

Dokumentácia zadania č. 3a

Evolučný algoritmus – zenová záhrada

Zadaním bolo riešiť danú úlohu pomocou **genetického** (evolučného) **algoritmu**. Program bol implementovaný v **programovacom jazyku C** v prostredí Visual Studio 2019. Program sa nachádza v jednom zdrojovom súbore **main.c**. V zdrojovom súbore je každá funkcia programu podrobne **okomentovaná**.

Program obsahuje niekoľko **štruktúr**:

1. Štruktúra reprezentujúca zenovú záhradu:

```
typedef struct zen {  
    short** map;  
    u_short width;  
    u_short height;  
    u_short obstacle_count;  
} Zen;
```

Dvojrozmerné pole map reprezentuje mapu danej zenovej záhrady.

2. Štruktúra reprezentujúca gén:

```
typedef struct gene {  
    u_short index;  
    char direction_on_map;  
    char priority_move;  
} Gene;
```

3. Štruktúra reprezentujúca chromozóm:

```
typedef struct chromosome {  
    Gene** genes;  
    u_short gene_count;  
} Chromosome;
```

4. Štruktúra reprezentujúca populáciu:

```
typedef struct population {  
    Chromosome** chromosomes;  
    u_short chromosome_count;  
} Population;
```

Vlastnosti použitých génov:

Každý gén každého chromozómu obsahuje tri dôležité informácie:

1. u_short index

- index reprezentuje miesto vstupu mnícha do záhrady
- indexuje sa od 1 po maximálny index, ktorý sa počíta ako obvod štvoruholníka $2 * (\text{width} + \text{height})$

2. char direction_on_map

- táto informácia reprezentuje smer, ktorým má mních na mape záhrady chodiť, a je potrebná pri pohybe mnícha na mape pri vyhodnocovaní fitness hodnôt jednotlivých génov
- mení sa so zmenou smeru mnícha na mape
- nadobúda hodnoty **LEFT** = 'l'; **RIGHT** = 'r'; **UP** = 'u'; **DOWN** = 'd', ktoré sú definované ako makrá

3. char priority_move

- táto informácia reprezentuje preferovaný pohyb mnícha, ak narazí na prekážku alebo na upravený piesok

- nemení sa
- nadobúda hodnoty **LEFT** = ,l' ; **RIGHT** = ,r'

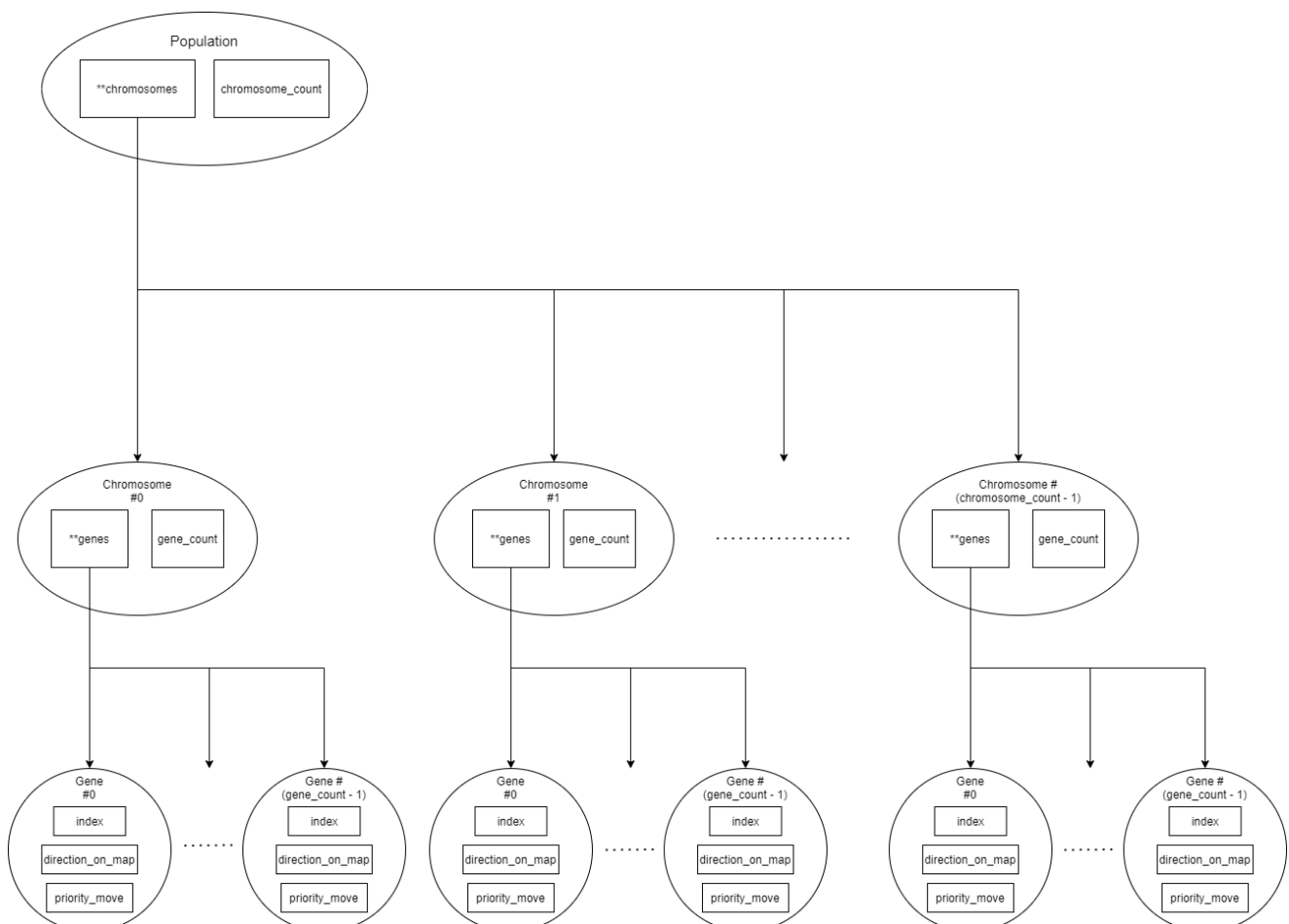
Pohybovanie a rozhodovanie mnícha:

O pohybe mnícha rozhodujú jednotlivé gény jednotlivých chromozómov. Mních vchádza do záhrady na základe **index-u** v géne. Pohybuje sa smerom **direction_on_map** a ak narazí na prekážku alebo upravený piesok, tak mení smer na základe **priority_move** – ak sa prioritným smerom nedá ísť, tak sa zvolí opačný smer. Ak sa mních nemôže pohnúť vľavo ani vpravo, tak uviazol a hrabanie podľa daného chromozómu sa skončí.

Zmenou smeru mnícha sa mení aj **direction_on_map**. Po vytvorení potomka z rodičov sa **dedí** index a priority_move. Direction_on_map sa nastaví podľa prvotného smeru mnícha podľa výpočtu na základe indexu odkiaľ mních vchádza do záhrady.

Diagram reprezentujúci vzťah medzi jednotlivými štruktúrami:

- Štruktúra populácie obsahuje pole Chromosome** chromosomes a počet chromozómov chromosome_count v populácii
- Pole Chromosome** chromosomes obsahuje chromosome_count chromozómov
- Štruktúra chromozómu obsahuje pole Gene** genes a počet génov gene_count v chromozóme
- Pole Gene** genes obsahuje gene_count génov
- Štruktúra génu obsahuje už spomenuté informácie index, direction_on_map a priority_move



Možnosti nastavenia parametrov používateľom:

```
Enter seed: 0 a)
Enter chromosome count: 50 b)

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1 c)
Enter maximum number of populations: 1500 d)
```

Program umožňuje používateľovi nastaviť:

- a) seed pre funkciu `srand(seed)`,
- b) počet chromozómov v každej populácii,
- c) metódu výberu rodičov,
- d) maximálny možný počet populácií, ktoré môžu pri riešení vzniknúť (vrátane prvej populácie).

Inicializácia prvej populácie:

Prvá populácia obsahuje **počet chromozómov zadaný používateľom**. Počet chromozómov sa v nasledujúcich populáciách **nemení**. **Počet génov** v chromozóme sa vygeneruje **náhodne** – môže sa však vygenerovať len číslo **z intervalu $<max/2, max>$** , pričom **$max = width + height + obstacle_count$** , kde **width** je **šírka mapy**, **height** je **výška mapy** a **obstacle_count** je **počet prekážok** (kameňov) na mape záhrady. Po vygenerovaní počtu génov sa v chromozómoch nasledujúcich populácií počet génov **nemení**.

Výber rodičov:

Na výber rodičov sú implementované **dva selektívne algoritmy**:

1. Výber pomocou **rulety (Roulette Wheel Selection)**
2. Výber pomocou **turnaja (K-Way Tournament Selection)** – hodnota **K** je 3, dá sa však jednoducho zmeniť na iné hodnoty ako premenná v kóde. Z generácie sa vyberie **K** náhodných chromozómov a z nich sa potom vyberá jeden s najlepšou fitness hodnotou.

Z každých dvoch rodičov môže krížením vzniknúť iba jeden potomok. Teda ak máme v prvej generácii 10 jedincov, vyberieme z nich 10 párov rodičov, z ktorých vznikne 10 nových jedincov druhej generácie.

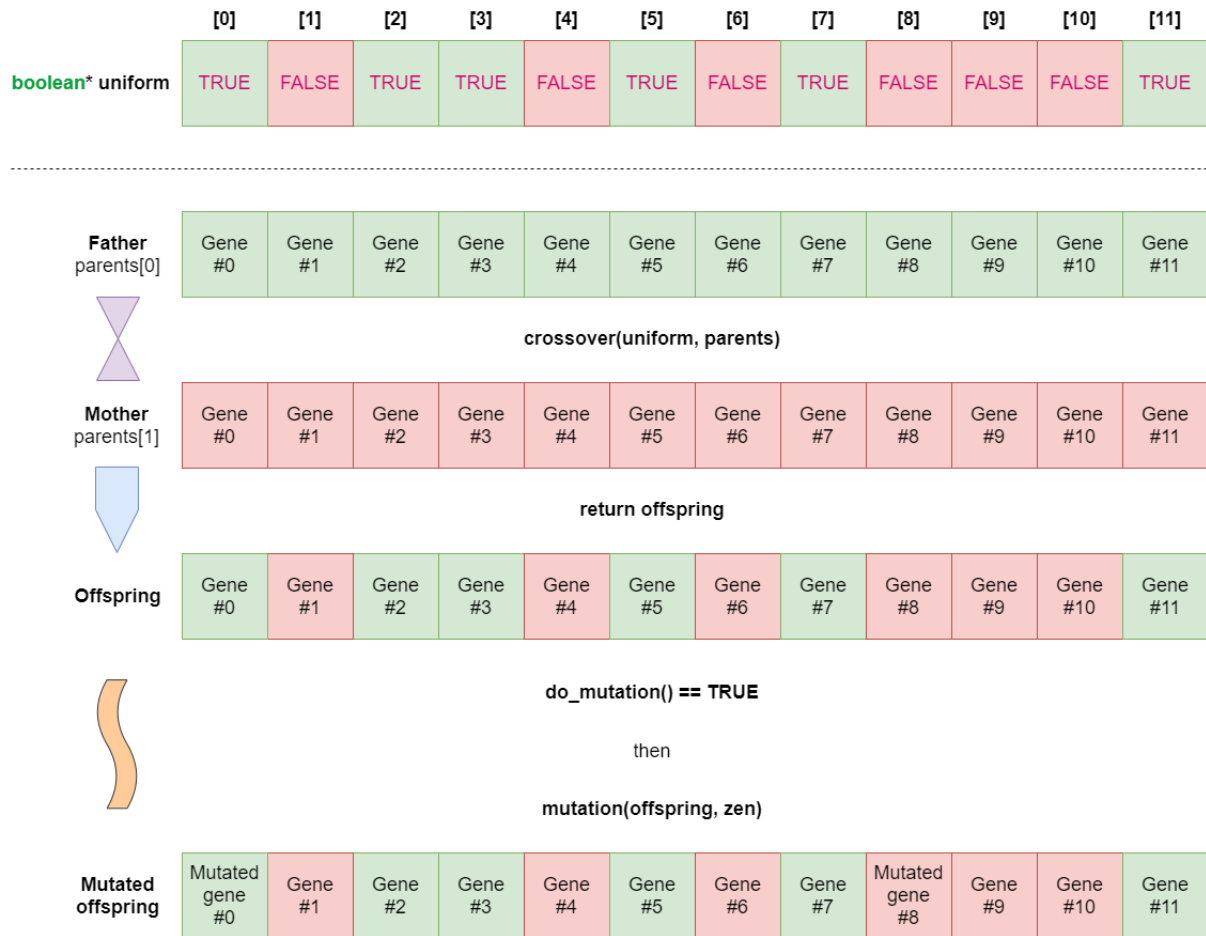
Výber dvoch rodičov, ich kríženie a mutácia vzniknutého jedinca sa opakujú dovtedy, kým sa nenaplní nová generácia chromozómov. Nové generácie sa tvoria dovtedy, kým sa nenájde riešenie s maximálnou možnou fitness hodnotou, alebo riešenie s najlepšou fitness hodnotou v poslednej generácii v prípade, ak sa vyčerpal maximálny možný počet generácií nastavený používateľom.

Spôsob kríženia a mutácie chromozómov:

Pred krížením sa vytvorí pole **boolean* uniform**, ktoré obsahuje náhodne rozložené hodnoty **TRUE** alebo **FALSE**. Potomok krížením dostane **gén otca** vtedy, keď je **uniform[i] == TRUE** a **gén matky** vtedy, keď je **uniform[i] == FALSE**.

Po krížení môže prísť aj k mutácii približne **jednej pätiny génov**. Po krížení sa generuje číslo z intervalu **$<0, 100>$** . Ak je vygenerované číslo **≥ 1** a zároveň **\leq ako náhodné číslo z intervalu $<5, 25>$** , tak dôjde k mutácii. To znamená, že šanca na mutáciu nového chromozómu vytvoreného krížením je **5 až 25%**.

Mutácia prebieha tak, že sa vypočíta koľko génov má mutovať – v tomto prípade sú to 2 gény ($12/5 = 2$). Gény mutujú tak, že sa v nich **nahrádzajú indexy** vstupu mnícha na také, ktoré sa ešte v žiadnom gène daného chromozómu nenachádzajú.



Niekoľko výstupov programu s použitím záhrady zo zadania:

1. Použitím rulety:

```
Enter seed: 123
Enter chromosome count: 97

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 1500

DONE in population #210
CHROMOSOME #59
Solution with fitness: 114 (max is 114)
10 10 10 10 10 10 5 2 8 8 6 9
11 11 11 11 11 K 5 2 8 8 6 9
7 K 11 11 11 11 5 2 8 8 6 9
7 11 11 11 K 11 5 2 8 8 6 9
7 11 K 11 11 11 5 2 8 8 6 9
5 5 5 5 5 5 2 8 8 6 9
2 2 2 2 2 2 2 2 K K 6 6
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
```

```
Enter seed: 3987124299
Enter chromosome count: 70

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 355

DONE in population #210
CHROMOSOME #54
Solution with fitness: 114 (max is 114)
1 1 1 1 1 1 3 2 7 7 4 5
10 10 10 10 K 3 2 7 7 4 5
9 K 10 10 10 3 2 7 7 4 5
9 10 10 K 10 3 2 7 7 4 5
9 10 K 10 10 3 2 7 7 4 5
3 3 3 3 3 3 2 7 7 4 5
2 2 2 2 2 2 2 K K 4 5
6 6 6 6 6 6 6 6 6 4 5
8 8 8 8 8 8 8 8 8 6 4 5
8 8 8 8 8 8 8 8 8 6 4 5
```

```
Enter seed: 3234
Enter chromosome count: 120

Number of genes: 23

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 897

DONE in population #65
CHROMOSOME #36
Solution with fitness: 114 (max is 114)
10 13 13 13 13 13 5 12 3 3 1 11
10 13 13 13 13 K 5 12 3 3 1 2
10 K 13 13 13 13 5 12 3 3 1 2
4 4 13 13 K 13 5 12 3 3 1 2
6 4 K 13 13 13 5 12 3 3 1 2
6 4 7 7 7 7 5 12 3 3 1 2
6 4 7 8 8 7 5 12 K K 1 2
6 4 7 8 8 7 5 12 9 9 1 2
6 4 7 8 8 7 5 12 9 9 1 2
6 4 7 8 8 7 5 12 9 9 1 2
```

Viktor Modroczký
Umelá inteligencia
Zadanie 3a - GA

2. Použitím turnaja, keď K = 3:

```
Enter seed: 69
Enter chromosome count: 50

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 10

DONE in population #8
CHROMOSOME #1
Solution with fitness: 114 (max is 114)
 2 11 11 11 11 11 5 1 4 4 9 8
 2 11 11 11 11 K 5 1 4 4 9 8
 2 K 11 11 11 11 5 1 4 4 9 8
11 11 11 11 K 11 5 1 4 4 9 8
12 12 K 11 11 11 5 1 4 4 9 8
 7 7 7 7 7 7 5 1 4 4 9 8
10 10 10 10 10 7 5 1 K K 9 8
10 10 10 10 10 7 5 1 3 3 9 8
 7 7 7 7 7 7 5 1 3 3 9 8
 6 6 6 6 6 6 5 1 3 3 9 8
```

```
Enter seed: 123456789
Enter chromosome count: 965

Number of genes: 28

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 99

DONE in population #19
CHROMOSOME #553
Solution with fitness: 114 (max is 114)
10 10 10 10 10 2 3 12 12 1 7
14 14 14 14 14 K 2 3 12 12 1 7
14 K 14 14 14 14 2 3 12 12 1 7
 4 4 14 14 K 14 2 3 12 12 1 7
 6 4 K 14 14 14 2 3 12 12 1 9
 6 4 8 8 8 8 2 3 12 12 1 9
 6 4 8 11 11 8 2 3 K K 1 9
 6 4 8 11 11 8 2 3 5 5 1 9
 6 4 8 11 11 8 2 3 5 5 1 13
 6 4 8 11 11 8 2 3 5 5 1 13
```

```
Enter seed: 321
Enter chromosome count: 123

Number of genes: 20

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 188

DONE in population #23
CHROMOSOME #105
Solution with fitness: 114 (max is 114)
 9 7 12 11 11 13 4 3 8 8 2 5
 7 7 12 11 11 K 4 3 8 8 2 5
12 K 12 11 11 11 4 3 8 8 2 5
12 12 12 11 K 11 4 3 8 8 2 5
12 12 K 11 11 11 4 3 8 8 2 5
 4 4 4 4 4 4 4 3 8 8 2 5
 3 3 3 3 3 3 3 3 K K 2 2
 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 6
```

Porovnanie rulety s turnajom: (vľavo ruleta, vpravo turnaj s K = 3)

1. príklad:

```
Enter seed: 0
Enter chromosome count: 50

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 2000

DONE in population #71
CHROMOSOME #50
Solution with fitness: 114 (max is 114)
 2 2 2 2 2 2 2 1 5 5 4 3
 8 8 8 8 8 K 2 1 5 5 4 3
 7 K 8 8 8 8 2 1 5 5 4 3
 7 8 8 8 K 8 2 1 5 5 4 3
 7 8 K 8 8 8 2 1 5 5 4 3
 2 2 2 2 2 2 2 1 5 5 4 3
 1 1 1 1 1 1 1 1 K K 4 3
 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 4 3
 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 4 3
 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 3
```

```
Enter seed: 0
Enter chromosome count: 50

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 2000

DONE in last population #2000
CHROMOSOME #1
Solution with fitness: 113 (max is 114)
11 11 6 4 8 0 9 12 12 9 8 4
11 11 6 4 8 K 9 12 12 9 8 4
10 K 6 4 8 8 9 9 9 9 8 4
10 6 6 4 K 8 8 8 8 8 8 4
 6 6 K 4 4 4 4 4 4 4 4 4
 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
13 13 13 13 13 13 13 K K 5 5
 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 7
 3 3 3 3 3 3 3 3 3 1 5 7
 3 3 3 3 3 3 3 3 3 1 5 7
```

2. príklad:

```
Enter seed: 55
Enter chromosome count: 60

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 1000

DONE in population #150
CHROMOSOME #4
Solution with fitness: 114 (max is 114)
 6 11 11 11 11 11 8 2 7 7 3 10
 6 11 11 11 11 K 8 2 7 7 3 10
 6 K 11 11 11 11 8 2 7 7 3 5
11 11 11 11 K 11 8 2 7 7 3 5
12 12 K 11 11 11 8 2 7 7 3 5
 8 8 8 8 8 8 8 2 7 7 3 5
 2 2 2 2 2 2 2 2 K K 3 3
 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
```

```
Enter seed: 55
Enter chromosome count: 60

Number of genes: 22

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 1000

DONE in population #210
CHROMOSOME #32
Solution with fitness: 114 (max is 114)
 4 7 7 7 7 7 2 9 9 8 3 1
 4 7 7 7 7 K 2 9 9 8 3 1
 4 K 7 7 7 7 2 9 9 8 3 1
 4 7 7 7 K 7 2 9 9 8 3 1
 4 7 K 7 7 7 2 9 9 8 3 1
 4 7 6 6 6 6 2 8 8 8 3 1
 4 7 6 10 10 6 2 8 K K 3 1
 4 7 6 10 10 6 2 8 5 5 3 1
 4 7 6 10 10 6 2 8 5 5 3 1
 4 7 6 10 10 6 2 8 5 5 3 1
```

Viktor Modroczký
Umelá inteligencia

Zadanie 3a - GA

3. príklad:

```
Enter seed: 900
Enter chromosome count: 70

Number of genes: 21

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 500

DONE in last population #500
CHROMOSOME #7
Solution with fitness: 107 (max is 114)
0 8 8 2 11 11 5 1 6 6 6 6
0 8 8 2 11 K 5 1 6 9 9 9
0 K 0 2 11 11 5 1 6 9 9 9
7 7 0 2 K 11 5 1 6 6 6 6
7 7 K 2 15 11 5 1 3 3 3 3
12 12 12 2 15 11 5 1 3 3 3
14 14 12 2 15 11 5 1 K K 4 4
14 14 12 2 15 11 5 1 13 13 4 10
0 0 12 2 15 11 5 1 13 13 4 10
12 12 12 2 15 11 5 1 13 13 4 10
```

```
Enter seed: 900
Enter chromosome count: 70

Number of genes: 21

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 500

DONE in last population #500
CHROMOSOME #1
Solution with fitness: 112 (max is 114)
2 5 7 7 5 11 11 1 12 12 9 13
2 5 5 5 5 K 11 1 12 12 9 13
2 K 3 3 3 3 11 1 12 12 9 13
2 0 3 3 K 3 11 1 12 12 9 13
2 0 K 3 14 3 11 1 12 12 9 13
2 6 6 3 14 3 11 1 12 12 9 13
2 6 6 3 14 3 11 1 K K 9 9
2 6 6 3 14 3 11 1 4 4 4 4
2 6 6 3 14 3 11 1 4 8 8 8
2 6 6 3 14 3 11 1 4 8 10 10
```

4. príklad

```
Enter seed: 789
Enter chromosome count: 50

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 3000

DONE in population #146
CHROMOSOME #47
Solution with fitness: 114 (max is 114)
3 9 9 9 9 9 3 2 8 8 5 7
3 9 9 9 9 K 3 2 8 8 5 7
3 K 9 9 9 9 3 2 8 8 5 7
3 9 9 9 K 9 3 2 8 8 5 7
3 9 K 9 9 9 3 2 8 8 5 7
3 3 3 3 3 3 2 8 8 5 7
2 2 2 2 2 2 2 K K 5 5
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
```

```
Enter seed: 789
Enter chromosome count: 50

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 3000

DONE in population #148
CHROMOSOME #25
Solution with fitness: 114 (max is 114)
9 9 9 6 6 10 10 10 10 10 8
11 11 11 6 6 K 1 1 1 1 1
11 K 11 6 6 6 1 12 12 12 12
11 11 11 6 K 6 1 3 3 3 3
11 11 K 6 6 6 1 3 5 5 5 5
11 11 2 2 2 2 1 3 5 5 5
11 11 2 7 7 2 1 3 K K 5 5
11 11 2 7 7 2 1 3 4 4 5 5
11 11 2 7 7 2 1 3 4 4 5 5
11 11 2 7 7 2 1 3 4 4 5 5
```

5. príklad:

```
Enter seed: 8000
Enter chromosome count: 500

Number of genes: 17

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 5000

DONE in population #199
CHROMOSOME #154
Solution with fitness: 114 (max is 114)
7 8 8 8 8 8 7 2 6 6 4 4
7 8 8 8 8 K 7 2 6 6 4 4
7 K 8 8 8 8 7 2 6 6 4 4
7 8 8 8 K 8 7 2 6 6 4 4
7 8 K 8 8 8 7 2 6 6 4 4
7 7 7 7 7 7 7 2 6 6 4 4
2 2 2 2 2 2 2 K K 4 4
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
```

```
Enter seed: 8000
Enter chromosome count: 500

Number of genes: 17

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 5000

DONE in population #4998
CHROMOSOME #82
Solution with fitness: 114 (max is 114)
6 6 6 6 6 6 2 11 11 11 11
8 8 8 7 7 K 2 2 2 2 2 2
3 K 8 7 7 7 7 7 7 7 7
3 8 8 7 K 1 1 1 1 1 1
3 8 K 7 7 1 9 9 9 9 9
3 8 12 12 7 1 9 13 13 13 13
3 8 12 12 7 1 9 13 K K 4 4
3 8 12 12 7 1 9 13 10 10 4 5
3 8 12 12 7 1 9 13 10 10 4 5
3 8 12 12 7 1 9 13 10 10 4 5
```

Viktor Modroczký
Umelá inteligencia

Zadanie 3a - GA

6. príklad:

```
Enter seed: 99
Enter chromosome count: 333

Number of genes: 15

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 7000

DONE in population #145
CHROMOSOME #108
Solution with fitness: 114 (max is 114)
8 2 9 9 2 10 10 4 5 5 3 3
8 2 2 2 2 K 10 4 5 5 3 3
8 K 10 10 10 10 10 4 5 5 3 3
8 10 10 10 K 10 10 4 5 5 3 3
8 10 K 10 10 10 10 4 5 5 3 3
8 10 10 10 10 10 10 4 5 5 3 3
4 4 4 4 4 4 4 4 K K 3 3
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
```

```
Enter seed: 99
Enter chromosome count: 333

Number of genes: 15

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 7000

DONE in population #6
CHROMOSOME #56
Solution with fitness: 114 (max is 114)
4 4 4 4 3 8 8 7 5 5 2 1
3 3 3 3 3 K 8 7 5 5 2 1
7 K 8 8 8 8 8 7 5 5 2 1
7 8 8 8 K 8 8 7 5 5 2 1
7 8 K 8 8 8 8 7 5 5 2 1
7 8 8 8 8 8 8 7 5 5 2 1
7 7 7 7 7 7 7 7 K K 2 1
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 2 1
6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 2 1
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
```

7. príklad:

```
Enter seed: 8989
Enter chromosome count: 1000

Number of genes: 21

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 2000

DONE in population #152
CHROMOSOME #557
Solution with fitness: 114 (max is 114)
4 4 4 4 4 4 10 1 9 9 5 11
14 14 14 14 14 K 10 1 9 9 5 11
14 K 14 14 14 14 10 1 9 9 5 11
12 12 14 14 K 14 10 1 9 9 5 11
12 12 K 14 14 14 10 1 9 9 5 7
10 10 10 10 10 10 10 1 9 9 5 7
1 1 1 1 1 1 1 1 K K 5 5
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
6 6 8 8 8 8 8 13 13 13 13 13
```

```
Enter seed: 8989
Enter chromosome count: 1000

Number of genes: 21

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 2000

DONE in population #7
CHROMOSOME #909
Solution with fitness: 114 (max is 114)
8 8 8 8 8 8 4 12 12 12 12 12
9 9 9 9 9 K 4 4 4 4 4 4
15 K 9 9 9 1 1 1 1 1 1 1 1
13 13 9 9 K 1 1 1 1 1 1 1 1
13 13 K 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
3 3 3 3 3 3 3 3 K K 5 5
7 7 7 7 7 7 7 3 10 10 5 6
7 7 7 7 7 7 7 3 10 10 5 6
11 11 11 11 14 14 14 3 10 10 5 6
```

8. príklad:

```
Enter seed: 77
Enter chromosome count: 1500

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 1
Enter maximum number of populations: 2000

DONE in population #68
CHROMOSOME #692
Solution with fitness: 114 (max is 114)
5 8 8 8 8 8 1 3 10 10 7 6
5 8 8 8 8 K 1 3 10 10 7 6
5 K 8 8 8 8 1 3 10 10 7 6
5 8 8 8 K 8 1 3 10 10 7 6
5 8 K 8 8 8 1 3 10 10 7 6
5 8 2 2 2 2 1 3 10 10 7 6
5 8 2 4 4 2 1 3 K K 7 6
5 8 2 4 4 2 1 3 9 9 7 6
5 8 2 4 4 2 1 3 9 9 7 6
5 8 2 4 4 2 1 3 9 9 7 6
```

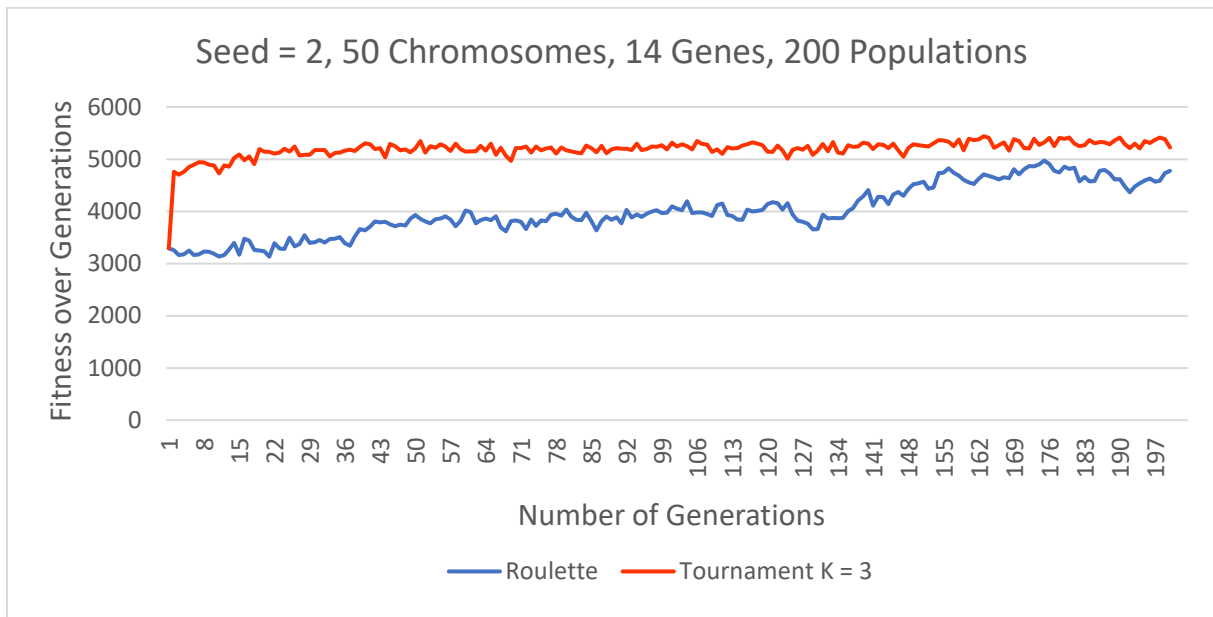
```
Enter seed: 77
Enter chromosome count: 1500

Number of genes: 19

Choose selection method:
1. Roulette
2. Tournament
Enter your choice: 2
Enter maximum number of populations: 2000

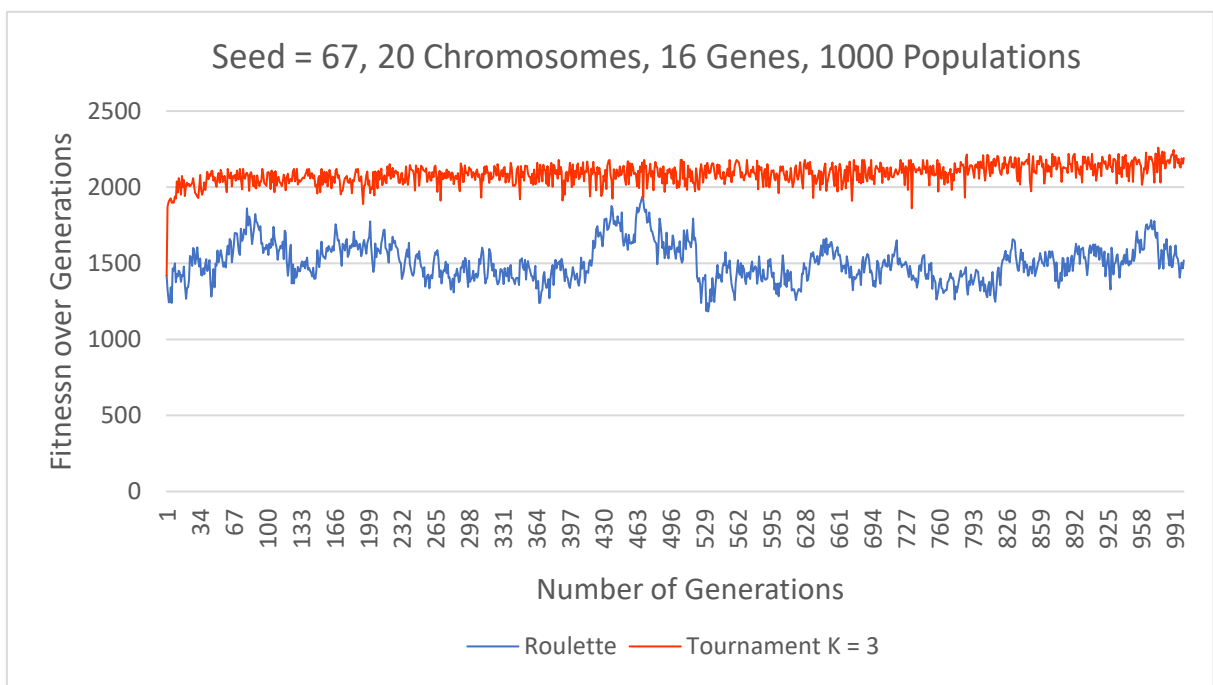
DONE in population #210
CHROMOSOME #1127
Solution with fitness: 114 (max is 114)
1 3 6 6 3 5 5 4 10 10 2 12
1 3 3 3 3 K 5 4 10 10 2 12
1 K 13 13 13 13 5 4 10 10 2 12
1 13 13 13 K 13 5 4 10 10 2 12
1 13 K 13 13 13 5 4 10 10 2 9
1 13 8 8 8 8 5 4 10 10 2 9
1 13 8 11 11 8 5 4 K K 2 9
1 13 8 11 11 8 5 4 7 7 2 9
1 13 8 11 11 8 5 4 7 7 2 9
1 13 8 11 11 8 5 4 7 7 2 9
```

Grafy: vývoj fitness hodnôt jednotlivých generácií pri použití rulety (modrá farba) alebo turnaja (červená farba) pri výbere rodičov (bola použitá záhrada zo zadania a číslo $K = 3$ pri turnaji)



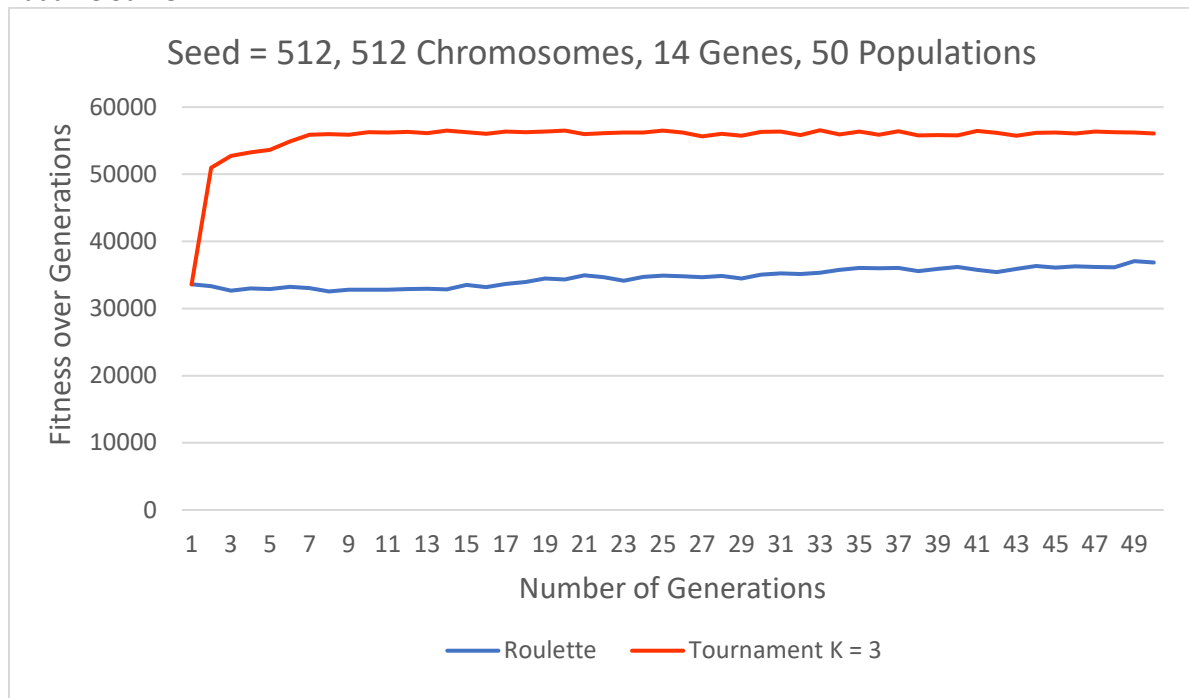
Použitím rulety sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (14. v poradí) poslednej 200. generácie s fitness hodnotou 109 (maximum je 114).

Použitím turnaja sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (1. v poradí) poslednej 200. generácie s fitness hodnotou 110 (maximum je 114).



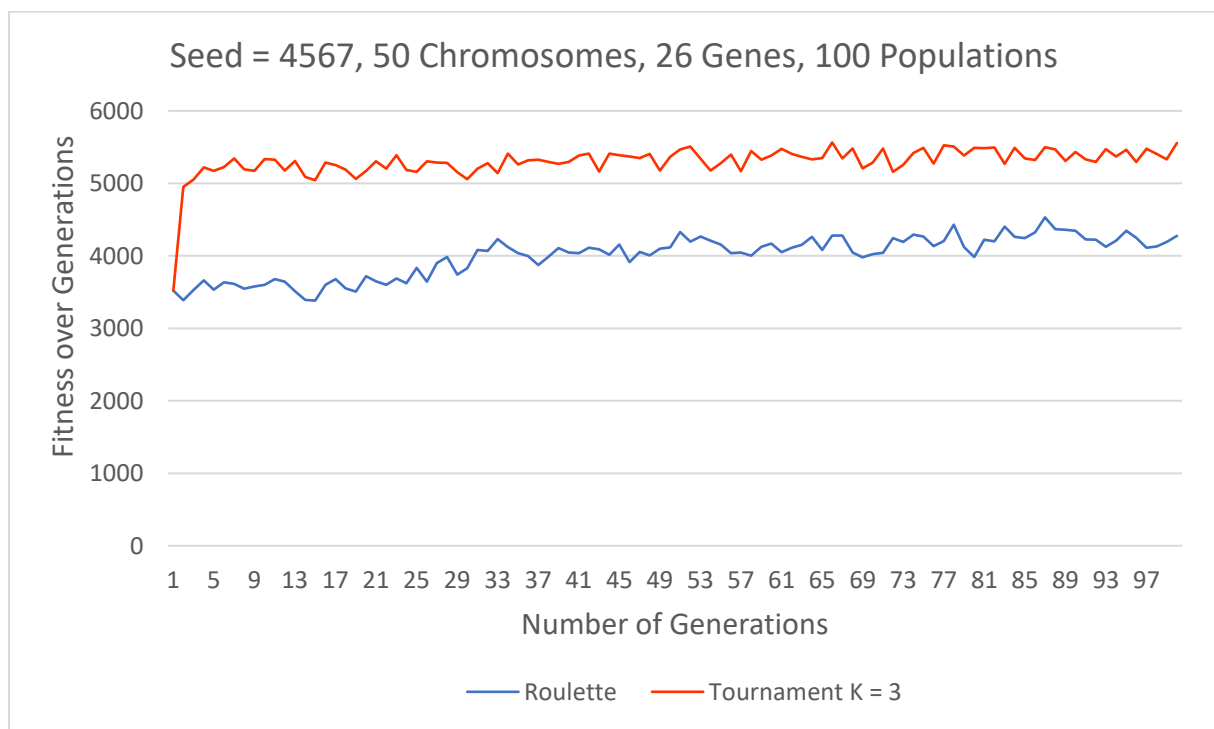
Použitím rulety sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (2. v poradí) poslednej 1000. generácie s fitness hodnotou 99 (maximum je 114).

Použitím turnaja sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (1. v poradí) poslednej 1000. generácie s fitness hodnotou 113 (maximum je 114).



Použitím rulety sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (458. v poradí) poslednej 50. generácie s fitness hodnotou 104 (maximum je 114).

Použitím turnaja sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (1. v poradí) poslednej 50. generácie s fitness hodnotou 113 (maximum je 114).



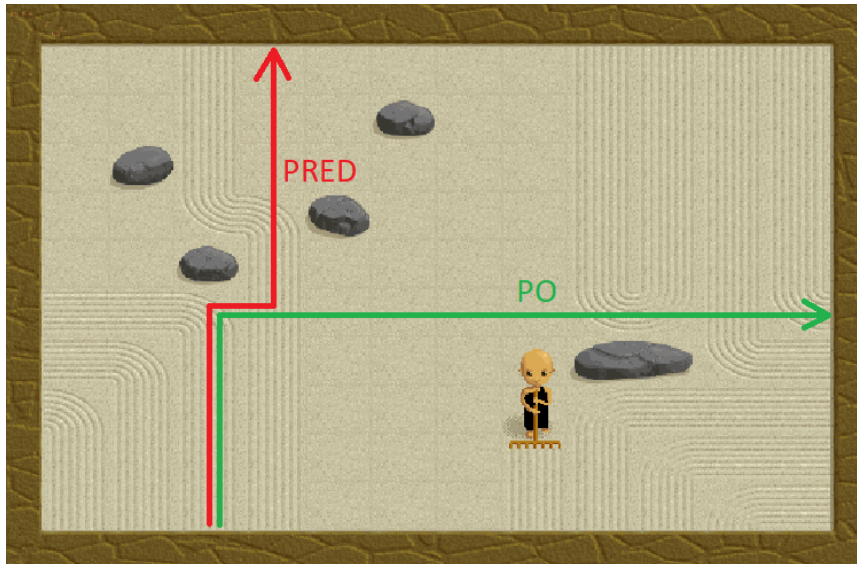
Použitím rulety sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (21. v poradí) poslednej 100. generácie s fitness hodnotou 107 (maximum je 114).

Použitím turnaja sa prišlo k riešeniu s najlepším chromozómom (2. v poradí) poslednej 100. generácie s fitness hodnotou 113 (maximum je 114).

Na grafoch vidíme, že fitness hodnoty jednotlivých generácií sú pri použití rulety v priemere nižšie ako fitness hodnoty jednotlivých generácií pri použití turnaja s $K = 3$. V príkladoch z grafov sa použitím turnaja prišlo k lepším riešeniam (nie kompletným s fitness 114) ako použitím rulety.

Opis vylepšovania a doladovania riešenia:

Prvotné **pohybovanie mnícha nebolo optimálne**, pretože sa pohyboval tak, že ak narazil na prekážku, tak ju vybočil a **pokračoval v pôvodnom smere pohybu**. Preto bolo potrebné pohybovanie prerobiť tak, že ak mních narazí na prekážku, tak **zmení smer pohybu**.



Počas programovania zadania sa zmenila aj **šanca na mutáciu** nového chromozómu – šanca 20% sa zmenila na variabilnú šancu 5 až 25%. Taktiež sa zmenil **počet mutovaných génov** v chromozóme z **1/8 na 1/5** génov chromozómu.

K vylepšovaniu patrí aj klasický **refaktoring** – napr. vytváranie nových funkcií, aby sa zabránilo opakovaniu kódu, debugovanie skrytých, ale nie fatálnych chýb a pod.

Externý súbor:

Informácie o zenovej záhrade sa načítavajú z textového súboru **input.txt**, ktorý má **nasledujúcu štruktúru** (riadky s # sú komentáre):

Všeobecne:

```
# map dimensions
# (width, height) from <1, ...>
(sirka mapy, vyska mapy)
```

```
# obstacles
# [line, column] from <0, ...>
{
[suradnica0, suradnica1]
[suradnica0, suradnica1]
[suradnica0, suradnica1]
.
.
.
}
```

Napr. záhrada zo zadania:

```
# map dimensions
# (width, height) from <1, ...>
(12, 10)
```

```
# obstacles
# [line, column] from <0, ...>
{
[2, 1]
[1, 5]
[4, 2]
[3, 4]
[6, 8]
[6, 9]
}
```