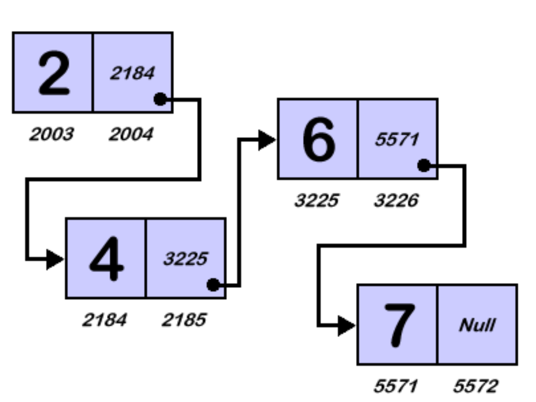
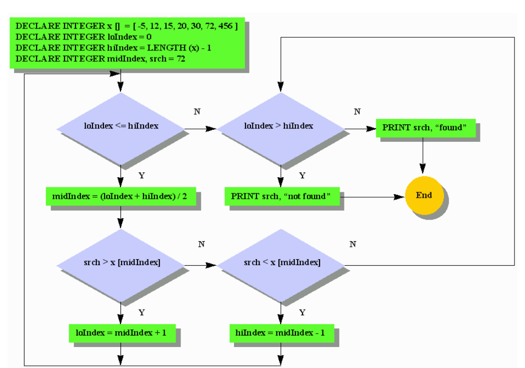
3. prednáška

Údajové štruktúry

alebo

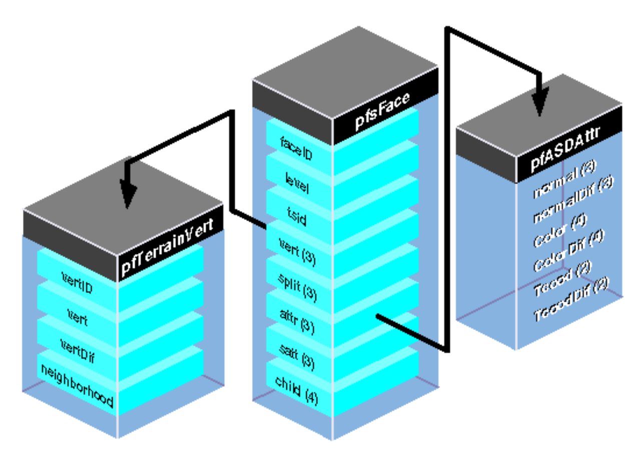
čo sa skrýva pod kapotou JCF





Plán na dnes

- Čo sa skrýva v `ArrayList-e`?
- **Spájané zoznamy** (alebo čo sa skrýva v `LinkedList-e`)
- Ďalšie užitočné údajové štruktúry:
  - **Zásobník** a jeho použitie
  - **Rad** je jeho použitie
- **Prehľadávanie bludiska**



Kam ukladať veľa údajov?

- Na uloženie väčšieho množstva údajov sme sa naučili používať:
  - **polia** (Udaj[] udaje = **new** Udaj[100])
  - **kolekcie** z **Java Collections Framework-u**
    - rozhranie List a jeho implementácie ArrayList<E>, LinkedList<E>
    - rozhranie Set a jeho implementácie HashSet<E>, TreeSet<E>, LinkedHashSet<E>
  - JCF poskytuje
    - rozhrania (čo to má robiť)
    - implementácie (ako to má robiť)

Spomienky na List-y

- Implementácie rozhrania `List<E>`
  - ukladajú hodnoty za sebou, sú prístupné indexom
  - akoby „dynamické“ pole – vieme meniť počet prvkov
- Rozhranie `List<E>` predpisuje základné metódy na prácu so zoznamami:
  - **`add`** – pridanie na koniec, resp. na zadanú pozíciu
  - **`remove`** – odstránenie prvku na zadanej pozícii
  - **`get`** – získanie prvku na zadanej pozícii
  - **`set`** – nastavenie prvku na zadanej pozícii

Ako funguje ArrayList?

- **`ArrayList<E>`**
  - interne na uloženie hodnôt využíva pole:

```
public class ArrayList<E> implements List<E> {
    private E[] prvky = new E[0];

}
```

Interné pole hodnôt

- Veľkosti polí **meniť nemožno**:
  - pri každom `add` a `remove` sa vytvára nové pole

Aký rýchly je `ArrayList`?

- Koľko trvá (koľko krokov vykoná) metóda **add**?

```
public boolean add(E hodnota) {
  E[] novePrvky = (E[])new Object[prvky.length+1];

  for (int i=0; i<prvky.length; i++)
      novePrvky[i] = prvky[i];
  novePrvky[novePrvky.length-1] = hodnota;

  prvky = novePrvky;
}
```

Ak máme v `ArrayList`-e n prvkov, operácia **add** má časovú zložitosť $O(n)$

Ako na rýchlejší ArrayList?

- Nahradenie `for`-cyklu volaním `System.`***arraycopy***

  - to **nepomôže**, pretože kopírovací cyklus s časovou zložitosťou $O(n)$ je skrytý v metóde ***arraycopy***

- Nemeniť veľkosť interného poľa vždy

  - veľkosť poľa budeme zväčšovať/zmenšovať vždy o 100 prvkov (resp. iný vhodný počet prvkov)
  - zoznam má:
    - veľkosť (size) – počet uložených hodnôt
    - kapacitu (capacity) – veľkosť interného poľa, z ktorého prvých **size** políčok obsahuje „platné“ hodnoty

ArrayList s kapacitou (1)

kapacita = 8

kapacita = prvky.length

3	1	7	1	2	7	1	-10

veľkosť = 5

Po vykonaní **add(9)**

```
prvky[velkost] = hodnota;
velkost++;
```

kapacita = 8

3	1	7	1	2	9	1	-10

veľkosť = 6

veľkosť = počet uložených prvkov

ArrayList s kapacitou (2)

- **Výhody** poľa s kapacitou
  - ak kapacita stačí, **`add (remove)`** na koniec zoznamu vieme realizovať v čase $O(1)$
    - zvýšenie premennej s veľkosťou (size) o 1
    - uloženie hodnoty na príslušný index interného poľa
  - ak kapacita nestačí, musíme vyrobiť nové pole a kopírovať, t.j. časová zložitosť je $O(n)$
- Ak je veľa neobsadených políčok, zmenšíme pole
- Nastavovanie kapacity v **`ArrayList`**-e cez metódu ***`ensureCapacity`***

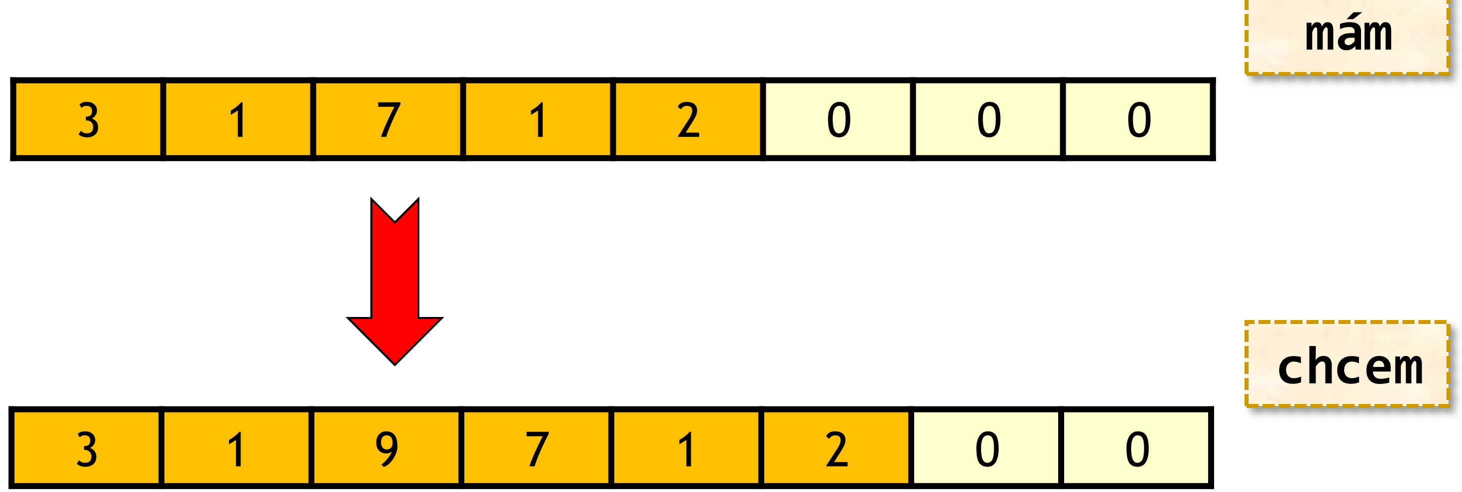
ArrayList s kapacitou (3)

- Sumarizácia časovej zložitosti `ArrayList`-u:
  - `get` $O(1)$, `set` $O(1)$
  - `add` na koniec:
    - väčšinou $O(1)$
    - niekedy $O(n)$, keď nová veľkosť má byť väčšia ako kapacita
  - `remove` z konca:
    - väčšinou $O(1)$
    - niekedy $O(n)$, keď máme príliš „neobsadených“ políčok

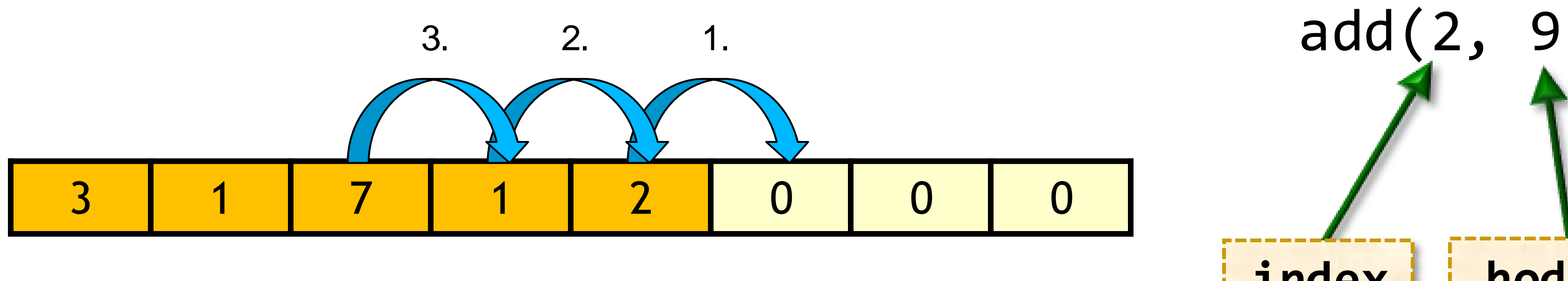
A čo `add` a `remove` na začiatku alebo v strede?

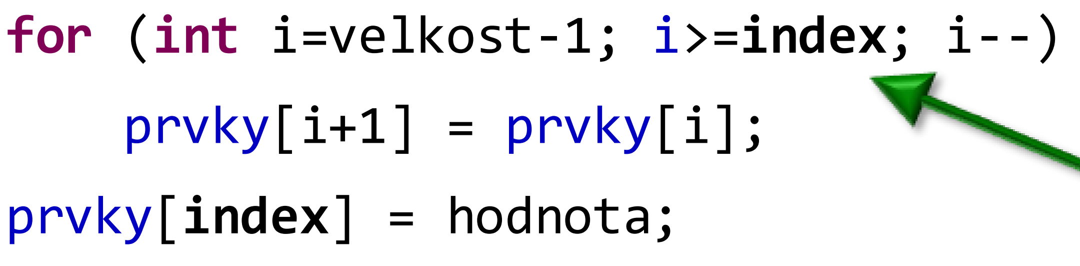
ArrayList s kapacitou (4)

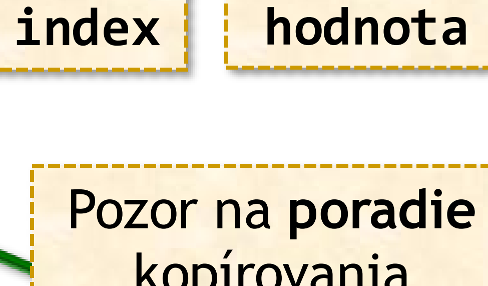
- Za predpokladu, že máme dostatočnú kapacitu, aká je zložitosť `add(2, 9)`, t.j. pridania hodnoty 9 na index 2?



ArrayList s kapacitou (5)







Po posunutí (vytvorenie miesta):

Po uložení hodnoty na index 2:

3	1	9	7	1	2	0	0

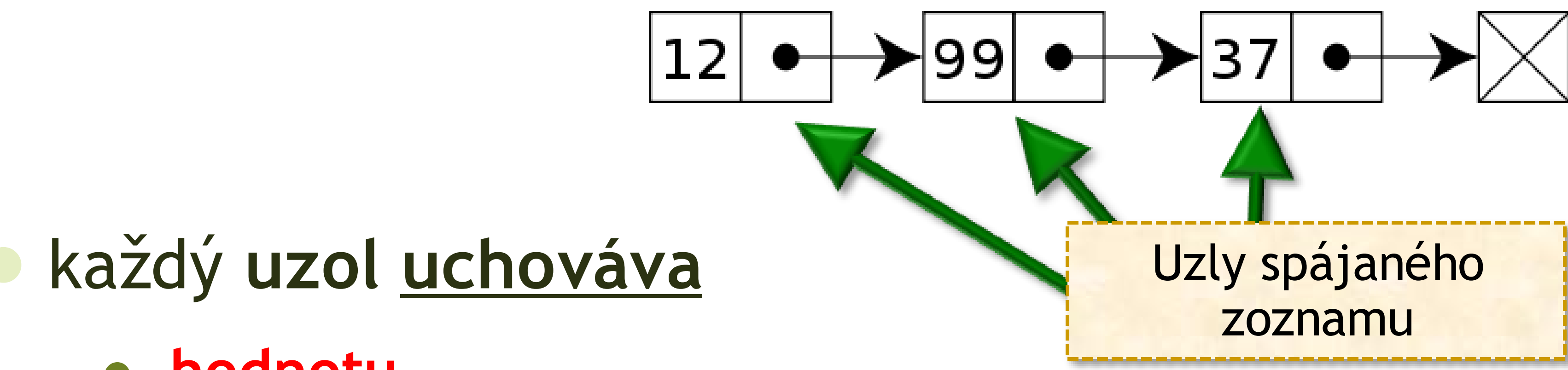
ArrayList s kapacitou (6)

- Za predpokladu, že máme dostatočnú kapacitu, aká je zložitosť `add(0, x)`, t.j. pridania hodnoty na 0-tý index?
  - všetky hodnoty v internom poli musíme vždy posunúť o jedno miesto vpravo
  - posun *n* hodnôt v poli trvá $O(n)$
  - **záver:** kapacita pomôže pri pridávaní na koniec, ale nie pri pridávaní na iné pozície

Ide uložiť zoznam hodnôt tak, aby sme **nemuseli** robiť v pamäti **presuny** pri každom vložení novej hodnoty do tohto zoznamu?

Spájaný zoznam

- **údajová štruktúra** na uloženie zoznamu hodnôt
  - hodnoty (prvky) v zozname majú poradie
- prvky zoznamu sú v samostatných objektoch – **uzloch** (ang. node)



- každý **uzol** **uchováva**
  - **hodnotu**
  - **referenciu** (navigáciu) na uzol, ktorý uchováva nasledujúcu hodnotu v zozname

Uzol spájaného zoznamu

```
public class Uzol {
    int hodnota;
    Uzol dalsi;
}
```

Hodnota uložená v uzle spájaného zoznamu

Referencia na uzol obsahujúci nasledujúcu hodnotu v spájanom zozname.

Spájaný zoznam je „**rekurzívna**“ údajová štruktúra - opis triedy zahŕňa referencovanie objektov opisovanej triedy

Spájaný zoznam v Jave

```
public class SpajanyZoznam {
    private static class Uzol {
        int hodnota;
        Uzol dalsi;
    }

    private Uzol prvy = null;
}
```

Vnútorná (a privátna) trieda pre uzly zoznamu.

Referencia na **prvý uzol** v zozname.

Na začiatku v zozname niet uzlov.

Pridanie na začiatok zoznamu

prvy

12 99 37

8

```
public void pridajNaZaciatok(int hodnota) {
  Uzol pridavany = new Uzol();
  pridavany.hodnota = hodnota;
  pridavany.dalsi = prvy;
  prvy = pridavany;
}
```

Prechod spájaným zoznamom

prvy

12 → 99 → 37 → ⊠

Referencia na uzol, na ktorom sa **práve nachádzame**. Štartujeme od prvého.

Kontrola, či premenná aktualny referencuje nejaký uzol...

Presun na ďalší uzol v zozname.

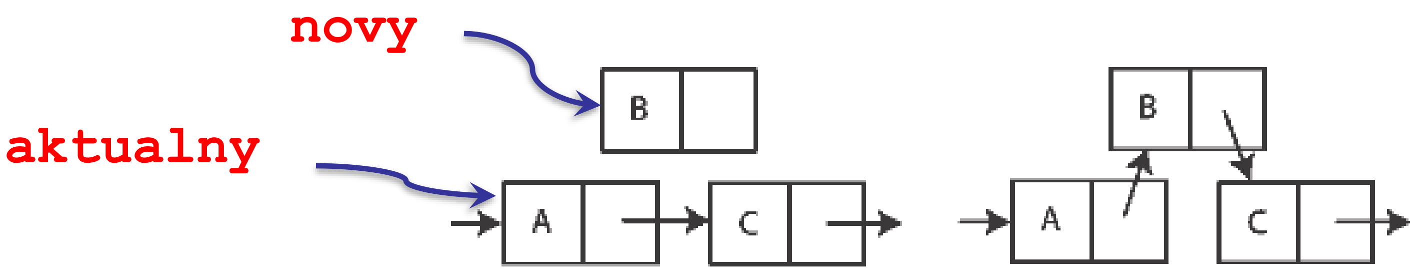
```
public int sucet() {
  Uzol aktualny = prvy;
  int vysledok = 0;
  while (aktualny != null) {
    vysledok += aktualny.hodnota;
    aktualny = aktualny.dalsi;
  }
  return vysledok;
}
```

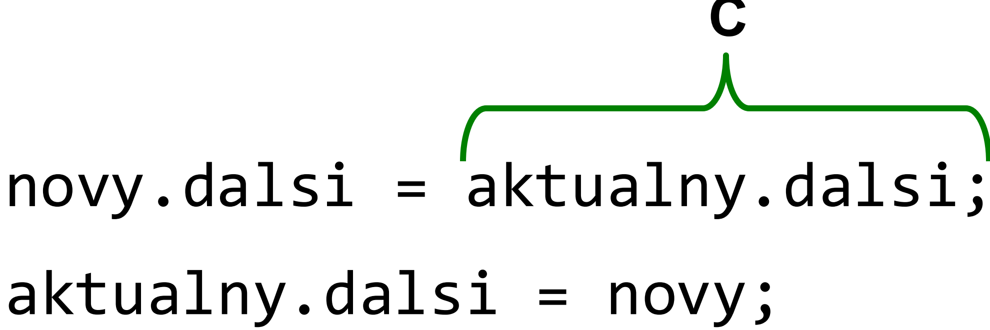
Prechod spájaným zoznamom

- Základná schéma na prechod spájaným zoznamom (iteráciu jeho prvkami):

```
Uzol aktualny = prvy;
while (aktualny != null) {
    //… práca s aktuálnym uzlom …
    aktualny = aktualny.dalsi;
}
```

Vloženie uzla do zoznamu





Počet operácií (čas): $O(1)$

Odstránenie uzla zo zoznamu

A B C

aktualny

A B C

C

```
aktualny.dalsi = aktualny.dalsi.dalsi;
```

B

Počet operácií (čas): $O(1)$

Výber i-teho prvku

```
public int get(int index) {
  Uzol aktualny = prvy;
  int pozicia = 0;
  while (aktualny != null) {
    if (pozicia == index)
      return aktualny.hodnota;

    aktualny = aktualny.dalsi;
    pozicia++;
  }
  throw new IndexOutOfBoundsException();
}
```

Prechádzame zoznamom a pamätáme si, na koľkom v poradí uzle sme.

Ak sme našli správny uzol, vrátime hodnotu a končíme.

Ak sme došli sem, tak sme nenašli správny uzol.

Počet operácií v najhoršom prípade: $O(n)$

Vylepšenia

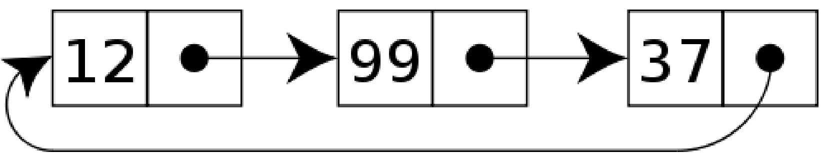
- Okrem referencie na prvý uzol si pamätáme aj **referenciu na posledný uzol** v zozname
  - pridanie na koniec zoznamu v čase $O(1)$, keďže nemusíme hľadať koniec
  - metódy modifikujúce zoznam **musia aktualizovať** aj referenciu na aktuálne posledný uzol v zozname
- Pamätáme si **aktuálny počet uzlov** v zozname
  - dokážeme rýchlo overiť platnosť indexu a povedať, koľko hodnôt máme v zozname

Variácie spájaných zoznamov

- Obojsmerný spájaný zoznam:

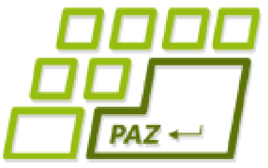
```
public class Uzol {
    int hodnota;
    Uzol dalsi;
    Uzol predchadzajuci;
}
```

- Cyklický spájaný zoznam:
  - posledný uzol má ako nasledovníka prvý uzol



Sumarizácia spáj. zoznamov

- Počet operácií v najhoršom prípade (= keď máme smolu):
  - `get` - $O(n)$, `set` - $O(n)$
  - pridanie na začiatok a na koniec: $O(1)$
  - pridanie/odobranie (bez nájdenia pozície): $O(1)$
- Trieda `LinkedList<E>` na uloženie zoznamu interne využíva *obojsmerný spájaný zoznam*.
- Kedy ich teda **použiť**?
  - „pracujeme“ na začiatku alebo konci zoznamu
  - prechádzame zoznam iterátorom (for-each cyklus)



Na čo ešte ide použiť spáj. zoznam?

- Dve údajové štruktúry, kde sa pracuje **len na „koncoch“**:

Zásobník (Stack)

Rad (Queue)

Zásobník a rad ide implementovať aj inak ako s použitím spájaných zoznamov (viac na cvičeniach)

Zásobníky v reálnom svete

- Základné operácie:
  - vieme pridať tanier na vrch zásobníka
  - vieme odobrať tanier z vrchu zásobníka
  - vieme zistiť, či je zásobník prázdny
- Štruktúra je typu **LIFO**: *last in first out*

Zásobníky v Jave

- implementované triedami, ktoré implementujú rozhranie **Deque<E>** so základnými operáciami:
  - `E push(E item)`–**pridá** objekt na vrch zásobníka
  - `E pop()`–**vráti** a **odstráni** objekt z vrchu zásobníka
  - `E peek()`–**vráti** objekt z vrchu zásobníka, no neodstráni ho zo zásobníka
  - `boolean empty()`–vráti, či je zásobník prázdny
- Implementácia pomocou triedy: ArrayDeque<E>, LinkedList<E>
- Wrappovacie triedy pre primitívne typy (Integer, Character, Boolean, Float, Double, Short, Byte)

Na čo je zásobník dobrý?

- Zásobník (Stack) je často používaná údajová štruktúra
  - call-stack je zásobník volaní

- rozpoznávanie reťazcov určitého tvaru:
  - $a^n b^n$ – reťazce z písmen a a b, kde najprv ide *n* a-čok a potom *n* b-čok
  - rozpoznanie správne ozátvorkovaného výrazu
  - rozpoznanie správne ozátvorkovaného výrazu s viacerými sadami zátvoriek (, <, {, }, >,), ...
  - spracovanie HTML a XML dokumentov

Správne ozátvorkovaný výraz

- Zadanie: ({()})(()()) ✓ (()})() ✗
- Princíp naivného riešenia:

({()})(()())

↓

({})(()())

$O(n)$ ⟳ { $O(n)$, $O(n)$ }

$O(n^2)$

```java
StringBuilder sb = new StringBuilder(vyraz);
int idxZatvoriek;
do {
  // nájdi dobrý pár susediacich zátvoriek
  idxZatvoriek = sb.indexOf("()");
  if (idxZatvoriek < 0) {
    idxZatvoriek = sb.indexOf("{}");
  }

  // odstráň dobrý pár z výrazu (ak existuje)
  if (idxZatvoriek >= 0) {
    sb.delete(idxZatvoriek, idxZatvoriek + 2);
  }
} while (idxZatvoriek >= 0);
```

Správne ozátvorkovaný výraz

- Princíp riešenia:

  - postupne čítame vstup po znakoch
  - ak čítame otváraciu zátvorku, tak ju len vložíme do zásobníka
  - ak čítame uzatváraciu zátvorku, tak overíme, či na vrchu zásobníka je príslušná otváracia zátvorka
    - **áno**: vyberieme zátvorku zo zásobníka
    - **nie**: vstup nie je správne ozátvorkovaný výraz
  - po prečítaní vstupu musí byť zásobník prázdny

Simulácia a experimenty na cvičeniach

Testovanie pre jednu sadu

```
public static boolean spravneOzatvorkovany(String vyraz) {
    Deque<Character> zasobnik = new ArrayDeque<Character>();

    for (int i=0; i<vyraz.length(); i++) {
        char znak = vyraz.charAt(i);
        if (znak == '(')
            zasobnik.push(znak);

        if (znak == ')') {
            if (zasobnik.isEmpty())
                return false;

            if (zasobnik.pop() != '(')
                return false;
        }
    }

    return zasobnik.isEmpty();
}
```

Ak na vrchu zásobníka nie je otváracia zátvorka, tak končíme.

Rady v reálnom svete

- Cieľ radu:
  - spravodlivo čakať na niečo
- Základné operácia štruktúry rad:
  - postaviť sa **na koniec** radu
  - ako **prvý** v rade byť „**vybraný**“
- Štruktúra **FIFO** – first in first out

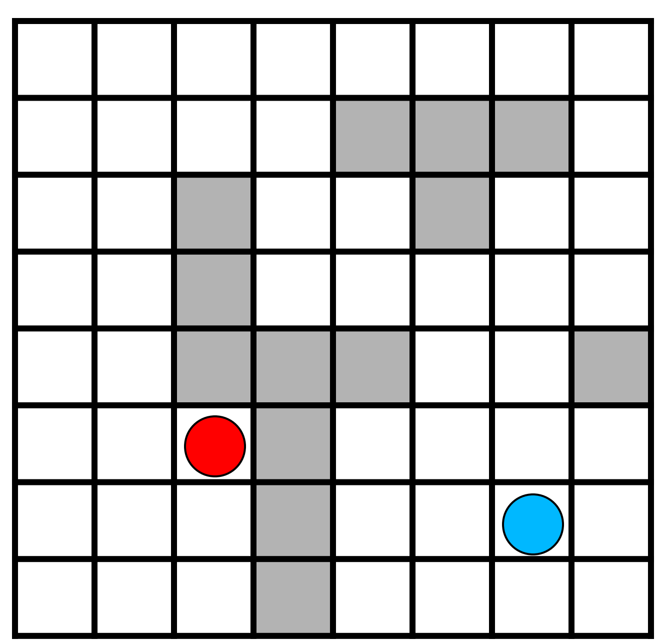
Rady v Jave

- Rady v Jave sú implementované triedami, ktoré implementujú rozhranie `Queue<E>`
- Základné metódy rozhrania `Queue<E>`:
  - `boolean offer(E item)`- vloží objekt na koniec radu a vráti, či sa objekt podarilo vložiť
  - `E poll()`- vráti prvý objekt v rade, *null* ak v rade nie je žiaden objekt
  - `boolean isEmpty()`- vráti, či je rad prázdny
- Implementácia `Queue<E>`: `ArrayDeque<E>`, `LinkedList<E>`

Ako nájsť cestu v bludisku

- Bludisko:

  - mriežkový labyrint s políčkami
  - niektoré políčka sú voľné, niektoré sú obsadené
  - štartové a cieľové políčko
  - v jednom kroku sa vieme posunúť v jednom zo 4 smerov (vľavo, vpravo, hore, dole)
  - ako sa čo najrýchlejšie dostať zo štartu do cieľa ?

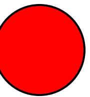


Úvahy o hľadaní cesty

- Namiesto zdanlivo jednoduchšej úlohy riešme zložitejšiu a **všeobecnejšiu úlohu:**
  - Pre každé políčko vypočítajme, ako je vzdialené od štartovacieho políčka ...
- **Zjavné fakty:**
  - štartovacie políčko je vzdialené 0 od štartovacieho políčka
  - ak je políčko vo vzdialenosti **d** od štartu, potom niektorý jeho sused bude vo vzdialenosti **d-1** od štartu

Počítanie vzdialenosti

Štart:



Cieľ:

Počítanie vzdialenosti

						1	
					1		1
						1	

Všetkým susedom štartovacieho políčka nastavíme vzdialenosť 1

Počítanie vzdialenosti

						2	
					2	1	2
				2	1		1
					2	1	2

Všetkým susedom políčok so vzdialenosťou 1 od štartu nastavíme vzdialenosť 2

Počítanie vzdialenosti

						3	
					3	2	
				3	2	1	2
				2	1		1
				3	2	1	2

Všetkým susedom políčok so vzdialenosťou 2 od štartu nastavíme vzdialenosť 3

Počítanie vzdialenosti

						4	
					4	3	4
					3	2	
				3	2	1	2
				2	1		1
				3	2	1	2

Všetkým susedom políčok so vzdialenosťou 3 od štartu nastavíme vzdialenosť 4

Počítanie vzdialenosti

						4	5
				5	4	3	4
					3	2	
				3	2	1	2
				2	1		1
				3	2	1	2

Všetkým susedom políčok so vzdialenosťou 4 od štartu nastavíme vzdialenosť 5

Počítanie vzdialenosti

							6
				6		4	5
			6	5	4	3	4
					3	2	
				3	2	1	2
				2	1		1
				3	2	1	2

Všetkým susedom políčok so vzdialenosťou 5 od štartu nastavíme vzdialenosť 6

Počítanie vzdialenosti

12	11	10	9	10	9	8	7
11	10	9	8				6
12	11		7	6		4	5
13	12		6	5	4	3	4
14	13				3	2	
15	14			3	2	1	2
16	15	16		2	1		1
17	16	17		3	2	1	2

Ako na efektívny program?

- Pre **každé políčko** si pamätáme jeho vypočítanú **vzdialenosť** od štartovacieho políčka
  - na začiatku *-1* (nevypočítaná vzdialenosť)
- Pracujeme v krokoch:
  - v i-tom kroku nastavíme všetkým „nespracovaným“ susedom políčok s hodnotou i ich vzdialenosť na i+1.
  - naivná implementácia vyžaduje navštíviť všetkých n políčka poľa v každom kroku ... $O(n)$
  - najviac n krokov: $n.O(n) = O(n^2)$

Ako na efektívny program?

- Pre **každé políčko** si pamätáme jeho vypočítanú **vzdialenosť** od štartovacieho políčka
  - na začiatku *-1* (nevypočítaná vzdialenosť)
- Udržiavame si **rad** so súradnicami políčok, pričom pre každé políčko čakajúce v rade platí:
  - políčko už má vypočítanú svoju vzdialenosť od štartovacieho políčka
  - susedia tohto políčka môžu byť bez vypočítanej vzdialenosti od štartovacieho políčka

Schéma algoritmu

Algoritmus prehľadávania do šírky

- **kým** *rad nie je prázdny* **opakuj**
  - **vyber** prvé políčko P v rade
  - pozri sa na **každé** susedné políčko S políčka P
    - **ak** S nemá nastavenú vzdialenosť (jeho vzdialenosť je -1), **potom:**
      - **nastav** pre S vzdialenosť o 1 väčšiu ako má P:

        vzdialenosť(S) = vzdialenosť(P) + 1
      - **zaraď** S na koniec radu (lebo sa treba ešte pozrieť aj na susedov políčka S)

Prečo to funguje?

- Tvrdenia o behu algoritmu
  - každé políčko v rade má vypočítanú svoju vzdialenosť od štartu
  - každé políčko sa dostane do radu len raz ... $O(n)$
    - pred vložením do radu sa mu nastaví vzdialenosť na číslo rôzne od -1, čo bráni opätovnému zaradeniu do radu
  - všetky políčka s vzdialenosťou **d** od štartu sú vybrané z radu pred všetkými políčkami so vzdialenosťou **d+1** (vďaka radu a spôsobu spracovania)
    - formálne sa dokáže indukciou na **d** (sporom sa ukáže, že sa nemôžu predbehnúť a že na žiadne políčko vo vzdialenosti d+1 sa nemôže zabudnúť za splnenia indukčného predpokladu)

Nájdenie cesty

12	11	10	9	10	9	8	7
11	10	9	8				6
12	11		7	6		4	5
13	12		6	5	4	3	4
14	13				3	2	
15	14			3	2	1	2
16	15	16		2	1		1
17	16	17		3	2	1	2

Algoritmus:

- Začíname v cieli
- Vždy sa vyberieme na to susedné políčko, ktoré má o 1 menšiu vzdialenosť od štartovacieho políčka ako to, na ktorom práve stojíme.

Spätné hľadanie

ArrayDeque vs. LinkedList

- **ArrayDeque**
  - 2 indexy v poli – head & tail
  - Circular array – "po poslednom nasleduje prvý"

- **ArrayDeque** je v Jave rýchlejší ako **LinkedList**:
  - + Menej pamäte (neukladá referencie na ďalší a predošlý, nevytvára zbytočné objekty)
  - + Uložené v poli = uložené súvislé v pamäti, možnosť cache pri prechode, rýchlejší prechod
  - - Pri naplnení sa musí kopírovať, pracuje sa iba na koncoch (LinkedList kdekoľvek)

Deque

- *Double Ended Queue*
- **LIFO** - push, pop, peek
- **FIFO** - offer, poll, peek
- **Štruktúra s dvoma koncami:**
  - `offerFirst, offerLast`
  - `pollFirst, pollLast`
  - `peekFirst, peekLast`
- Alternatíva (add, remove, get) môže vyhodiť výnimku