac o jednotku. Hľadanie aj vkladanie majú zložitosť $O(\log n)$ v priemernom aj najhoršom prípade.

Pre efektívnosť a prehľadnosť kódu som definovala **pomocné funkcionality** :

```
#define compare(a, b) ((a > b) ? a : b)
#define dlzkaPodstromu(node) ((node == NULL) ? 0 : node->dlzkaPodstromu)
#define rozdielHlbok(node) ((node == NULL) ? 0 : (dlzkaPodstromu(node->left) - dlzkaPodstromu(node->right)))
#define maxDlзка(node) (compare(dlзkaPodstromu(node->left), dlзkaPodstromu(node->right)) + 1)
#define velkostPola(pole) (sizeof (pole) / sizeof (char *))
```

Štruktúra, s ktorou v programe pracujem, vyzerá nasledovne :

```
// struktura zvieraťa
typedef struct node {
    int pocetNoh; // hlavný key
    int pocetOci;
    char nazovZvieraťa[20];

    struct node *left;
    struct node *right;
    struct node *parent;

    int dlzkaPodstromu;
} ZVIERA;
```

Funkcia insert

Rekurzívna funkcia vkladania do stromu vkladá uzol tak, ako keby bol nevyvážený, a potom volá funkciu, ktorá rotuje uzly, ktoré sa počas vkladania stali nevyváženými.

```
struct node *insert(struct node *node, int pocetNoh, int pocetOci,  
char *nazovZvierata) {
```

Parameter na základe ktorého uzol umiestňuje je „počet nôh“. Pokiaľ je uzol prázdny (NULL), alokuje preň pamäť a umiestni vstupné parametre ako dáta. Ukazovatele na child uzly sa nastaví a NULL, a počiatočná dĺžka podstromu na 1 (výsledná dĺžka sa vyráta vo funkcii AVL).

Po alokovaní sa volá funkcia AVL na rotáciu nevyvážených uzlov.

Pokiaľ uzol nie je prázdny (NULL), funkcia kontroluje duplicitu kľúča (počet nôh), a posúva sa v strome doprava/dola podľa veľkosti kľúča v existujúcich uzloch, až kým nenájde list stromu za ktorý nový uzol patrí.

Funkcia AVL

Ako prvá funkcia zistí dĺžku podstromu aktuálneho uzlu ako maximálnu veľkosť dĺžok jeho detí. Premenná rozdiel reprezentuje koeficient vyváženosti uzla, ktorá sa získava z týchto dĺžok.

Koeficient vyváženosti uzla je výška jeho pravého podstromu mínus výška jeho ľavého podstromu. Uzol s koeficientom vyváženosti 1, 0 alebo -1 sa považuje za vyvážený. Uzol s koeficientom vyváženosti -2 alebo 2 sa považuje za nevyvážený a vyžaduje vyváženie stromu.

Ak koeficient > 1 :

Strom prevažuje v ľavej časti – podľa toho, či je kľúč aktuálneho uzla väčší alebo menší ako kľúč jeho ľavého potomka funkcia rozhodne, či má po rotácii byť aktuálny uzol pravým alebo ľavým dieťaťom, a podľa toho volá funkciu rotateRight(node) ak je jeho kľúč menší, a funkciu leftRight(node) ak je jeho kľúč väčší.

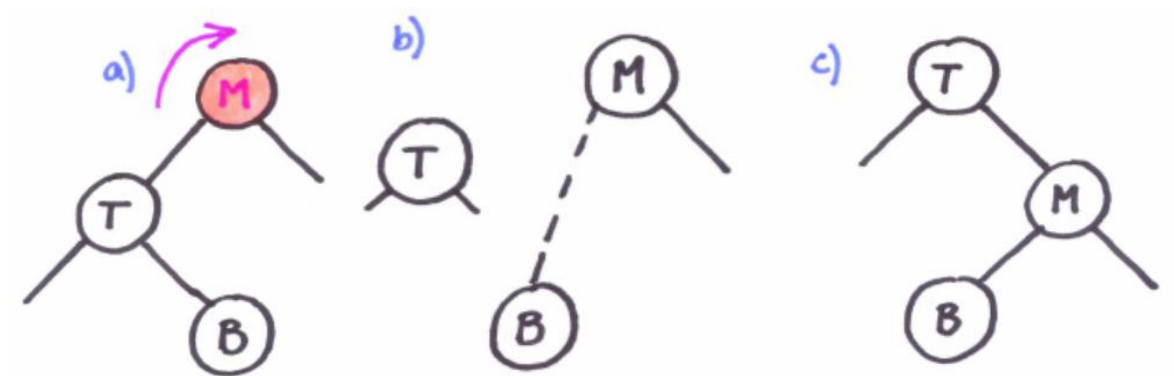
Ak koeficient < -1 :

Strom prevažuje v pravej časti – podľa toho, či je kľúč aktuálneho uzla väčší alebo menší ako kľúč jeho pravého potomka funkcia rozhodne, či má po rotácii byť aktuálny uzol pravým alebo ľavým dieťaťom, a podľa toho volá funkciu rightLeft(node) ak je jeho kľúč menší, a funkciu rotateLeft(node) ak je jeho kľúč väčší.

V oboch prípadoch v situácií, že sa hlavné kľúče zhodujú, funkcia postupuje podľa ďalších parametrov uzlov (počet očí, prípadne názov zvierata).

Funkcia rotateRight

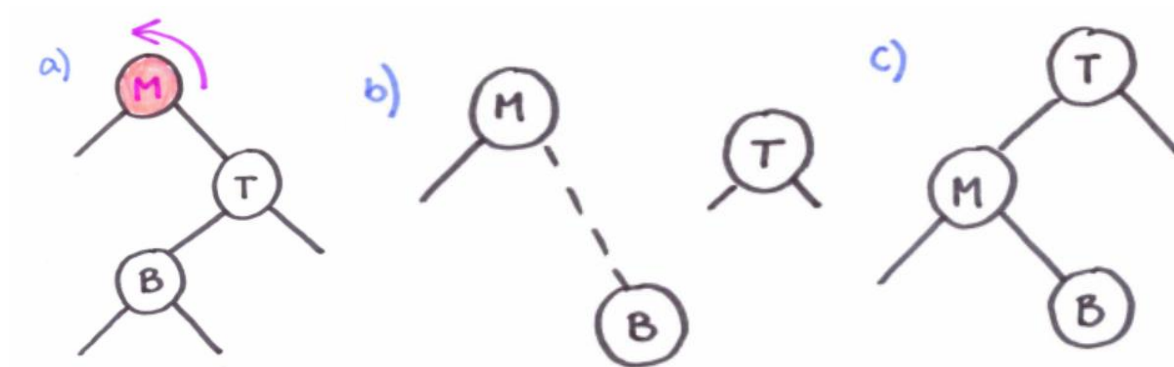
Je potrebné kontrolovať, či vstupný uzol ukazuje na existujúce dieťa, pretože pri otočení prázdny (NULL) uzol nemôže ukazovať na existujúci uzol.



Ak k rotácií dôjde, na záver sa uzlom vypočíta dĺžka ich podstromu.

Funkcia rotateLeft

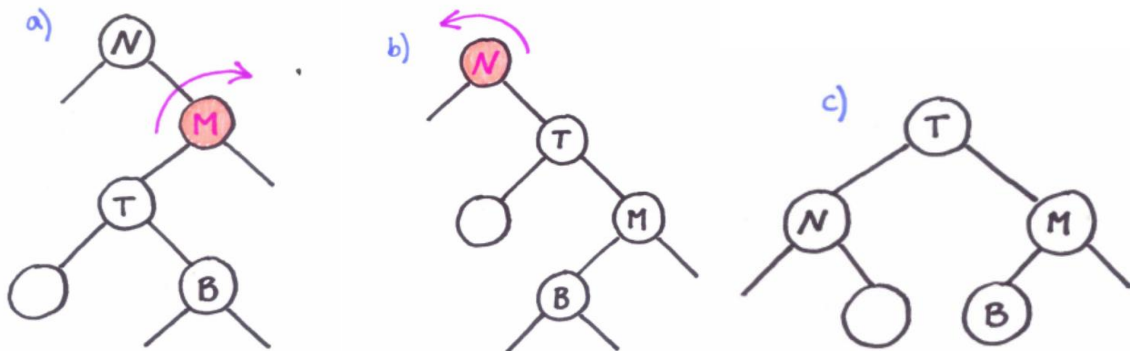
Rovnako ako pri rotateRight, je potrebné kontrolovať, či vstupný uzol ukazuje na existujúce dieťa.



Ak k rotácií dôjde, na záver sa uzlom vypočíta dĺžka ich podstromu.

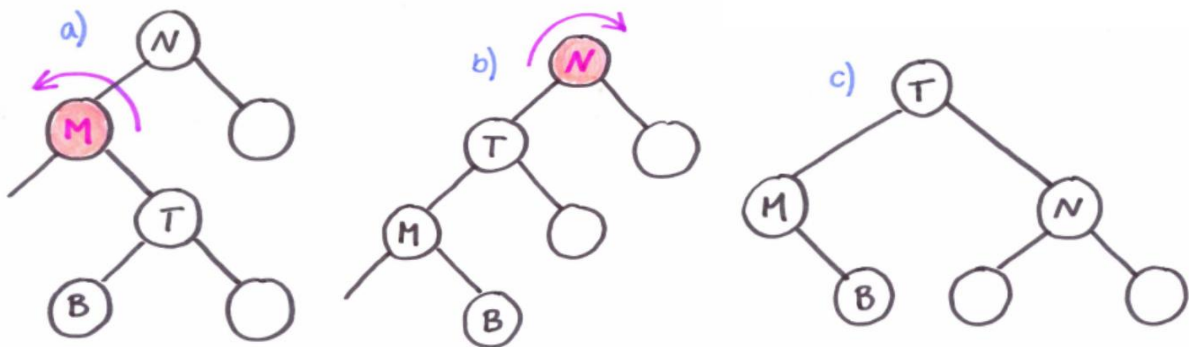
Funkcia rightLeft

Táto funkcia najskôr volá funkciu rotateRight pre pravé dieťa aktuálneho uzlu, a potom rotateLeft pre aktuálny uzol. Kontroluje či nie je pravé dieťa prázdne (NULL), aby bolo možné rotáciu vykonať.



Funkcia leftRight

Táto funkcia najskôr volá funkciu rotateLeft pre ľavé dieťa aktuálneho uzlu, a potom rotateRight pre aktuálny uzol. Kontroluje či nie je ľavé dieťa prázdne (NULL), aby bolo možné rotáciu vykonať.



Funkcia search

Rekurzívna funkcia, pokiaľ je uzol prázdny (NULL) údaje sa nepodarilo nájsť, inak postupuje stromom doprava/dolava podľa veľkosti hodnoty kľúča aktuálneho uzla a vstupného parametra. Ak sa zhoduje s kľúčom uzla, je to želaný uzol, pretože sa pri vkladaní kľúče neopakujú (počet nôh).

Funkcia printOut

Pomocná funkcia pre výpis. Pri vstupnom parametri TRUE vypíše uzly zostupne, pri FALSE vzostupne.

Testy

<p>----- TEST CISLO 1 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (941 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 894,-> pocet nevlozenych duplikatov: 47,-> pocet operacii otacania: 4122,z toho 1995 doprava a 2127 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (941 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 95,-> pocet nenajdenych: 846 <p>VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 2 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (11600 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 6858,-> pocet nevlozenych duplikatov: 4742,-> pocet operacii otacania: 68794,z toho 33755 doprava a 35039 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.009 s (0.001312 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (11600 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 8081,-> pocet nenajdenych: 3519 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000247 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (24681 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9092,-> pocet nevlozenych duplikatov: 15589,-> pocet operacii otacania: 137523,z toho 68078 doprava a 69445 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.001320 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (24681 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 22575,-> pocet nenajdenych: 2106 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000133 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (1488 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 1388,-> pocet nevlozenych duplikatov: 100,-> pocet operacii otacania: 7019,z toho 3360 doprava a 3659 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000720 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (1488 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 195,-> pocet nenajdenych: 1293 <p>VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (30606 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9488,-> pocet nevlozenych duplikatov: 21118,-> pocet operacii otacania: 170174,z toho 84651 doprava a 85523 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.001792 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (30606 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 29076,-> pocet nenajdenych: 1530 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000172 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (32354 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9586,-> pocet nevlozenych duplikatov: 22768,-> pocet operacii otacania: 178621,z toho 88476 doprava a 90145 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.017 s (0.001773 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (32354 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 31076,-> pocet nenajdenych: 1278 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000129 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (29968 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9467,-> pocet nevlozenych duplikatov: 20501,-> pocet operacii otacania: 163471,z toho 81465 doprava a 82006 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.013 s (0.001373 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (29968 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 28401,-> pocet nenajdenych: 1567 <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000211 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (16171 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7995,-> pocet nevlozenych duplikatov: 8176,-> pocet operacii otacania: 96460,z toho 47603 doprava a 48857 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000750 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (16171 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 13041,-> pocet nenajdenych: 3130 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000230 ms/prvok)</p>
--	---

<p>----- TEST CISLO 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (28996 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9435,-> pocet nevlozenych duplikatov: 19561,-> pocet operacii otacania: 165515,z toho 82265 doprava a 83250 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.001272 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (28996 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 27471,-> pocet nenajdenych: 1525 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000146 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 10 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (16272 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7959,-> pocet nevlozenych duplikatov: 8313,-> pocet operacii otacania: 91959,z toho 45376 doprava a 46583 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.000880 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (16272 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 13065,-> pocet nenajdenych: 3207 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000153 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 11 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (9362 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 6019,-> pocet nevlozenych duplikatov: 3343,-> pocet operacii otacania: 57911,z toho 28731 doprava a 29180 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000665 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (9362 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 5711,-> pocet nenajdenych: 3651 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000350 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (27207 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9325,-> pocet nevlozenych duplikatov: 17882,-> pocet operacii otacania: 159691,z toho 79571 doprava a 80120 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.001287 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (27207 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 25452,-> pocet nenajdenych: 1755 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000157 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (21148 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 8717,-> pocet nevlozenych duplikatov: 12431,-> pocet operacii otacania: 125017,z toho 61814 doprava a 63203 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.009 s (0.001032 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (21148 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 18517,-> pocet nenajdenych: 2631 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000162 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (10392 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 6425,-> pocet nevlozenych duplikatov: 3967,-> pocet operacii otacania: 62874,z toho 30908 doprava a 31966 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000934 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (10392 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 6751,-> pocet nenajdenych: 3641 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000296 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (13609 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7355,-> pocet nevlozenych duplikatov: 6254,-> pocet operacii otacania: 80943,z toho 39944 doprava a 40999 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000816 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (13609 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 10170,-> pocet nenajdenych: 3439 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000197 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (15943 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7910,-> pocet nevlozenych duplikatov: 8033,-> pocet operacii otacania: 93202,z toho 46581 doprava a 46621 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.000885 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (15943 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 12723,-> pocet nenajdenych: 3220 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000157 ms/prvok)</p>
---	--

<p>----- TEST CISLO 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (23524 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9024,-> pocet nevlozenych duplikatov: 14500,-> pocet operacii otacania: 138388,z toho 68842 doprava a 69546 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.011 s (0.001219 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (23524 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 21249,-> pocet nenajdenych: 2275 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000188 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (30570 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9514,-> pocet nevlozenych duplikatov: 21056,-> pocet operacii otacania: 172342,z toho 86200 doprava a 86142 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.014 s (0.001472 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (30570 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 29161,-> pocet nenajdenych: 1409 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000171 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (16077 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7937,-> pocet nevlozenych duplikatov: 8140,-> pocet operacii otacania: 96895,z toho 47676 doprava a 49219 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.001008 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (16077 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 12862,-> pocet nenajdenych: 3215 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000233 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 20 -----</p> <p>TEST VKLADANIA (23493 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 9024,-> pocet nevlozenych duplikatov: 14469,-> pocet operacii otacania: 126761,z toho 62777 doprava a 63984 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.011 s (0.001219 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA (23493 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 21243,-> pocet nenajdenych: 2250 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000188 ms/prvok)</p>
---	---

Vyhodnotenie:

čas pre **vkładanie**:

- pod 100 prvkov - 0.000 s (0.000000 ms/prvok)
- pod 1000 prvkov - 0.000 s (0.000000 ms/prvok)
- pod 10000 prvkov - 0.049 s (0.004900 ms/prvok)
- pod 100000 prvkov - 1.839 s (0.056122 ms/prvok)

čas pre **hľadanie**:

- pod 100 prvkov - 0.000 s (0.000000 ms/prvok)
- pod 1000 prvkov - 0.000 s (0.000000 ms/prvok)
- pod 10000 prvkov - 0.018 s (0.000180 ms/prvok)
- pod 100000 prvkov - 0.812 s (0.000203 ms/prvok)

Lepšie výsledky vychádzajú pri **hľadaní**, čím viac prvkov sa spracováva tým je rozdiel zjavnejší.

Prevzatá implementácia binárneho vyhľadávacieho stromu

Opis riešenia

Ide o binárny vyhľadávací strom typu **Red-black tree** - implementácia je prevzatá zo stránky <https://www.programiz.com/dsa/red-black-tree>, a funkcia vyhľadávania bola doplnená zo stránky <https://www.codesdope.com/blog/article/binary-search-tree-in-c/>, pretože v prvom kóde chýbala, a v druhom nič iné okrem vyhľadávania nebolo plne funkčné, a lepšiu implementáciu som nevedela nájsť.

Červeno-čierny strom musí spĺňať nasledujúce **pravidlá**:

- Každý uzol je buď červený, alebo čierny.
- Koreň je čierny.
- Listy (nil) sú pokladané za čierne vrcholy.
- Každý červený vrchol má dva čierne synov.
- Každá cesta z jedného vrcholu do jeho listov obsahuje rovnaký počet čiernych vrcholov.

Kód som **doplnila** o definíciu výpočtu veľkosti poľa a globálne premenné pre spustenie testovacej funkcie individuálne v danom súbore len pre tento strom. Taktiež som do štruktúry uzla pridala ďalší int a string, pre porovnateľnosť s vlastnou implementáciou. Toto pridanie si vyžiadalo iba minimálne zmeny kódu, a to hlavne vo funkcii insertion pri vytváraní nového uzla (resp. vo funkcii createNode).

Porovnanie s vlastnou implementáciou

----- TEST CISLO 1 -----	----- TEST CISLO 2 -----
TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (2041 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 1980, -> pocet nevlozenych duplikatov: 61, -> pocet operacii otacania: 10951, z toho 5306 doprava a 5645 dolava VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.001010 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (31028 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 19995, -> pocet nevlozenych duplikatov: 11033, -> pocet operacii otacania: 233083, z toho 115834 doprava a 117249 dolava VYSLEDNY CAS 0.026 s (0.001300 ms/prvok)
TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (2041 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 1984, -> pocet nevlozenych duplikatov: 57 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000504 ms/prvok)	TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (31028 prvkov) : -> pocet vlozenych zvierat: 20085, -> pocet nevlozenych duplikatov: 10943 VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.000597 ms/prvok)
TEST HLADANIA V AVL STROME (2041 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 123, -> pocet nenajdenych: 1918 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)	TEST HLADANIA V AVL STROME (31028 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 18854, -> pocet nenajdenych: 12174 VYSLEDNY CAS 0.010 s (0.000530 ms/prvok)
TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (2041 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 132, -> pocet nenajdenych: 1909 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)	TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (31028 prvkov) : -> pocet najdenych zvierat: 18970, -> pocet nenajdenych: 12058 VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.000422 ms/prvok)

<p>----- TEST CISLO 3 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (33001 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 20888,-> pocet nevlozenych duplikatov: 12113,-> pocet operacii otacania: 239269,z toho 118344 doprava a 120925 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.028 s (0.001340 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (33001 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 20740,-> pocet nevlozenych duplikatov: 12261 <p>VYSLEDNY CAS 0.010 s (0.000482 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (33001 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 21042,-> pocet nenajdenych: 11959 <p>VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.000380 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (33001 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 20966,-> pocet nenajdenych: 12035 <p>VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.000382 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 5 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (5044 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 4679,-> pocet nevlozenych duplikatov: 365,-> pocet operacii otacania: 29046,z toho 14193 doprava a 14853 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000641 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (5044 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 4689,-> pocet nevlozenych duplikatov: 355 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000427 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (5044 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 692,-> pocet nenajdenych: 4352 <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.001445 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (5044 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 706,-> pocet nenajdenych: 4338 <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.001416 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 4 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (18017 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 13911,-> pocet nevlozenych duplikatov: 4106,-> pocet operacii otacania: 130458,z toho 64467 doprava a 65991 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.013 s (0.000935 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (18017 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 13898,-> pocet nevlozenych duplikatov: 4119 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000360 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (18017 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 7668,-> pocet nenajdenych: 10349 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000522 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (18017 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 7598,-> pocet nenajdenych: 10419 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000395 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 6 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (6776 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 6126,-> pocet nevlozenych duplikatov: 650,-> pocet operacii otacania: 42652,z toho 20817 doprava a 21835 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000816 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (6776 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 6160,-> pocet nevlozenych duplikatov: 616 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000325 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (6776 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 1332,-> pocet nenajdenych: 5444 <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000751 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (6776 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 1310,-> pocet nenajdenych: 5466 <p>VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000763 ms/prvok)</p>
--	--

<p>----- TEST CISLO 7 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (14314 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 11564,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2750,-> pocet operacii otacania: 98923,z toho 48331 doprava a 50592 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.010 s (0.000865 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (14314 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 11567,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2747 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000346 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (14314 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 5069,-> pocet nenajdenych: 9245 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000789 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (14314 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 5136,-> pocet nenajdenych: 9178 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000584 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 8 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (12382 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10309,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2073,-> pocet operacii otacania: 82729,z toho 40558 doprava a 42171 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000582 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (12382 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 10305,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2077 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000291 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (12382 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 3936,-> pocet nenajdenych: 8446 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000508 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (12382 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 3899,-> pocet nenajdenych: 8483 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000513 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 9 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (23209 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 16661,-> pocet nevlozenych duplikatov: 6548,-> pocet operacii otacania: 164985,z toho 81347 doprava a 83638 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.014 s (0.000840 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (23209 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 16651,-> pocet nevlozenych duplikatov: 6558 <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000360 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (23209 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 11755,-> pocet nenajdenych: 11454 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000425 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (23209 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 11778,-> pocet nenajdenych: 11431 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000340 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 10 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (14203 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 11589,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2614,-> pocet operacii otacania: 100234,z toho 48994 doprava a 51240 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.000690 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (14203 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 11500,-> pocet nevlozenych duplikatov: 2703 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000348 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (14203 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 5029,-> pocet nenajdenych: 9174 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000795 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (14203 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 4926,-> pocet nenajdenych: 9277 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000406 ms/prvok)</p>
---	--

<p>----- TEST CISLO 11 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (8952 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7827,-> pocet nevlozenych duplikatov: 1125,-> pocet operacii otacania: 58533,z toho 28861 doprava a 29672 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000639 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (8952 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 7832,-> pocet nevlozenych duplikatov: 1120 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000383 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (8952 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 2066,-> pocet nenajdenych: 6886 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000968 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (8952 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 2154,-> pocet nenajdenych: 6798 <p>VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000929 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 12 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (22170 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 16073,-> pocet nevlozenych duplikatov: 6097,-> pocet operacii otacania: 161093,z toho 79237 doprava a 81856 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.014 s (0.000871 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (22170 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 16134,-> pocet nevlozenych duplikatov: 6036 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000310 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (22170 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 10843,-> pocet nenajdenych: 11327 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000369 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (22170 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 10956,-> pocet nenajdenych: 11214 <p>VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000456 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 13 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (3281 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 3134,	<p>----- TEST CISLO 15 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (34580 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 21352,-> pocet nevlozenych duplikatov: 13228,-> pocet operacii otacania: 254160,z toho 125364 doprava a 128796 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.021 s (0.000984 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (34580 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 21399,-> pocet nevlozenych duplikatov: 13181 <p>VYSLEDNY CAS 0.009 s (0.000421 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (34580 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 22457,-> pocet nenajdenych: 12123 <p>VYSLEDNY CAS 0.008 s (0.000356 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (34580 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 22766,-> pocet nenajdenych: 11814 <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000264 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 16 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (21872 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 15976,-> pocet nevlozenych duplikatov: 5896,-> pocet operacii otacania: 157432,z toho 77370 doprava a 80062 dolava <p>VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.000751 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (21872 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 15937,-> pocet nevlozenych duplikatov: 5935 <p>VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000376 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (21872 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 10647,-> pocet nenajdenych: 11225 <p>VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000376 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (21872 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet najdenych zvierat: 10751,-> pocet nenajdenych: 11121 <p>VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000279 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 17 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (14070 prvkov) :</p> <ul style="list-style-type: none">-> pocet vlozenych zvierat: 11469,
--	---

<p>-> pocet nevlozenych duplikatov: 147, -> pocet operacii otacania: 18046, z toho 8883 doprava a 9163 dolava VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000319 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (3281 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 3124, -> pocet nevlozenych duplikatov: 157 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000320 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (3281 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 312, -> pocet nenajdenych: 2969 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (3281 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 311, -> pocet nenajdenych: 2970 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 14 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (5250 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 4893, -> pocet nevlozenych duplikatov: 357, -> pocet operacii otacania: 32900, z toho 16206 doprava a 16694 dolava VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000409 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (5250 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 4834, -> pocet nevlozenych duplikatov: 416 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000414 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (5250 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 800, -> pocet nenajdenych: 4450 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.001250 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (5250 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 734, -> pocet nenajdenych: 4516 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.001362 ms/prvok)</p>	<p>-> pocet nevlozenych duplikatov: 2601, -> pocet operacii otacania: 94884, z toho 46664 doprava a 48220 dolava VYSLEDNY CAS 0.007 s (0.000610 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (14070 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 11495, -> pocet nevlozenych duplikatov: 2575 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000174 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (14070 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 4965, -> pocet nenajdenych: 9105 VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000806 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (14070 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 4960, -> pocet nenajdenych: 9110 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000403 ms/prvok)</p> <p>----- TEST CISLO 18 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (22143 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 16054, -> pocet nevlozenych duplikatov: 6089, -> pocet operacii otacania: 161400, z toho 79682 doprava a 81718 dolava VYSLEDNY CAS 0.012 s (0.000747 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (22143 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 16131, -> pocet nevlozenych duplikatov: 6012 VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000372 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (22143 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 10868, -> pocet nenajdenych: 11275 VYSLEDNY CAS 0.005 s (0.000460 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (22143 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 10680, -> pocet nenajdenych: 11463 VYSLEDNY CAS 0.004 s (0.000375 ms/prvok)</p>
---	--

<p>----- TEST CISLO 19 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (6178 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 5640, -> pocet nevlozenych duplikatov: 538, -> pocet operacii otacania: 36511, z toho 17831 doprava a 18680 dolava VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000532 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (6178 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 5605, -> pocet nevlozenych duplikatov: 573 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000178 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (6178 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 1079, -> pocet nenajdenych: 5099 VYSLEDNY CAS 0.000 s (0.000000 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (6178 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 1002, -> pocet nenajdenych: 5176 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000998 ms/prvok)</p>	<p>----- TEST CISLO 20 -----</p> <p>TEST VKLADANIA DO AVL STROMU (11545 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 9693, -> pocet nevlozenych duplikatov: 1852, -> pocet operacii otacania: 78721, z toho 38475 doprava a 40246 dolava VYSLEDNY CAS 0.006 s (0.000619 ms/prvok)</p> <p>TEST VKLADANIA DO RED-BLACK STROMU (11545 prvkov) :</p> <p>-> pocet vlozenych zvierat: 9709, -> pocet nevlozenych duplikatov: 1836 VYSLEDNY CAS 0.003 s (0.000309 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V AVL STROME (11545 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 3379, -> pocet nenajdenych: 8166 VYSLEDNY CAS 0.002 s (0.000592 ms/prvok)</p> <p>TEST HLADANIA V RED-BLACK STROME (11545 prvkov) :</p> <p>-> pocet najdenych zvierat: 3476, -> pocet nenajdenych: 8069 VYSLEDNY CAS 0.001 s (0.000288 ms/prvok)</p>
---	---

VYSLEDOK VKLADANIE:

pocet vlozenych prvkov:
AVL: 229813,
RB: 229779,
cas potrebný na beh:
AVL: 0.198 sekund,
RB: 0.087 sekund,
pomer vlozeny prvok / sekundu:
AVL: 1160671.717172,
RB: 2641137.931034,

VYSLEDOK HLADANIE:

pocet najdenych prvkov:
AVL: 142916,
RB: 143211,
cas potrebný na beh:
AVL: 0.069 sekund,
RB: 0.057 sekund,
pomer najdeny prvok / sekundu:
AVL: 2071246.376812,
RB: 2512473.684211,

* celkový počet pokusov o vloženie a vyhľadanie bol rovnaký pre oba stromy

Všeobecne, Red-Black stromy poskytujú rýchlejšie vkladanie a odstraňovanie uzlov ako AVL stromy, pretože je potrebné vykonať menej rotácií. AVL stromy sa používajú pre rýchle vyhľadávanie uzlov.

V tomto prípade je prevzatý Red-Black strom o niečo rýchlejší aj vo vkladaní aj vo vyhľadávaní ako moja implementácia AVL stromu, v hľadaní je však rozdiel nepatrenejší ako vo vkladaní.