

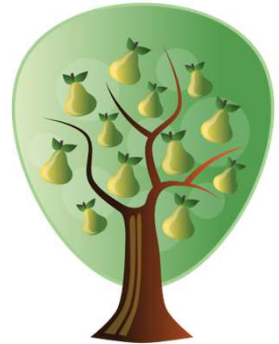
Front of
Queue



Rear (end)
of Queue

Parametrický polymorfizmus

(na lineárnych dátových štruktúrach)



Peter Borovanský
KAI, I-18

borovan 'at' ii.fmph.uniba.sk

<http://dai.fmph.uniba.sk/courses/JAVA/>



Quadterm - Inštrukcie

- Quadterm obsahuje 3 príklady spolu ≥ 15 bodov, čas: 100min.
 - reťazce
 - polia
 - triedy
- Náročnosť jednotlivých častí príkladov približne zodpovedá bodovému hodnoteniu. Preto jasne vidíte, o ktorých podpríkladoch si myslíme, že sú jednoduchšie.
- Jednotlivé časti príkladu sú zoradené v odporúčanom poradí riešenia. Výsledné rozhodnutie je na vás.
- Máte zverejnené testy, v ktorých vidíte testovacie príklady. Vidíte aj ich rozsah. Timeout na každý test na serveri je 15 sekúnd.
- Po absolvovaní kurzu EADŠ viete odhadnúť, či na daný rozsah vstupov stačí algoritmus danej zložitosti.
- Server je jediný vás skoro 80. Veríme, že všetko prebehne bez problémov. Rozumná stratégia je občasne zbalit' všetko čo mám a uploadnúť na LIST server.
- Budete na to upozorňovaní.



Triedy a objekty

dnes bude:

- trieda **Object**,
- klonovanie a boxovanie,
- generics (generické typy) - parametrický polymorfizmus,
- **interface** a **implementation**,
- výnimky na príkladoch, **throw(s)**, **try catch (Exception)**,
- príklady lineárnych dátových štruktúr
 - interface pre stack, front, balík, ...
 - implementácie: polia, jednoduché a obojsmerné spájané zoznamy
- príklady stromových dátových štruktúr

cvičenia:

- interface a implementation pre ADT (prioritný front)
- parametrické typy

literatúra:

- <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/generics/index.html>,
- <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/extra/generics/simple.html>,

Prvý Stack

(motivačný príklad)

- vytvoríme zásobník ako triedu Stack
- implementuje operácie push, pop, ...
- s obmedzeniami:
 - na maximálnu veľkosť zásobníka,
 - typ prvkov v zásobníku,
 - neošetrené chybové stavy

```
public class Stack {
    protected int[] S;                // reprezentácia ako pole int
    protected int top = -1;           // vrchol zásobníka, index vrchného prvku

    public Stack(int size) {          // konštruktor vytvorí pole int[] veľkosti
        S = new int[size];           // size
    }

    public boolean isEmpty() {        // test, či zásobník neobsahuje prvky
        return top < 0;
    }

    public void push(int element) {   // test, kedy už nemôžeme pridať prvok
        if (top+1 == S.length)        // vypíš chybu
            System.err.println("Stack is full");
        else                            // ak môžeme
            S[++top] = element;        // tak pridáme
    }
}
```

Prvý Stack – pokračovanie



```
public int pop() {
    int element;
    if (isEmpty()) {
        System.err.println("Stack is empty"); // vypíš chybu
        return -1; // nevieme čo vrátiť, tak "čokoľvek":int
    }
    element = S[top--];
    return element;
}
}
```

```
public class StackMain {
    public static void main(String[] args) {
        final int SSIZE = 100;
        Stack s = new Stack(SSIZE);
        for(int i=0; i<SSIZE; i++)
            s.push(i);
        while (!(s.isEmpty()))
            System.out.println(s.pop());
    }
}
```

99
98
..
6
5
4
3
2
1
0



Čo s obmedzeniami

Zamyslenie nad predchádzajúcim príkladom:

- fixná veľkosť poľa pre reprezentáciu zásobníka
 - dynamická realokácia,
 - na budúce prídu java-hotové štruktúry: Vector, ArrayList, ...
 - použiť štruktúru, ktorej to nevadí (napr. spájané zoznamy),
- typ prvkov je obmedzený (na int) v implementácii (ako sa rozumne vyhnúť kopírovaniu kódu, ak potrebujeme zásobníky double, String, alebo užívateľom definované typy Ratio, Complex, ...):
 - nájsť „matku všetkých typov“ (trieda Object),
 - zaviesť parametrické typy – parametrický polymorfizmus (generics),
- chybové stavy
 - chybové hlášky a „hausnumerické“ výstupné hodnoty,
 - **System.err.print**
 - výnimky (definícia výnimky, vytvorenie a odchytenie výnimky)



Trieda Object

- class Object je nadtrieda všetkých tried
- vytvoríme heterogénny zásobník pre elementy ľubovoľného typu
- implementácia v poli,
- realokácia pri pretečení

```
public class StackObj {  
    protected Object[] S;           // reprezentácia ako pole Object-ov  
    protected int top;             // vrchol  
  
    public StackObj (int Size) {    // konštruktor naalokuje pole Object-ov  
        S = new Object[Size];      // požadovanej veľkosti  
        top = 0;  
    }  
    public boolean isEmpty () {  
        return top == 0;  
    }  
    public void push (Object item) { // push netestuje pretečenie ☹  
        S[top++] = item;  
    }  
    public Object pop () {          // ani pop netestuje podtečenie ☹  
        return S[--top];  
    }  
}
```

Pretečenie poľa realokácia

- implementácia v poli, čo „puchne“
- ak sa pokúsime pretypovať hodnotu z typu Object na iný (napr. String), môžeme dostať **runtime cast exception**

```
public void push (Object item) {  
    if (top == S.length) { // problém pretečenia  
        Object[] newS = new Object[S.length * 2]; // naalokuj pole 2*väčšie  
        for (int i=0; i<S.length; i++) newS[i] = S[i]; // presyp  
        S = newS; // poves miesto starého poľa  
    }  
    S[top++] = item; // a konečne pridaj prvok
```

```
StackObj pd = new StackObj(SSIZE);  
pd.push(new Integer(123456)); // heterogénny stack  
pd.push("ahoj"); // zoženie Integer aj String  
String str = (String)pd.pop(); System.out.println(str);  
Integer num = (Integer)pd.pop(); System.out.println(num);  
ak posledné dva riadky vymeníme, runtime cast exception,  
lebo "ahoj" nie je Integer ani 123456 nie je String
```

ahoj
123456

- takto sa programovalo do verzie 1.4
- potom prišli generics - templates(C++) a parametrické dátové typy

Trieda Object

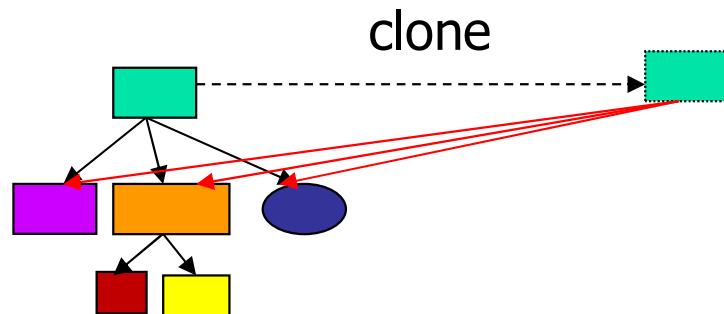
nadtrieda všetkých tried, ale inak normálna trieda, napr.

```
Object[] S = new Object[Size];
```

- pretypovanie **do triedy Object**
ak $x : E$, potom $(Object)x : Object$ – explicitne,
resp. $x : Object$ – implicitne
- pretypovanie **z triedy Object**
ak $o : Object$ a hodnotou je objekt triedy E , potom $(E)o : E$
explicitný *cast* predstavuje typovú kontrolu v runtime,
napr. $(Integer)o : Integer$, $(String)o : String$
- ak však hodnota objektu o nie je triedy E , potom runtime check
 $(E)o$ zlyhá (cast exception)
- ak chcete byť opatrný, tak sa spýtajte x **instanceof** E
- primitívne typy (int, double, boolean, ...) **boxujeme** do skutočných
tried (Integer, Double, Boolean, ...)

Čo vie každý Object

- **String toString()** - textová reprezentácia,
- **int hashCode()** - pretransformuje referenciu na objekt na int, vráti,
- **void finalize()** - deštruktor volá garbage collector,
- **Class getClass()** – vráti Class objekt (triedy Class),
- **Object clone()** – vytvorí **nerekurzívnu** kópiu objektu, ak objekt je z klonovateľnej triedy (Cloneable), inak CloneNotSupportedException. Polia, Integer, String sú klonovateľné. Nerekurzívna (shallow):



- **boolean equals(Object obj)** – porovná referencie na objekty,

`x.clone().equals(x) == false`

`x.clone().getClass().equals(x.getClass()) == true`

Clone v príkladoch



```
public class Pole3D {
    private Hruska[][][] mojePole;
    public Pole3D(Hruska[][][] tvojePole) {
        mojePole = tvojePole;
        mojePole = tvojePole.clone();
        for (int i = 0; i < tvojePole.length; i++) {
            mojePole[i] = tvojePole[i].clone();
            for (int j = 0; j < tvojePole[i].length; j++) {
                mojePole[i][j] = tvojePole[i][j].clone();
                for (int k = 0; k < tvojePole[i][j].length; k++) {
                    mojePole[i][j][k] =
                        (Hruska)tvojePole[i][j][k].clone();
                }
            }
        }
    }
}

public class Hruska implements Cloneable {
    @Override
    protected Object clone() { ... }
}
```

Generics



```
public class Stack50<E> {  
    protected E[] S;  
    protected int top;  
  
    public Stack50(int Size) {  
        S = (E[]) new Object[Size];  
        top = 0;  
    }  
    public boolean isEmpty() {  
        return top == 0;  
    }  
    public void push(E item) {  
        S[top++] = item;  
    }  
    public E pop() {  
        return S[--top];  
    }  
}
```

Java život pred JDK 5 bol Python škaredý:

- miesto `ArrayList<String>`
- sa písalo `ArrayList`
- bola to kolekcia plná Objects
- zo staticky typovaného jazyka to robilo dynamicky typovaný ☹

použitím typovej premennej sa z definície triedy, metódy, ... stáva šablóna, do ktorej skutočný typ musíme dosadiť



Stack50

- hlavným rozdielom je, že Stack50 je homogénny, všetky prvky sú tohoistého typu
- ak však naozaj treba miešať typy, Stack50<Object> je to, čo sme mali

```
public class Stack50<E> {  
    protected E[] S;  
    protected int top;
```

```
    public Stack50(int Size) {  
        S = (E[]) new Object[Size];  
        // toto nejde: S = new E[Size]; // kvôli typovej bezpečnosti  
        top = 0;  
    }
```

```
        Stack50<String> st50 = // E = String  
            new Stack50<String>(SSIZE);  
        st50.push("caf");  
        st50.push("hello");  
        st50.push("salut");  
        // st50.push(new Integer(12345)); // String != Integer  
        System.out.println(st50.pop());
```

Mnohé rozhodnutia prijaté
v jazyku Java sú poplatné tomu,
byť as fast as possible,
konkurentom doby bol jazyk C++

Boxovanie

V Java (na rozdiel od napr. C#) nemožno vytvoriť generický typ parametrizovaný primitívnym typom:

Stack50<int> je **ilegálny typ**

miesto toho treba:

Stack50<Integer> je legálny typ

Primitívne typy: byte, short, int, long, float, double, ...

Referenčný typ: trieda

Boxovanie typov: int->Integer, float->Float, double->Double,...

```
int bb = 5; // primitivny typ, modifikovateľný  
Integer cc = new Integer(15); // trieda/objekt, nemodifikovateľný
```

```
bb = cc; // bb = cc.intValue();  
cc = bb; // cc = new Integer(bb);
```

Kovariancia a polia

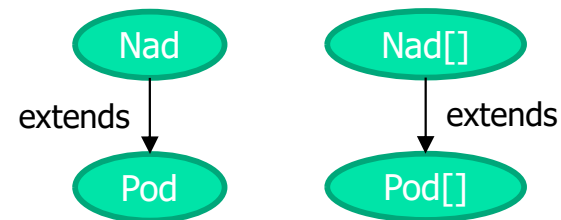
- generics sa realizujú v kompilátore, výsledný byte kód je negenerický,
- generics nie je makro, ktoré sa expanduje (ako templates v C++),
- **kovariancia** znamená, že ak T1 je podtrieda T2, tak $\psi(T1)$ je podtrieda $\psi(T2)$
- logicky... , polia sú kovariantné, t.j. T1[] je podtriedou T2[], príklad:

z predošlého slajdu:

E[] je podtrieda Object[], lebo E je podtrieda Object

iný príklad

nech Podtrieda je podtriedou Nadtrieda:



```
Podtrieda[] a = { new Podtrieda(), new Podtrieda()};
```

```
Nadtrieda[] b = a; // kovariancia polí, lebo Podtrieda[] podtrieda Nadtrieda[]
```

```
// Podtrieda[] c = b; nejde, lebo neplatí Nadtrieda[] podtrieda Podtrieda[]
```

Nekovariancia generických typov

- na prvý pohľad nelogický, ale **generické typy nie sú kovariantné**, napr. `Stack50<T1>` **NIE JE** podtriedou `Stack50<T2>`, ak `T1` je podtrieda `T2`.

Ak by to tak bolo (kontrapríklad nabúra typovú bezpečnosť):

```
Stack50<Podtrieda> stA = new Stack50<Podtrieda>(100);
```

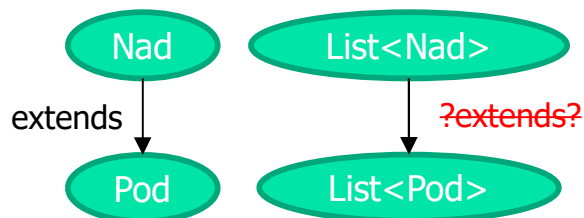
```
stA.push(new Podtrieda());
```

```
Stack50<Nadtrieda> stB = stA;
```

```
// ak by to tak bolo, tak toto by išlo  
// ale ono to v skutočnosti nejde...
```

- dôvod (nabúrame typovú kontrolu):
`stB.push(new Nadtrieda());`

```
// ak by sme to dopustili, potom  
// je korektný výraz, ktorý pomieša  
// objekty Podtriedy a Nadtriedy v stB  
// Stack50 už nie je homogénny
```



Dôsledky kovariancie

keďže polia sú kovariantné, generics nie, potom **nie je možné vytvoriť pole prvkov generického typu**, napríklad:

```
// S = new E[Size];           // vid' konštruktor Stack50
alebo                          // je síce korektná deklarácia
Stack50<Integer>[] p;          // ale nekorektná alokácia
// p = new Stack50<Integer>[5]; // cannot create generic array
```

- dôvod (ak by to išlo, takto nabúrame typovú kontrolu):

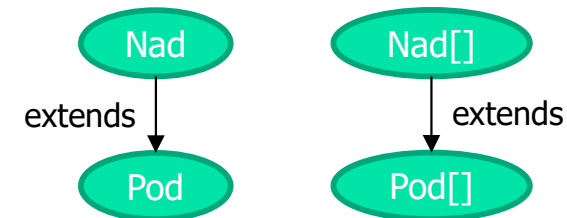
```
Object[] pObj = p;           // Stack50<Integer> je podtrieda Object, preto
                             // z kovariancie Stack50<Integer>[] je podtrieda Object[]
                             // vytvoríme malý stack Stack50<String>
Stack50<String> stS = new Stack50<String>(100);
stS.push("bude problem"); // s elementmi typu String
```

```
pObj[0] = stS;               // pObj[0]:Object, stS: Stack50<String>
Integer i = p[0].pop();      // "bude problem" nie je typu Integer,
                             // lebo p[0] nie je Stack50<Integer> ale
                             // Stack50<String>
```

Kovariancia „útočila“

```
{ // príklad z prednášky
  Stack50<Podtrieda> stA = new Stack50<Podtrieda>();
  stA.push(new Podtrieda());
  Stack50<Nadtrieda> stB = stA; // ak by to tak bolo, tak toto by išlo
                               // ale ono to v skutočnosti nejde...
                               // dôvod (nabúrame typovú kontrolu
  //stB.push(new Nadtrieda()); // ak by sme to dopustili, potom
}
```

```
{ // otázka študenta : skúsme to s poliami, ktoré sú kovariantné
  Podtrieda[] stA = new Podtrieda[]{ new Podtrieda(), null };
  Nadtrieda[] stB = stA;
  stB[1] = new Nadtrieda();
  System.out.println(stA[1]);
}
```



- kód je skompilovateľný, statická typová kontrola nenájde chybu ☹️
- ale počas behu nastane `java.lang.ArrayStoreException`: `Nadtrieda`
- aspoň že typová homogénnosť poľa je zachovaná/uchránená 😊



Generické generického ?

- Stack50<Stack50<Integer>>
 - ide, ale kto potrebuje stack stackov ... ?
- ArrayList<ArrayList<Integer>>, HashMap<String, HashSet<String>>
 - potrebujem úplne bežne, a to ide ☺
- v cvičení budete implementovať **prioritný front** s hodnotami typu E
 - ak bude predpísaná implementácia poľom [], tak by to chcelo
 - ```
private class Elem<E> implements Comparable<Elem<E>> { // dvojica elem:E, priorita:int
 public E elem;
 public int prio;
 ...
}
```
  - lenže ako dôsledok predchádzajúceho sa nepodarí vytvoriť pole klasické dvojíc:  
Elem<E>[] front
  - ale bez problémov sa podarí vytvoriť ArrayList<Elem<E>> front
  - riešenie, ktoré máte objaviť (ak zadanie zakazuje použiť kolekcie)
  - E[] hodnoty = (E[])new Object[size];
  - int[] priority = new int[size];

# Generické metódy

(v negenerickej triede)

Nie len celá definícia triedy (ADT) môže byť parametrizovaná typom, ale aj jednotlivá metóda či konštruktor v neparametrickej triede.

```
public static <T> String genMethod(T value) {
 System.out.println(value.getClass());
 return value.toString();
}
```

```
public static <E> void printArray(E[] p) {
 for (E elem : p)
 System.out.print(elem + ",");
 System.out.println();
}
```

```
System.out.println(genMethod(1));
```

```
System.out.println(genMethod("wow"));
```

```
Integer[] p = {1,2,3}; System.out.println(genMethod(p)); printArray(p);
```

```
Double[] r = {1.1,2.2,3.3}; System.out.println(genMethod(r)); printArray(r);
```

```
class java.lang.Integer
1
class java.lang.String
wow
class [Ljava.lang.Integer;
[Ljava.lang.Integer;@42e..
1,2,3,
class [Ljava.lang.Double;
[Ljava.lang.Double;@930..
1.1,2.2,3.3,
```

# Generické metódy

(v negenerickej triede)

Použitie generického typu môže byť ohraničené kvalifikátormi na typový parameter, napr. metóda `genMethod2` sa dá použiť len pre číselné typy, t.j. typy podedené od typu/triedy `Number` (čo sú `BigDecimal`, `BigInteger`, `Byte`, `Double`, `Float`, `Integer`, `Long`, `Short`)

```
public static <T extends Number> T genMethod2(T value) {
 System.out.println(value.getClass());
 return value;
}
```

```
System.out.println(genMethod2(1));
//System.out.println(genMethod2("wow"));
System.out.println(genMethod2(Math.PI));
```

```
class java.lang.Integer
1
class java.lang.Double
3.141592653589793
```

Iný príklad: Binárny vyhľadávací strom má zmysel, len ak vieme porovnávať hodnoty prvkov vo vrcholoch

```
public class BVSTree<E extends Comparable<E>> { ...
```

# Generické metódy

(v negenerickej triede)

```
static <T> T[] append(T[] arr, T element) {
 final int N = arr.length;
 arr = Arrays.copyOf(arr, N+1); // N+N
 arr[N] = element;
 return arr;
}
```

1  
2  
3  
4  
5  
6  
...  
1.048.576 = N = 2<sup>20</sup>  
---  
550 mil = N(N+1)/2

1  
2  
4  
8  
16  
32  
...  
1.048.576 = N = 2<sup>20</sup>  
---  
2 mil = 2<sup>21</sup>-1



# Pole3D

aj statická metoda může být generická

---

```
public class Pole3D__ {

 // generická statická metoda
 public static <T> boolean obeNull(T[] a, T[] b) {
 return a == null && b == null;
 }

 // generická statická metoda
 public static <T> boolean roznePolia(T[] a, T[] b) {
 if (a == null && b == null) return false;
 if (a == null && b != null) return true;
 if (a != null && b == null) return true;
 return a.length != b.length;
 }
}
```

# Interface pre Stack

Definícia interface predpisuje metódy, ktoré implementátor musí zrealizovať

```
public interface StackInterface<E> {
 public int size();
 public boolean isEmpty();
 public E top() throws EmptyStackException;
 public void push (E element) throws FullStackException;
 public E pop() throws EmptyStackException;
}
```

```
public class EmptyStackException extends RuntimeException {
 public EmptyStackException(String err) {
 super(err);
 }
}
```

```
public class FullStackException extends RuntimeException {
 public FullStackException(String err) {
 super(err);
 }
}
```

# Implementation - ArrayStack

Implementujeme poľom parametrický zásobník s výnimkami:

```
public class ArrayStack<E> implements StackInterface<E> {
 protected int capacity;
 protected E S[]; // reprezentácia
 protected int top = -1;

 public ArrayStack(int cap) { // konštruktor pre Stack danej veľkosti
 capacity = cap;
 S = (E[]) new Object[capacity];
 }

 public void push(E element) throws FullStackException {
 if (size() == capacity) // ak už nemôžem pridať
 throw new FullStackException("Stack is full."); // hodím výnimku
 S[++top] = element; // inak pridám
 }
}
```

# ArrayStack - pokračovanie

```
public E top() throws EmptyStackException {
 if (isEmpty()) // ak je prázdny
 throw new EmptyStackException("Stack is empty."); // výnimka
 return S[top];
}
public E pop() throws EmptyStackException {
 E element;
 if (isEmpty()) // ak niet čo vybrať
 throw new EmptyStackException("Stack is empty."); // výnimka
 element = S[top];
 S[top--] = null; // odviazanie objektu S[top] pre garbage collector
 return element;
}
```

```
ArrayStack<String> B = new ArrayStack<String>();
B.push("Boris");
B.push("Alenka");
System.out.println((String)B.pop());
B.push("Elena");
System.out.println((String)B.pop());
```

# Vagóniková implementácia



- implementácia pomocou poľa nie je jediná, a má niektoré nedostatky
- chceme implementovať zásobník ako spájaný zoznam
- v C++/Pascale sme na to potrebovali pointer

```
typedef struct node {
```

```
 int element;
```

```
 node *next;
```

// pointer na nasledujúci vagónik zásobníka

```
};
```

- v Java

```
public class Node {
```

```
 private int element;
```

```
 private Node next;
```

// referencia na nasledujúci vagónik zásobníka

```
}
```

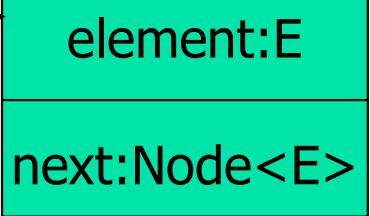
Iná implementácia, pomocou  
pospájaných krabíc typu Node

# Spájaný zoznam - Node

```
public class Node<E> {
 private E element; // reprezentácia krabice
 private Node<E> next;

 public Node() { this(null, null); }

 public Node(E e, Node<E> n) { // konštruktor krabice typu Node
 element = e;
 next = n;
 }
 // enkapsulacia: getter a setter
 public E getElement() {
 return element;
 }
 public Node<E> getNext() {
 return next;
 }
}
```



```
public void setElement(E newElem) {
 element = newElem;
}
public void setNext(Node<E> newNext) {
 next = newNext;
}
```

# Hádanka na zamyslenie

veľmi krátkodobá prémia

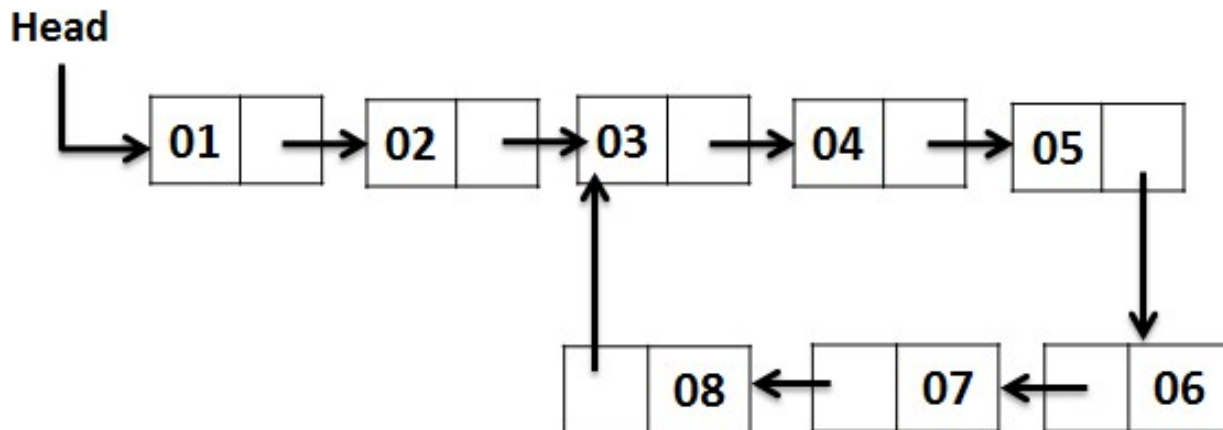
máte štruktúru definovanú na predchádzajúcom slajde

```
public class Node<E> {
 private E element; // reprezentácia krabice
 private Node<E> next; // obsah krabice
```

viete zistiť, či zoznam končí null, alebo je zacyklený ? Definujte

```
public boolean infinite() { ... true/false }
```

- pozor: testovacie vstupy budú niekoľko miliónov krabíc dlhé...





# NodeStack - implementation

```
public class NodeStack<E> implements StackInterface<E> {
 protected Node<E> top; // reprezentácia triedy NodeStack
 protected int size; // ako pointer na prvú krabicu

 public NodeStack() { top = null; size = 0; } // prázdny stack

 public int size() {
 return size; // pamätáme si dĺžku, aby sme ju nemuseli počítat'
 }
 public boolean isEmpty() { // test na prázdny stack
 return size==0;
 }
 public void push(E elem) { // push už nemá problém s pretečením
 Node<E> v = new Node<E>(elem, top); // vytvor novú krabicu elem+top
 top = v; // tá sa stáva vrcholom stacku
 size++; // dopočítaj size
 }
}
```



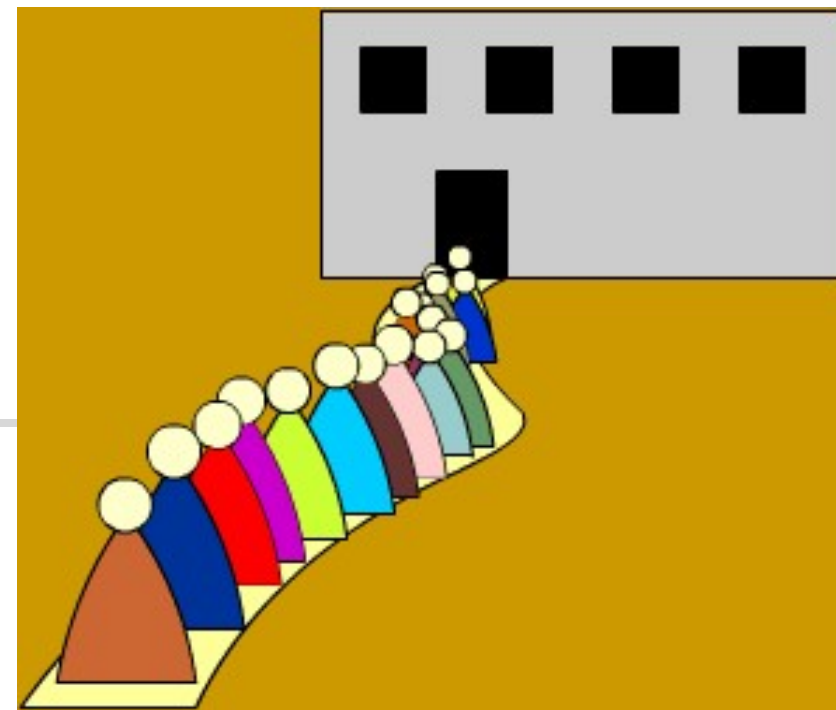
# NodeStack – pokračovanie

```
public E top() throws EmptyStackException {
 if (isEmpty()) throw new EmptyStackException("empty.");
 return top.getElement(); // daj hodnotu prvého prvku
}
public E pop() throws EmptyStackException {
 if (isEmpty()) throw new EmptyStackException("empty.");
 E temp = top.getElement(); // zapamätaj si vrchnú hodnotu
 top = top.getNext(); // zahod' vrchnú krabicu
 size--; // dopočítaj size
 return temp;
}
}
```

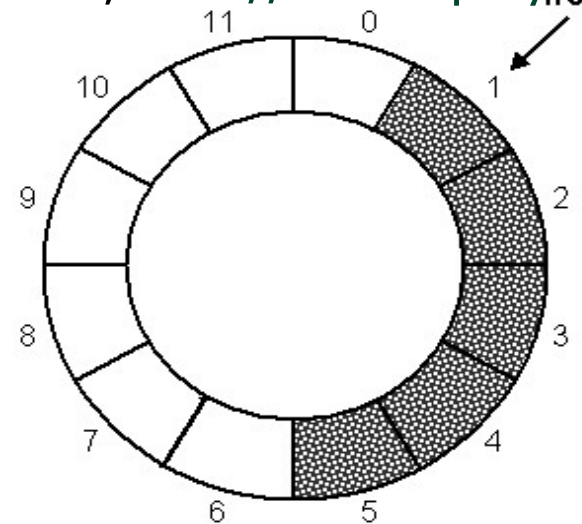
```
NodeStack<Integer> sn = new NodeStack<Integer>();
for(int i=0; i<10; i++)
 sn.push(i);
while (!sn.isEmpty())
 System.out.println(sn.pop());
```

# Queue - interface

```
public interface QueueInterface<E> {
 public int size();
 public boolean isEmpty();
 public E front() throws EmptyQueueException;
 public void enqueue (E element);
 public E dequeue() throws EmptyQueueException;
}
```

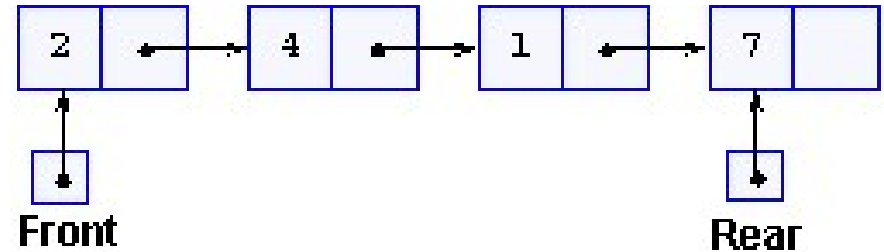


```
// prvý
// pridaj posledný
// zober prvý
```



rear Súbor: [QueueInterface.java](#)

# Queue



Reprezentácia:

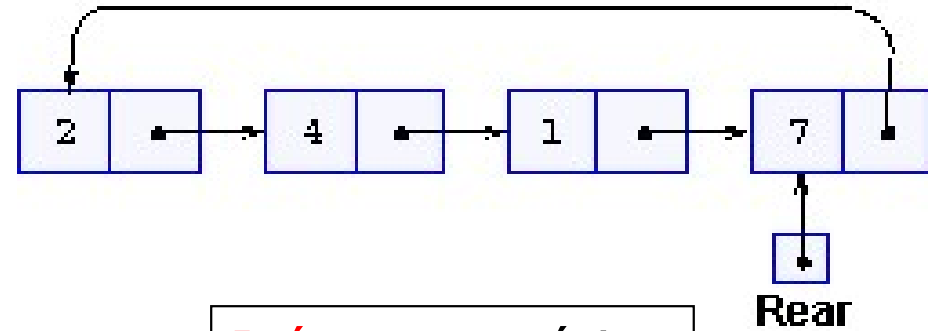
```
Node<E> front; // prvý
Node<E> rear; // posledný
int size = 0; // veľkosť
```

```
public void enqueue(E elem) {
 Node<E> node = new Node<E>();
 node.setElement(elem);
 node.setNext(null);
 if (size == 0) // prvý prvok prázdneho frontu
 front = node;
 else
 rear.setNext(node);
 rear = node;
 size++;
}
```

```
public E dequeue() throws EmptyQueueException {
 if (size == 0)
 throw new
 EmptyQueueException("Queue is empty.");
 E tmp = front.getElement();
 front = front.getNext();
 size--;
 if (size == 0) // bol to posledný prvok frontu
 rear = null;
 return tmp;
}
```

# Queue2

iná reprezentácia



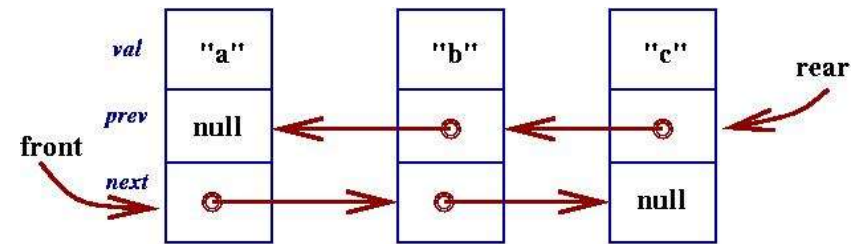
Iná reprezentácia:  
Node<E> rear;  
int size = 0;

```
public void enqueue(E elem) {
 Node<E> node = new Node<E>();
 node.setElement(elem);
 if (size == 0)
 node.setNext(node);
 else {
 node.setNext(rear.getNext());
 rear.setNext(node);
 }
 rear = node;
 size++;
}
```

```
public E dequeue()
 throws EmptyQueueException {
 if (size == 0)
 throw new EmptyQueueException(
 "Queue is empty.");
 size--;
 E tmp = rear.getNext().getElement();
 if (size == 0)
 rear = null;
 else
 rear.setNext(rear.getNext().getNext());
 return tmp;
}
```

# Balík – interface

obojstranne spájaný zoznam  
double linked list



```
public interface DequeInterface<E> {
```

```
 public int size();
 public boolean isEmpty();
```

```
 public E getFirst() throws EmptyDequeException;
 public E getLast() throws EmptyDequeException;
```

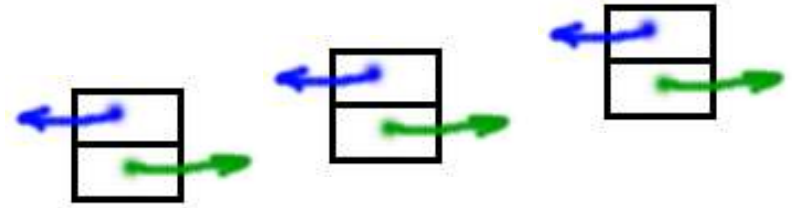
```
 public void addFirst (E element);
 public void addLast (E element);
```

```
 public E removeFirst() throws EmptyDequeException;
 public E removeLast() throws EmptyDequeException;
```

```
}
```

# DLNode

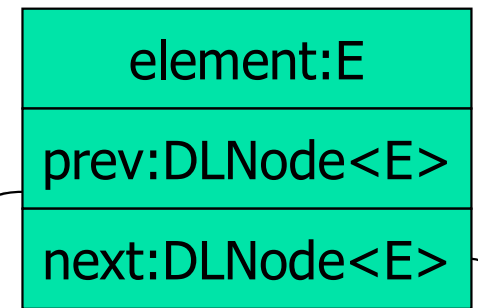
double linked node



```
public class DLNode<E> {
 private E element;
 private DLNode<E> prev, next;
```

// obojsmerne spájaný zoznam

```
 public DLNode() { this(null, null, null); }
 public DLNode(E e, DLNode<E> p, DLNode<E> n) {
 element = e;
 next = n;
 prev = p;
 }
```



```
 public E getElement() { return element; }
 public DLNode<E> getNext() { return next; }
 public void setElement(E newElem) {
 element = newElem;
 }
```

.....

# Balík – implementácia

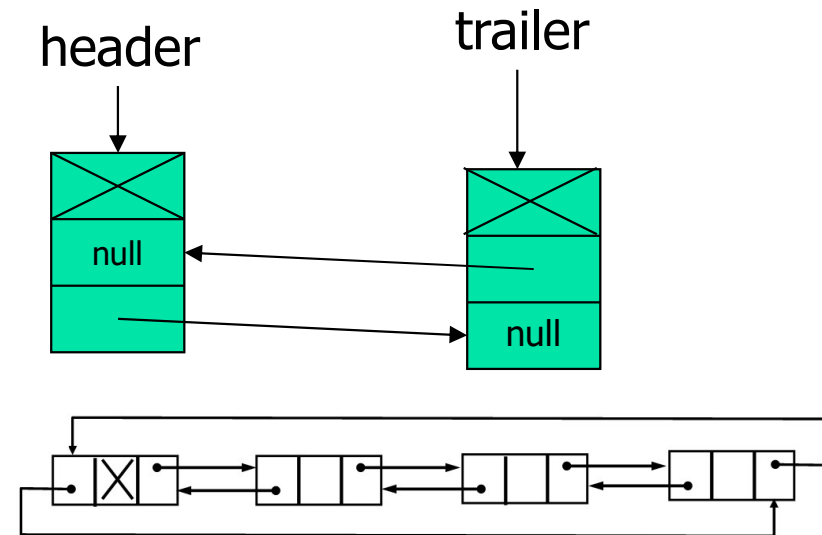
sentinel nodes

```
public class Deque<E> implements DequeInterface<E> {
```

```
 protected DLNode<E> header, trailer; // reprezentácia balíka dvomi
 protected int size; // pointerami na zač. a koniec
```

```
 public Deque() { // konštruktor
 header = new DLNode<E>();
 trailer = new DLNode<E>();
 header.setNext(trailer);
 trailer.setPrev(header);
 size = 0;
 }
```

```
 public E getFirst() throws Exception {
 if (isEmpty()) throw new Exception("Deque is empty.");
 return header.getNext().getElement();
 }
```



# Balík – implementácia

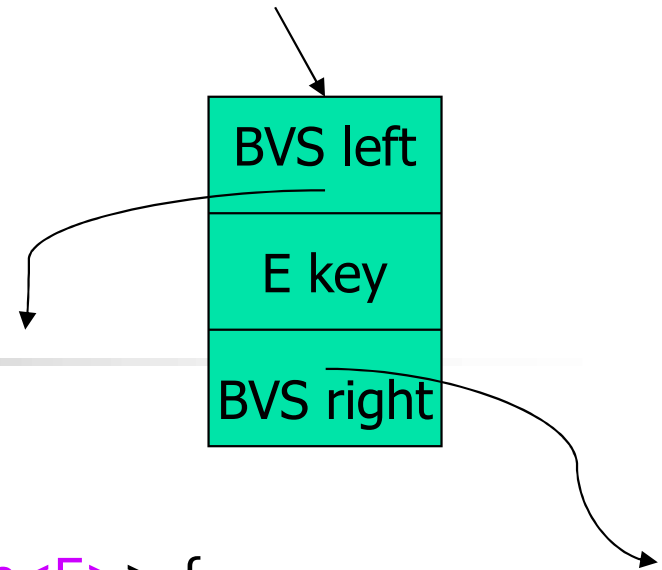
sentinel nodes

Zmyslom „nárazníkov“/zakážok (resp. sentinel nodes) je odľahčiť kód

```
public void addFirst(E o) {
 DLNode<E> second = header.getNext();
 DLNode<E> first = new DLNode<E>(o, header, second);
 second.setPrev(first);
 header.setNext(first);
 size++;
}

public E removeLast() throws Exception {
 if (isEmpty()) throw new Exception("Deque is empty.");
 DLNode<E> last = trailer.getPrev();
 E o = last.getElement();
 DLNode<E> secondtolast = last.getPrev();
 trailer.setPrev(secondtolast);
 secondtolast.setNext(trailer);
 size--;
 return o;
}
```

# BVSNNode



parametrizovateľný model:

```
public class BVSNNode<E extends Comparable<E>> {
 BVSNNode left;
 E key;
 BVSNNode right;
 public BVSNNode(E key) { // konštruktor
 this.key = key;
 left = right = null;
 }
}
```

- Comparable ([Comparable<E>](#)) je interface predpisujúci jedinou metódu:  
**int compareTo**(Object o), **<E>int compareTo**(E e)
- základné triedy implementujú interface Comparable (ak to dáva zmysel):  
Integer, Long, ..., String, Date, ...
- pre iné triedy môžeme dodefinovať metódu int compareTo()

# Interface Comparable

ak typ nie je primitívny musíme mu prezradiť, ako porovnávať hodnoty tohto typu

```
public class Zamestanec implements Comparable<Zamestanec> {
 private final String meno, priezvisko;
 public Zamestanec(String meno, String priezvisko) { // konštruktor
 this.meno = meno; this.priezvisko = priezvisko;
 }
 public int compareTo(Zamestanec n) {
 int lastCmp = priezvisko.compareTo(n.priezvisko);
 return (lastCmp != 0 ? lastCmp : meno.compareTo(n.meno));
 }
 // alternatíva
 public int compareTo(Object o) {
 if (!(o instanceof Zamestanec)) return -9999;
 Zamestanec n = (Zamestanec)o;
 int lastCmp = priezvisko.compareTo(n.priezvisko);
 return (lastCmp != 0 ? lastCmp : meno.compareTo(n.meno));
 }
}
```

# BVSTree

(insert)

```

public class BVSTree<E extends Comparable<E>> {
 BVSNode<E> root; // smerník na vrchol stromu

 public BVSTree() {
 root = null;
 }
 public void insert(E x) {
 root = (root == null)? // je prázdny ?
 new BVSNode<E>(x): // vytvor
 // jediný uzol
 root.insert (x); // inak vsuň do
 // existujúceho stromu
 }

 public BVSNode<E> insert (E k) {
 if (k.compareTo(key) < 0)
 if (left == null)
 left = new BVSNode<E>(k);
 else
 left = left.insert(k);
 else
 if (right == null)
 right = new BVSNode<E>(k);
 else
 right = right.insert(k);
 return this;
 }
}

```

# BVSTree – zlé riešenie

## (delete)

```
public void delete(E k) { root = root.delete(k); }
```

```
private BVSNode<E> delete(E k) {
```

```
 if (this == null)
```

```
 return null;
```

```
 if (k.compareTo(key) < 0)
```

```
 left = left.delete(k);
```

```
 else if (k.compareTo(key) > 0)
```

```
 right = right.delete(k);
```

```
 else // k == key
```

```
 this = null;
```

Pozor na konštrukcie:

- if (this == null)
- this = null,  
pravdepodobne indikujú chybu



# BVSTree

## (delete)

Pozor na konštrukcie:

- this = null,
- if (this == null)  
pravdepodobne indikujú chybu

```
public void delete(E k) { root = delete(k, root); }
```

```
private BVSNode<E> delete(E k, BVSNode<E> t) {
 if (t == null)
 return t;
 if (k.compareTo(t.key) < 0)
 t.left = delete(k, t.left);
 else if(k.compareTo(t.key) > 0)
 t.right = delete(k, t.right);
 else if(t.left != null && t.right != null) {
 t.key = findMin(t.right).key;
 t.right = delete(t.key, t.right);
 } else
 t = (t.left != null) ? t.left : t.right;
 return t;
}
```

```
// element je v ľavom podstrome
// delete v ľavom podstrome
// element je v pravom podstrome
// delete v pravom podstrome
// je to on, a má oboch synov
// nájdi min.pravého podstromu
// rekurz.zmaž minimum
// pravého podstromu
// ak nemá 2 synov, je to ľahké
```

# Klonovanie

(trieda Hruska)



```
interface Clonable { // vlastná analógia clon(e)able
 public Object copy(); // z istého dôvodu úplne vo vlastnej réžii
}

public class Hruska implements Comparable<Hruska>, Clonable {
 static int allInstances = 0; // počítadlo všetkých inštancií
 private int instanceIndex; // koľkatá inštancia v poradí
 private int size; // veľkosť hrušky
 public Hruska(int size) { this.size = size;
 instanceIndex = allInstances++;
 System.out.println("create Hruska " + instanceIndex);
 }
 public Hruska copy() {
 System.out.println("copy Hruska " + instanceIndex);
 return new Hruska(size);
 }
 public int compareTo(Hruska inaHruska) {
 return Integer.compare(this.size, inaHruska.size);
 }
}
```

# Klonovanie

(trieda BVSNode)

```
class BVSNode<E extends Comparable<E> & Clonable> implements Clonable {
 BVSNode<E> left, right; E key;
 static int allInstances = 0; // počítadlo všetkých inštancií
 private int instanceIndex; // koľkatá inštancia v poradí

 public BVSNode(E theKey) { key = theKey; left = right = null;
 instanceIndex = allInstances++;
 System.out.println("create BVSNode " + instanceIndex);
 }
 public BVSNode<E> copy() {
 System.out.println("copy BVSNode " + instanceIndex);
 BVSNode<E> clone = new BVSNode<E>(
 (key!=null)?(E)(key.copy()):null);
 clone.left = (left != null) ? left.copy():null;
 clone.right = (right != null) ? right.copy():null;
 return clone;
 }
}
```

# Klonovanie

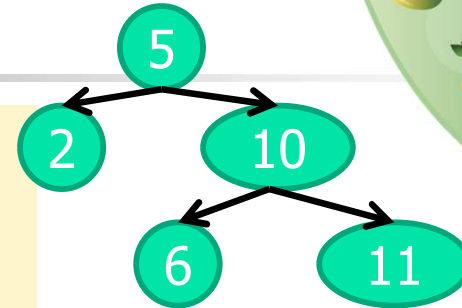
(trieda BVSTree)

```
class BVSTree<E extends Comparable<E> & Clonable> implements Clonable {
 BVSTree<E> root; // pointer na koreň stromu
 static int allInstances = 0;
 private int instanceIndex;

 public BVSTree () {
 instanceIndex = allInstances++;
 System.out.println("create BVSTree " + instanceIndex);
 root = null;
 }
 public BVSTree<E> copy() {
 System.out.println("copy BVSTree " + instanceIndex);
 BVSTree<E> clone = new BVSTree<E>();
 clone.root = (root != null)?root.copy():null;
 return clone;
 }
}
```

# Pear Tree Copy

(Klonovanie stromu hrušiek)



```
create BVSTree 0
create Hruska 0
create BVNode 0
create Hruska 1
create BVNode 1
create Hruska 2
create BVNode 2
create Hruska 3
create BVNode 3
create Hruska 4
create BVNode 4
```

```
<key:som hruska 5:> - <left:som hruska 2>, <right:som hruska 10>
<key:som hruska 2:> - <x>, <x>
<key:som hruska 10:> - <left:som hruska 6>, <right:som hruska 11>
<key:som hruska 6:> - <x>, <x>
<key:som hruska 11:> - <x>, <x>
```

```
BVSTree<Hruska> s =
 new BVSTree<Hruska>();
Random r = new Random();
for(int i=0; i<5; i++)
 s.insert(new Hruska(r.nextInt(19)));
```

```
(BVSTree<Hruska>)
 s.copy();
copy BVSTree 0
create BVSTree 1
copy BVNode 0
copy Hruska 0
create Hruska 5
create BVNode 5
copy BVNode 3
copy Hruska 3
create Hruska 6
create BVNode 6
```

```
copy BVNode 1
copy Hruska 1
create Hruska 7
create BVNode 7
copy BVNode 4
copy Hruska 4
create Hruska 8
create BVNode 8
copy BVNode 2
copy Hruska 2
create Hruska 9
create BVNode 9
```

# BST

z dielne majstrov :)

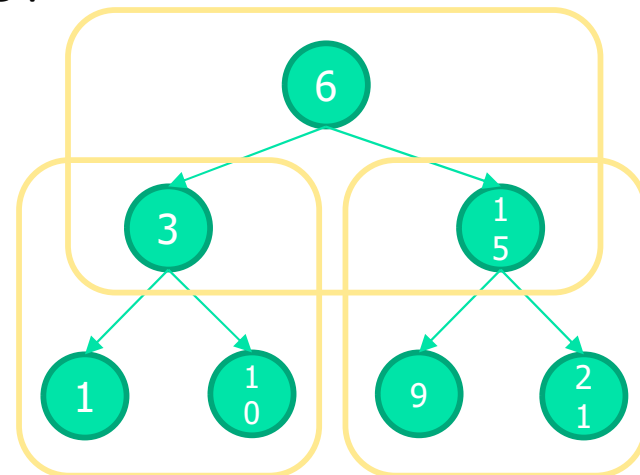
```
abstract class Tree {
 abstract boolean isBST();
 ...
class Node extends Tree {
 @Override
 boolean isBST() {
 if (left == null && right == null) return true;
 if (left != null) {
 if (data <= left.root()) return false;
 if (!left.isBST()) return false;
 }
 if (right != null) {
 if (data >= right.root()) return false;
 if (!right.isBST()) return false;
 }
 return true;
 }
} }
```

```
class Leaf extends Tree {
 @Override
 boolean isBST() {
 return true;
 }
} }
```

```
Tree c3 = new Node(new Leaf(1), 3, new Leaf(10));
Tree c4 = new Node(new Leaf(9), 15, new Leaf(21));
Tree c5 = new Node(c3, 6, c4);
```

```
@Override
boolean isBST() {
 return
 (left == null || left.root() < data && left.isBST())
 &&
 (right == null || right.root() > data && right.isBST());
}
```

Zlé riešenie, a vieme napísať fungujúce lineárne riešenie ?



# BST v štýle J17

## Sealed class/interface

Zapečatená (sealed) trieda/interface určuje, ktoré **jediné** podtriedy trieda môže mať, resp. ktoré triedy **jediné** implementujú zapečatený interface (**a žiadne iné**) – **idea zapečatenosti**

```
sealed interface Tree permits Node, Leaf {
 boolean isBST();
}
```

```
record Node(Tree left, int value, Tree right) implements Tree {
 @Override
 public boolean isBST() { // bez zmeny
 return (left == null || left.root() < value && left.isBST())
 && (right == null || right.root() > value && right.isBST());
 }
}
```

```
record Leaf(int value) implements Tree {
 @Override
 public boolean isBST() {
 return true;
 }
}
```

# BST v štýle J17

## patterns

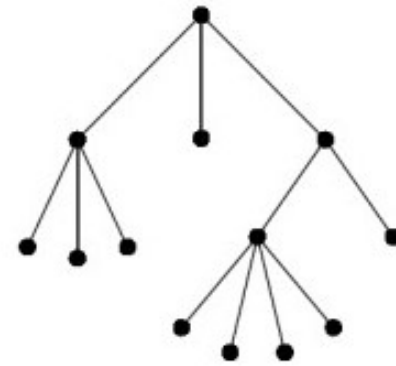
```
static int velkost1(Tree t) {
 return
 switch (t) { // switch je príkaz !!!
 case Node n ->
 1 +
 ((n.left() == null) ? 0:velkost1(n.left())) +
 ((n.right() == null) ? 0:velkost1(n.right()));
 case Leaf l -> 1;

 // no default... lebo Tree je zapečatený

 };
}
```

```
// pred Java 17
static int velkost2(Tree t) {
 if (t instanceof Node) {
 Node n = (Node) t;
 return
 1 +
 ((n.left() == null)?0:velkost1(n.left())) +
 ((n.right() == null)?0:velkost1(n.right()));
 } else if (t instanceof Leaf) {
 Leaf l = (Leaf)t;
 return 1;
 } else {
 return 999;
 }
}
```

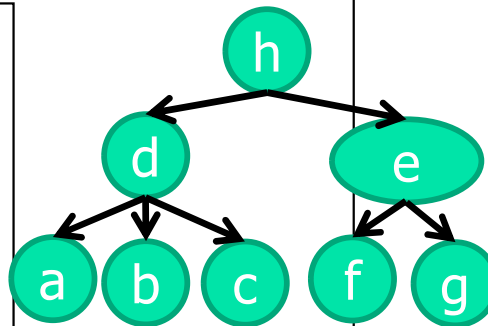
# Všeobecný strom



```
class Node<T extends Comparable<T>> implements Comparable<Node<T>> {
 private T value;
 private List<Node<T>> sons;
```

- `T extends Comparable<T>` - znamená, že predpokladáme porovnávanie na type `T`
- `implements Comparable<Node<T>>` - znamená, že chceme porovnávať celé stromy
  - a preto musíme definovať
  - `@Override`  
`public int compareTo(Node<T> o) { ... }`
- príklad rekurzcie cez strom, inicializácie:

```
public int size() {
 int count = 1;
 for (Node<T> son : sons)
 if (son != null)
 count += son.size();
 return count;
}
```



```
Node<String> tree = new Node("h",
 List.of(
 new Node("d",
 List.of(
 new Node("a", null),
 new Node("b", null),
 new Node("c", null)
)),
 new Node("e",
 List.of(
 new Node("f", null),
 new Node("g", null)
))
));
```