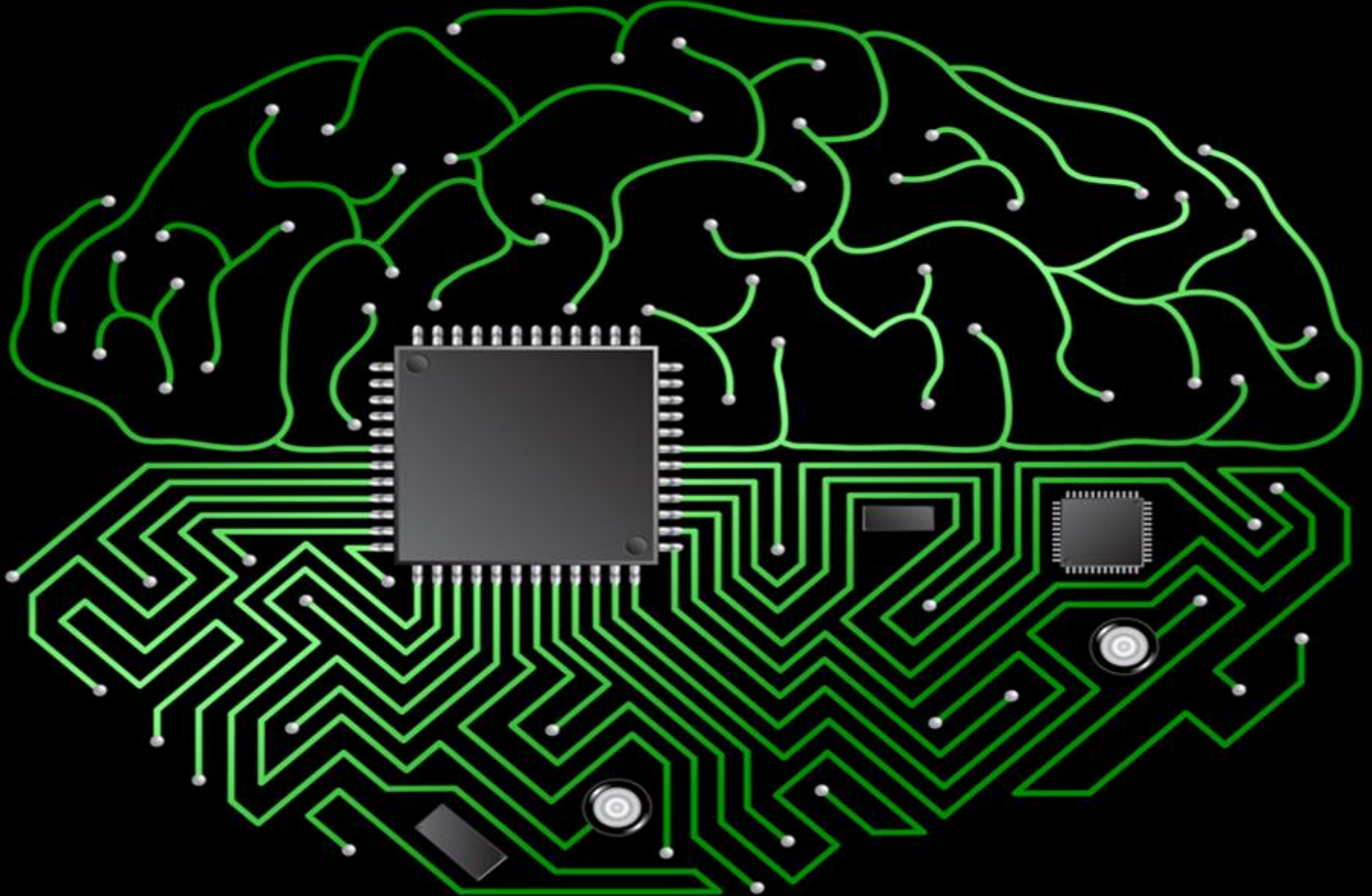


Umelá inteligencia 2

2023/2024





Ústav robotiky a kybernetiky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave

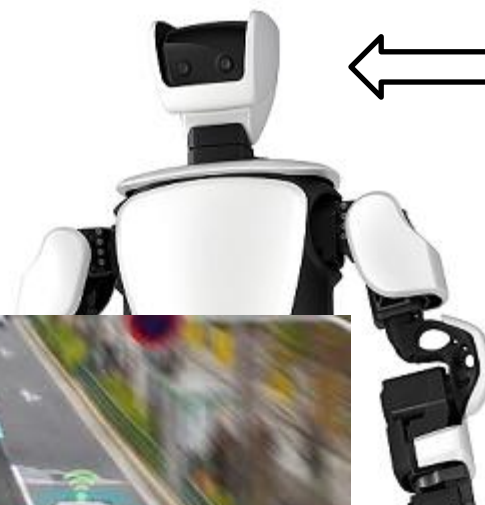
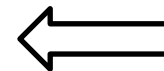
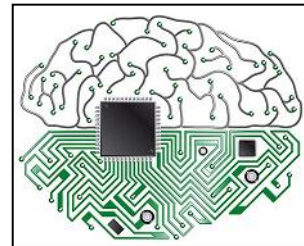
Ivan Sekaj

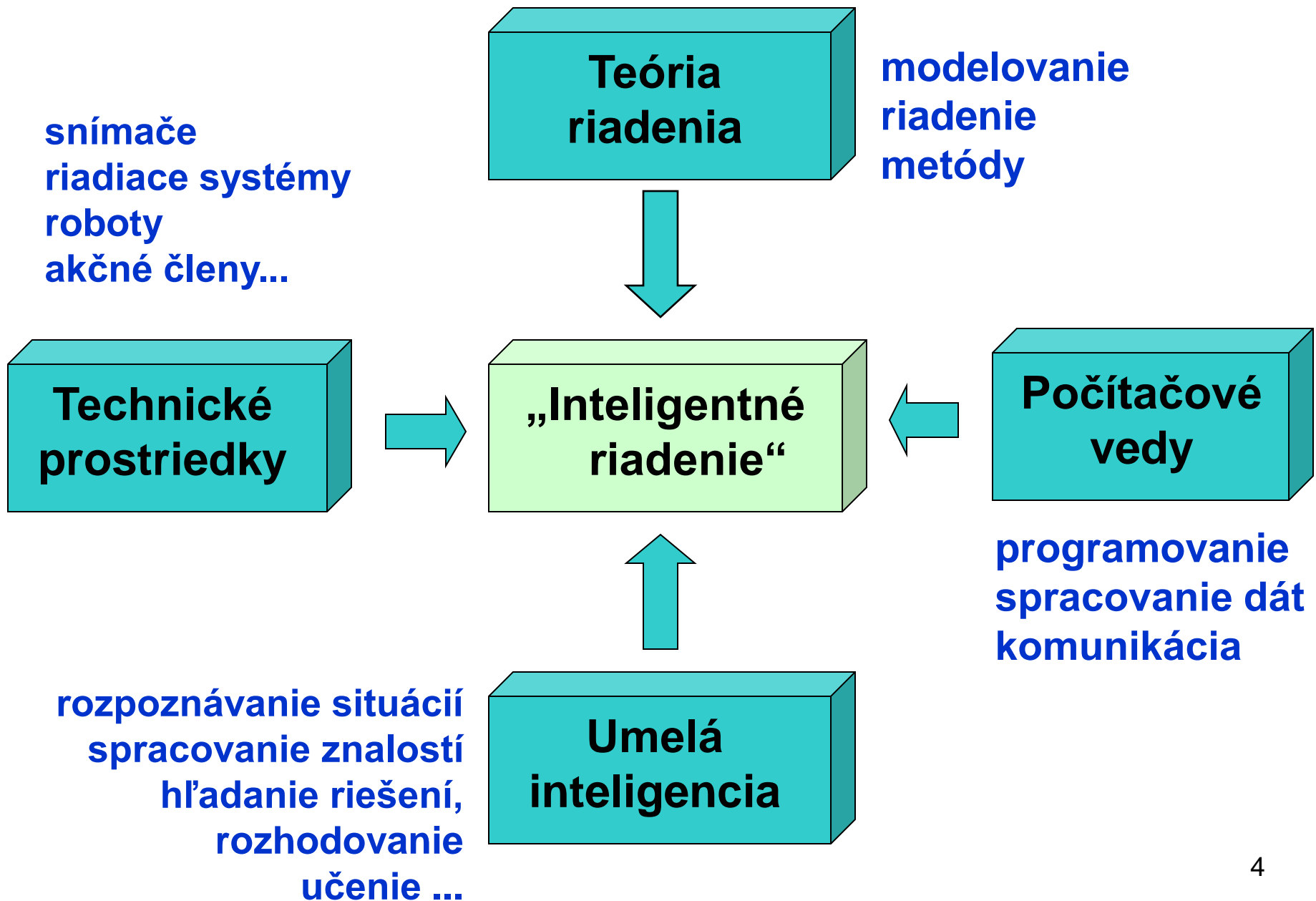
Ústav robotiky a kybernetiky, FEI STU

D-701

ivan.sekaj@stuba.sk

Motivácia ...





Obsah predmetu UI2

- **základy vybraných bio-inšpirovaných optimalizačných metód (BIOM)**
- **aplikácie BIOM pri riešení praktických problémov a v riadení**

- **základy umelých neurónových sietí (UNS)**
- **použitie UNS v oblasti modelovania a riadenia**

- **základy fuzzy logiky a fuzzy riadenia**

Obsah prednášok

- 1 Opakovanie GA, úlohy s obmedzeniami**
- 2 Bio-inšpirované výpočtové metódy**
- 3 GA v riadení**
- 4 Optimalizácia štruktúr, EA v robotike**
- 5 UNS v riadení**
- 6 UNS aplikácie v praxi, hlboké siete**
- 7 Fuzzy logika**
- 8 Fuzzy riadenie**
- 9 Metódy soft computing v priem. riadiacich sys.**
- 10 História a perspektívy UI**
- 11 Konzultácie**

Pdf: AIS/UI2

Obsah cvičení

1. parametrizácia GA
2. návrh bio-inšpirovaného optim. algoritmu
3. tvorba modelu nelin. dyn. systému (NDS)
4. návrh PID regulátora pomocou GA
5. použitie rôznych kritérií pre návrh regulátora
6. návrh rozvetveného reg. obvodu pomocou GA
7. návrh dráhy robotického ramena
8. modelovanie nelin. dyn. sys. pomocou UNS
9. neuro-prediktívne riadenie
10. fuzzy regulácia
11. fuzzy regulácia

Zmena programu možná !

Zadania a podklady: AIS/UI2

Hodnotenie predmetu

1. Cvičenie 1-11	11 x 5 b = 55 b *	
2. Prémiové úlohy (P, dobrovoľné).....	1 x 10 b	
3. Skúška (písomná)	50 b	
spolu max.:		115+P bodov

* Odovzdanie výsledkov na určenom cvičení: max 5b + 1b
na nasledovnom cvičení: max 2,5b, neskôr: 0b

Podmienky získania skúšky:

- účasť na všetkých cvičeniach (resp. náhrada),
- cvičenia aspoň 20 b
- skúška aspoň 15 b

1. Bio-inšpirované výpočtové přístupy

Evolučné, křídlové, jiné

Evolučný algoritmus, krdľový algoritmus

1. Inicializuj populáciu náhodných riešení (jedincov).
2. Urči úspešnosť každého jedinca populácie (fitness).
3. Testuj ukončovacie podmienky najlepšieho jedinca populácie. Ak sú plnené, riešenie je najlepší jedinec. Inak pokračuj v bode 4.
4. Modifikuj vybrané jedince populácie (stochasticky). Pokračuj v bode 2.

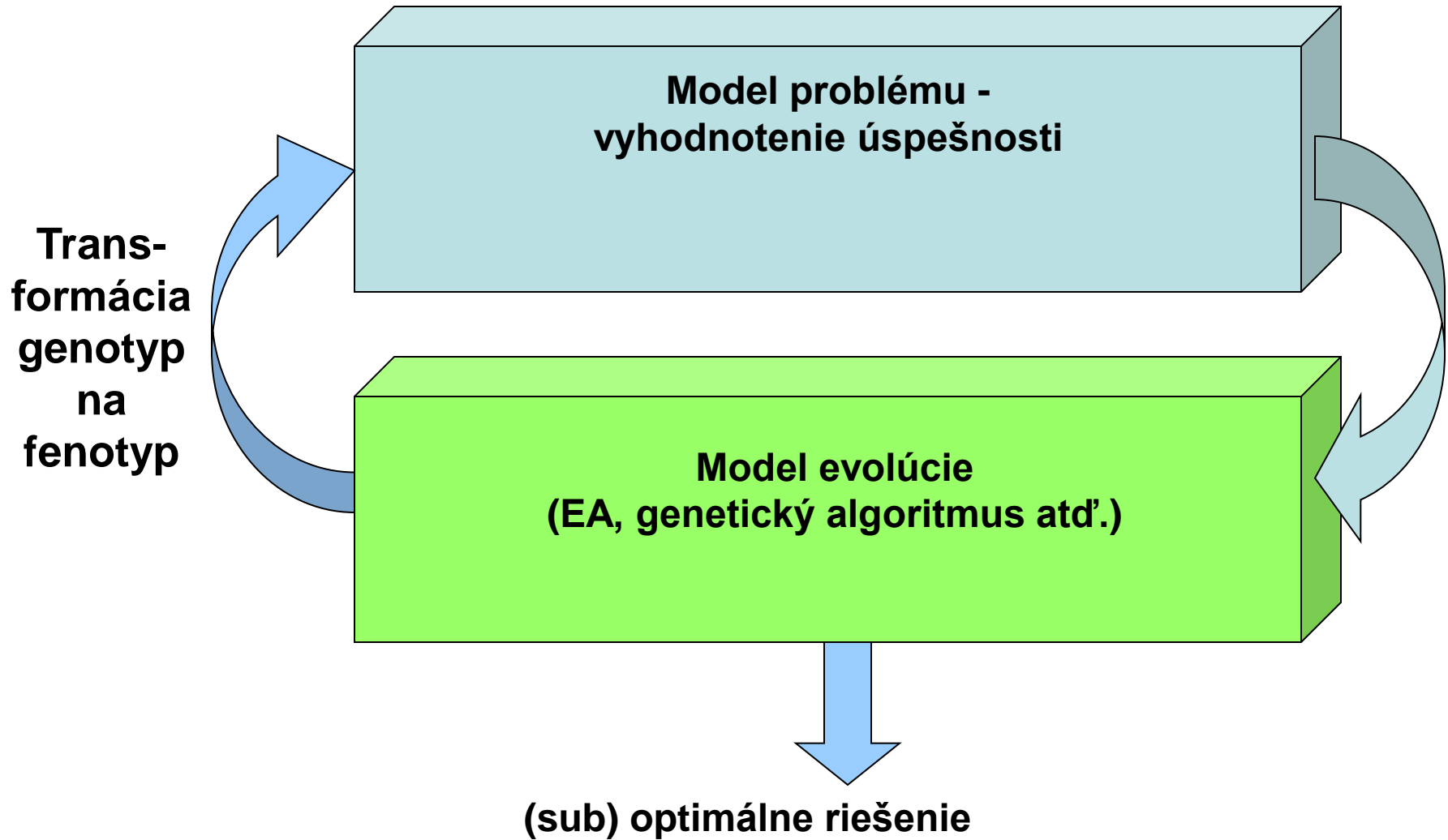
Evolučné algoritmy:

evolučné stratégie, genetický algoritmus, diferenciálna evolúcia, umelý imunitný systém, genetické programovanie, gramatická evolúcia, ...

Krdľové algoritmy:

PSO, kolónie mravcov, včelie algoritmy, bakteriálne alg., kukučí alg. ...

Riešenie problému pomocou EA



Optimalizovaný problém (matematický, technický, ekonomický, ...)

Optimalizovaný objekt (potenciálne riešenie):

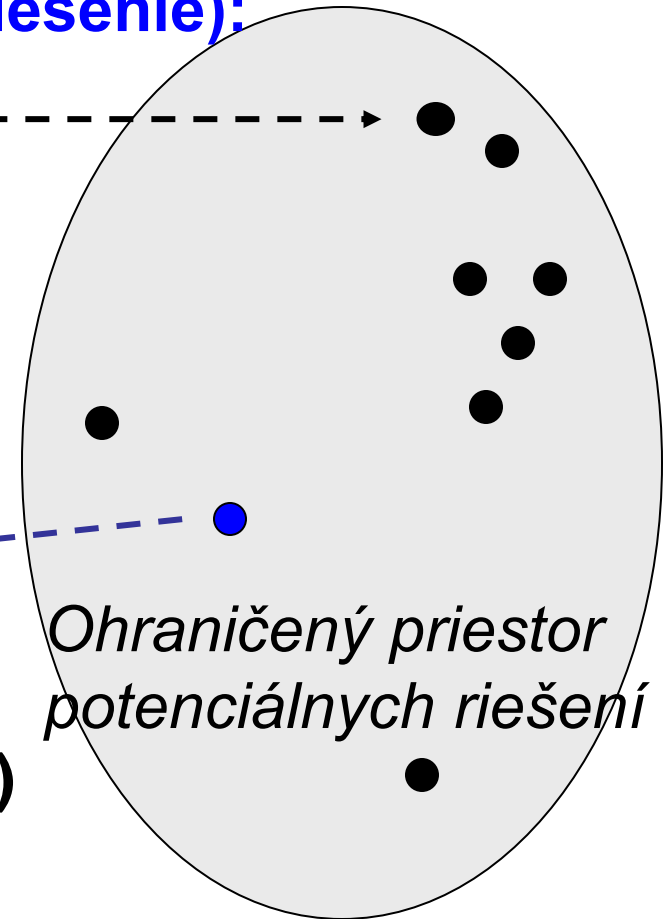
$$X_i = \{x_{i,1} \ x_{i,2} \ x_{i,3} \ \dots \ x_{i,n}\}$$

$x_{i,j}$ – parametre pevnej štruktúry objektu
alebo

$x_{i,j}$ – kód štrukturálnych väzieb objektu

$x_{i,j}$ – kombinácia oboch

$$X_{\text{opt}} = ?$$



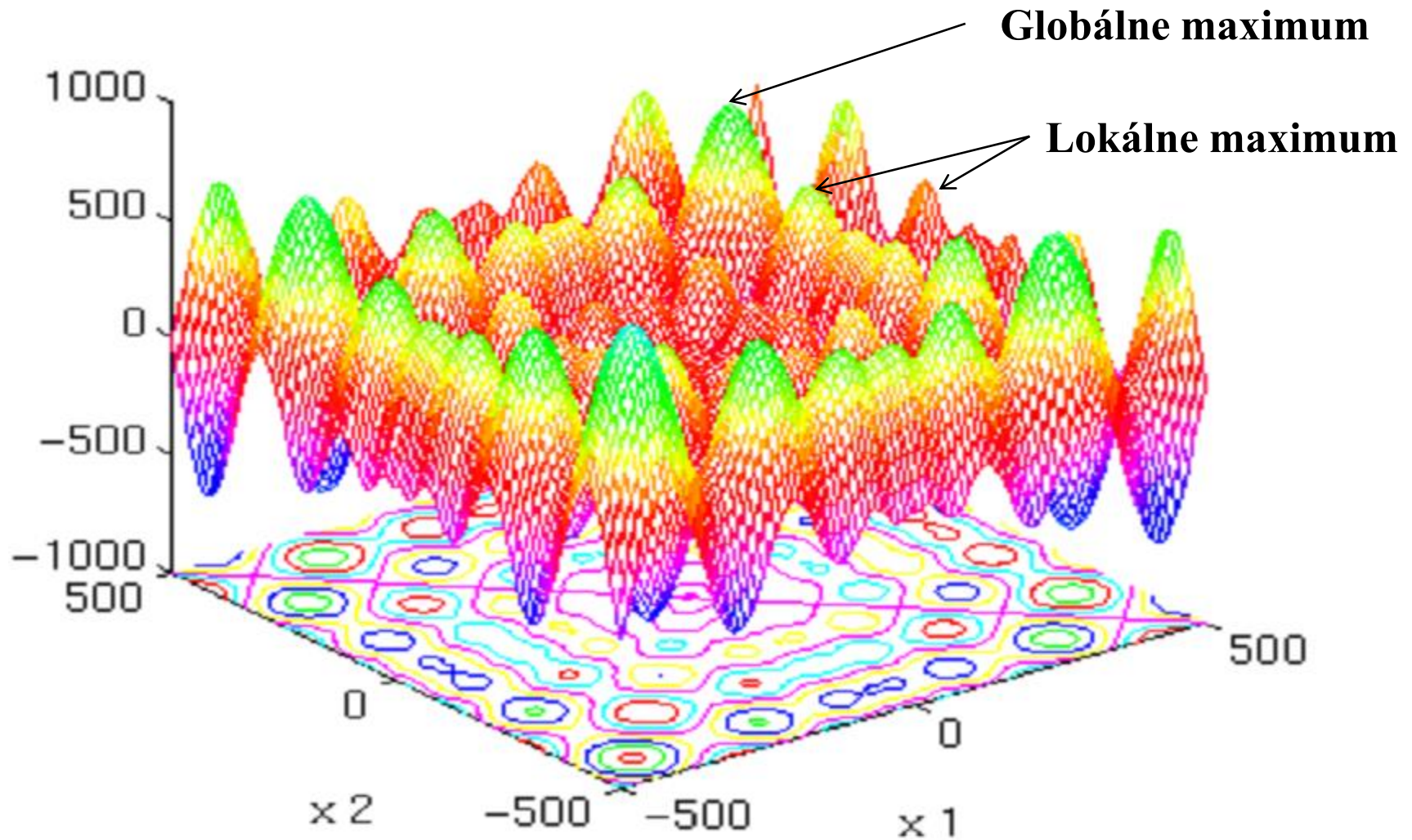
*Ohraničený priestor
potenciálnych riešení*

účelová funkcia : $F(X_{\text{opt}}) \rightarrow \min \ (\max)$

F – matematicky formulovaná funkcia

F – procedúra na vyhodnotenie úspešnosti daného riešenia
(program, počítačová simulácia, ...)

Minimalizácia funkcie N-premenných



$$X^* = [x_1^*; x_2^*] = ? ; F(X^*) \rightarrow \max$$

1.1 Genetický algoritmus

1.1.1 Základné objekty a operácie

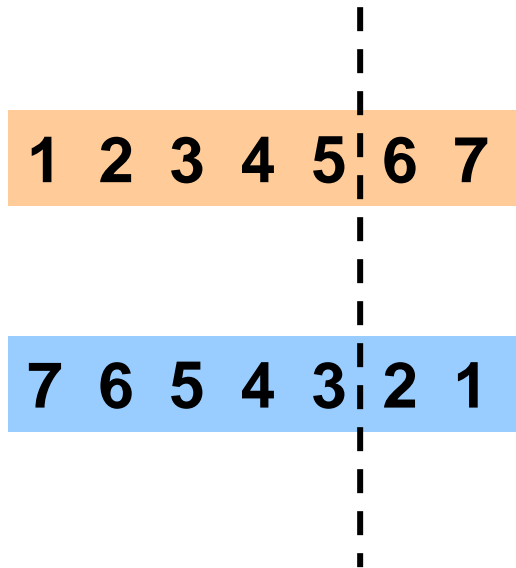
Základné objekty a pojmy v GA

- **Ret'azec (chromozóm)**
- **Gén**
- **Populácia**
- **Generácia**
- **Účelová funkcia (Fitness)**

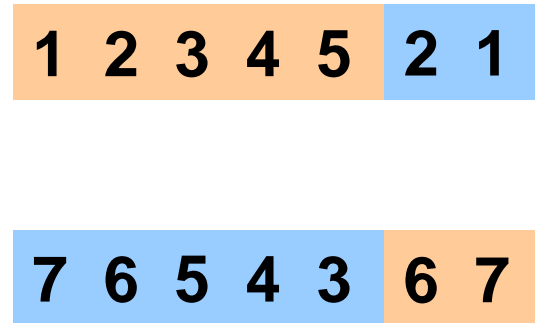
Základné genetické operácie

- **Kríženie**
- **Mutácia**
- **Výber (selekcia)**

Kríženie

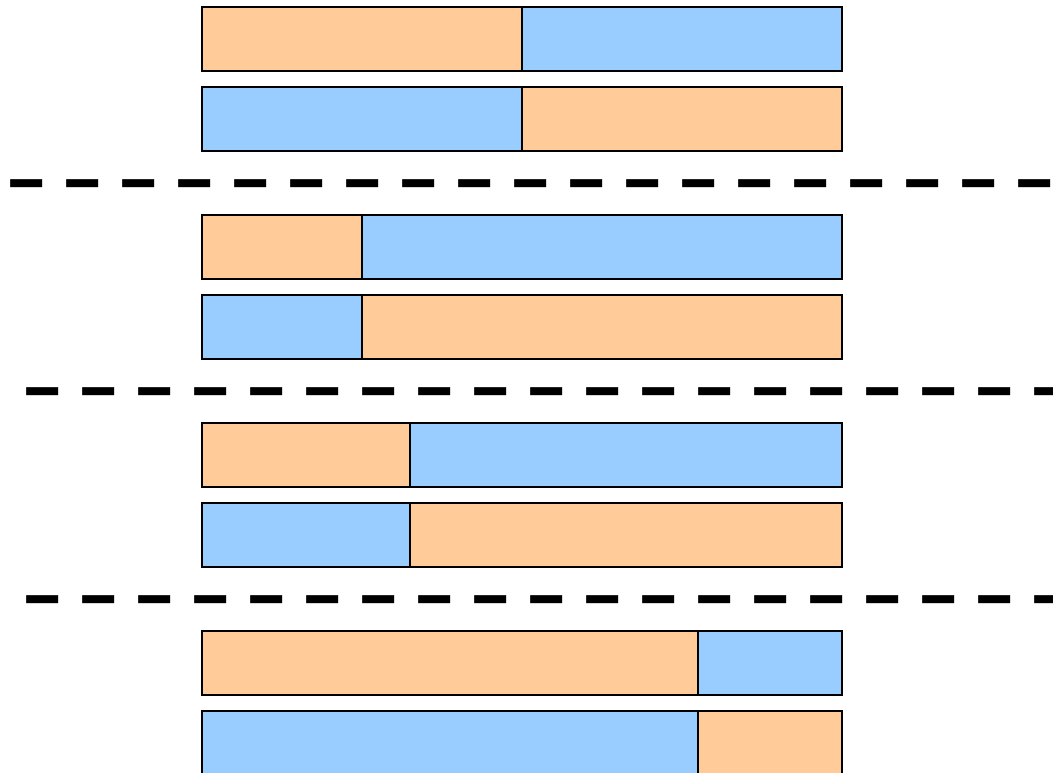


rodičovské reťazce

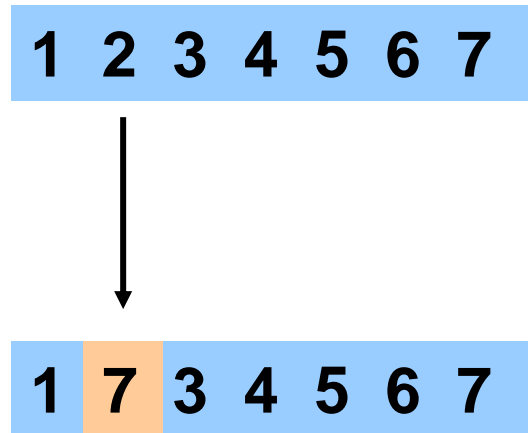


potomkovské reťazce

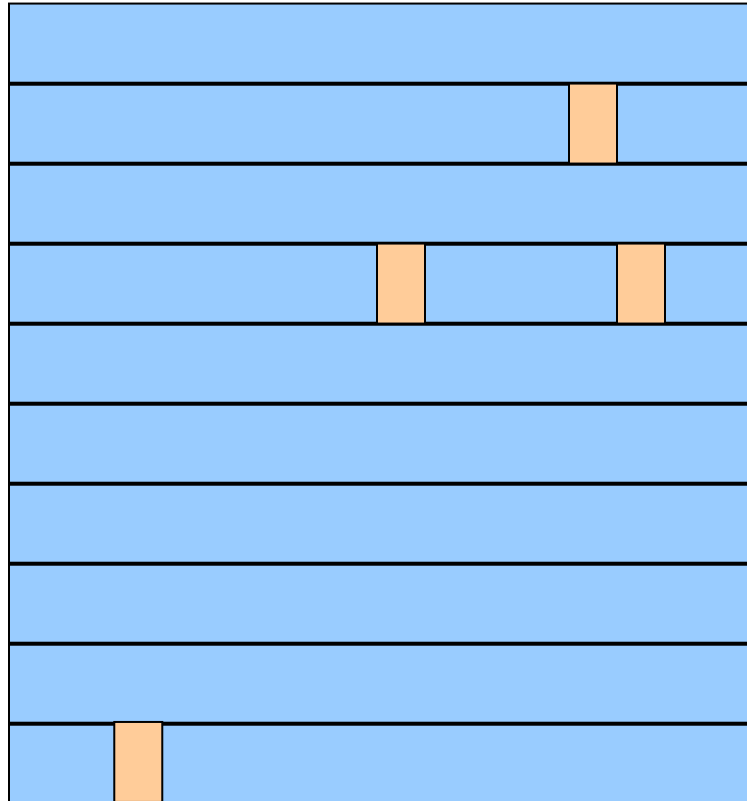
Kríženie v celej populácii



Mutácia



Mutácia v rámci populácie



Pravdepodobnosť mutácie jedného génu v rámci celej populácie je bežne od 0.1 – 10%

Výber

Úlohou výberu je:

- vybrat' potrebný počet reťazcov (rodičov), ktoré budú modifikované pomocou genetických operácií,
- vybrat' reťazce, ktoré sa nezmenené dostanú do novej generácie.

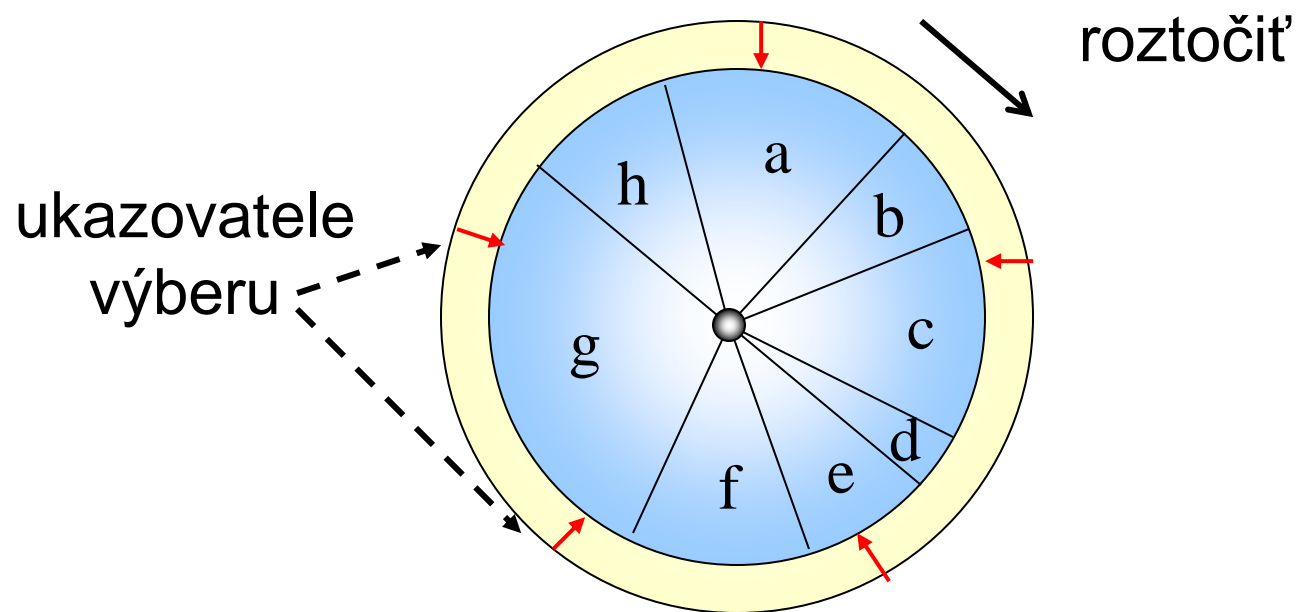
Existuje viacero typov výberu.

Pri výbere platí: úspešnejšie reťazce majú väčšiu pravdepodobnosť byť vybrané než menej úspešné.

Výber reťazcov do novej populácie (selekcia)

- **Výber na základe úspešnosti (fitness)**
- **Náhodný výber**
- **Výber pomocou váhovaného ruletového kolesa**
- **Turnajový výber**
- **Výber podľa maximálnej miery diverzity**
- **iné ...**

Rovnomerný váhovaný ruletový výber

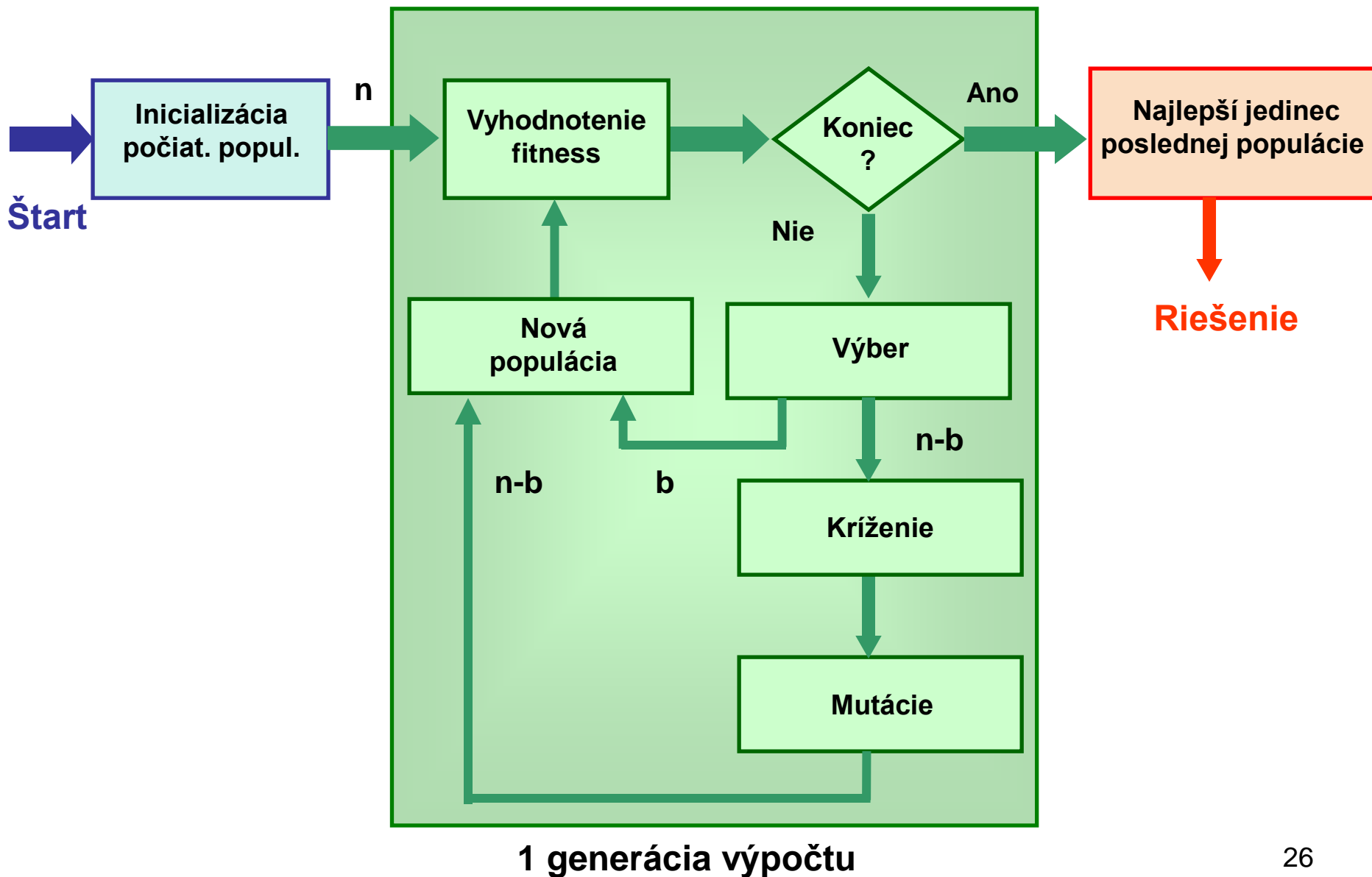


Turnajový výber

- 1. z danej skupiny sa vyberie náhodná dvojica (trojica...) jedincov**
- 2. lepší z dvojice (trojice...) ide medzi vybrané jedince**
- 3. všetky jedince sa vrátia naspäť do pôvodnej skupiny**
- 4. ak je vybraný už požadovaný počet tak koniec
inak skok na bod 1**

1.1.2 Genetický algoritmus (GA)

Genetický algoritmus



Ukončovacie podmienky GA

- **testovanie splnenia vopred definovaných podmienok**
- **stagnácia hodnoty účelovej funkcie**
- **podobnosť (identita) mnohých jedincov v populácii**
- **ukončenie predpísaného počtu generácií (cyklov algoritmu)**

Definovanie GA pred jeho spustením

- **formulácia účelovej funkcie**
- **definovanie spôsobu zakódovania parametrov optimalizovaného objektu do reťazca**
- **ohraničenie prehľadávaného priestoru**
- **voľba veľkosti populácie**

1.1.3 Genetické operácie

Rôzne typy mutácie

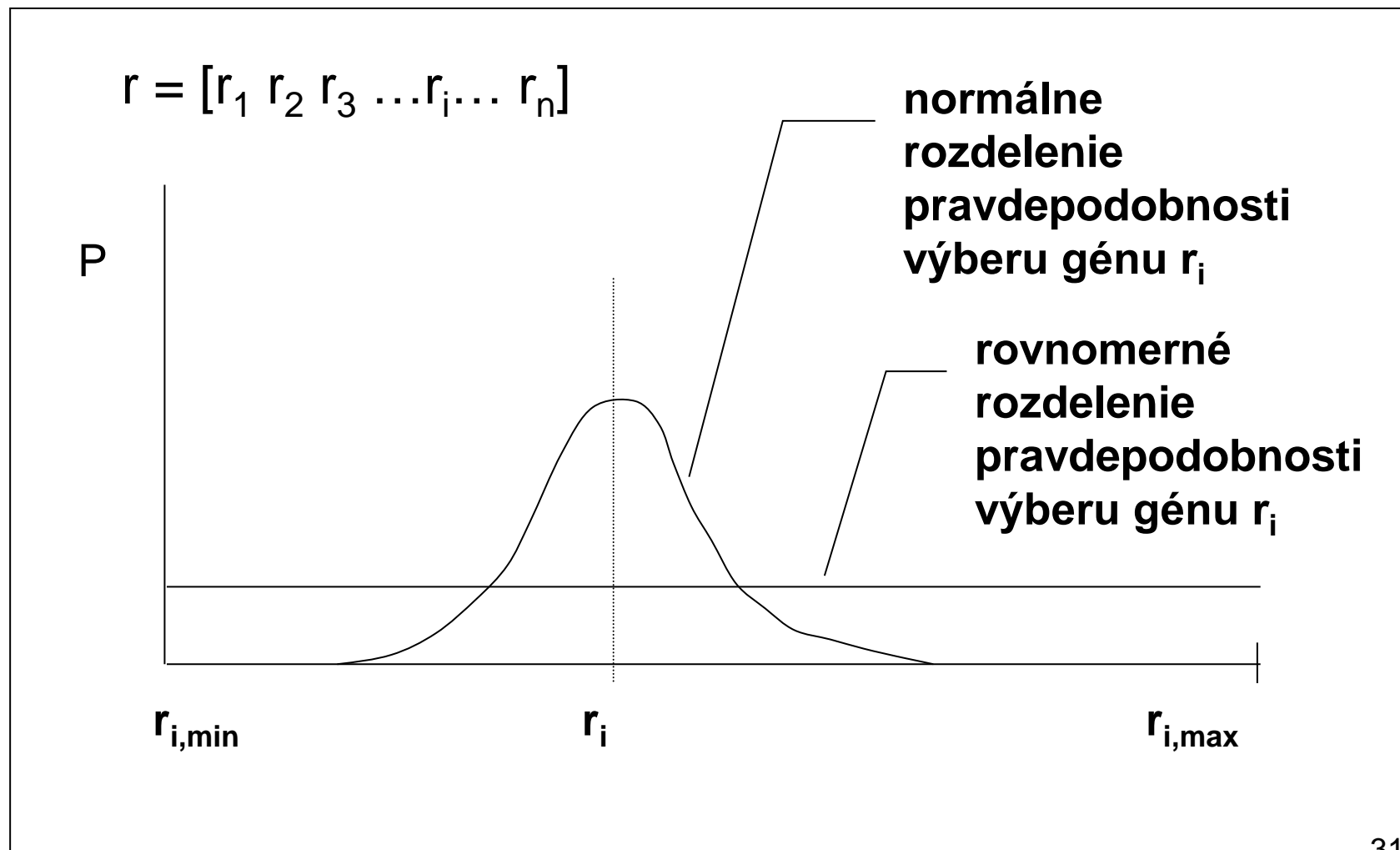
$$r = [r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n] \rightarrow r' = [r_1, r_2, \dots, \rho, \dots, r_n]$$

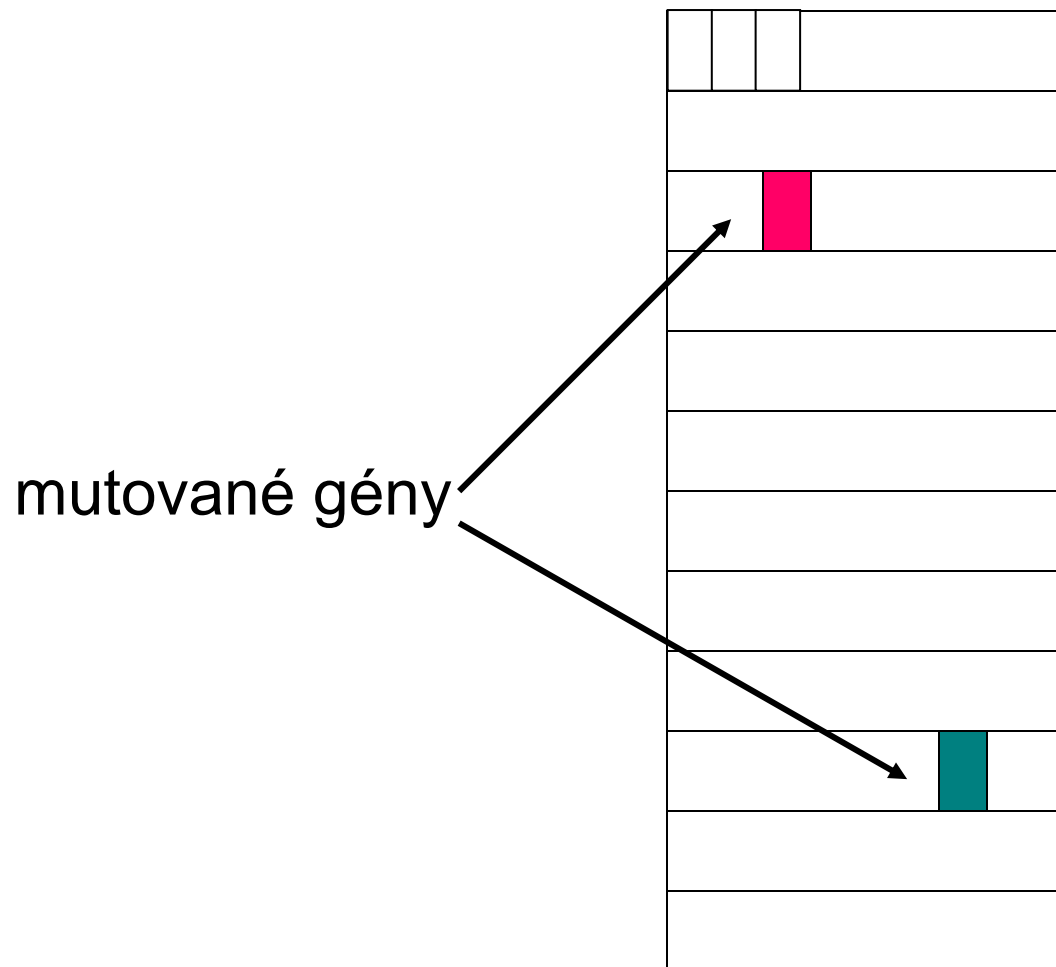
a) obyčajná m. $\rho \in (r_{i,\min} ; r_{i,\max})$
 ρ - náhodné číslo z celého dovoleného rozsahu

b) aditívna m. $\rho = r_i + \delta$
 δ - náhodné číslo zo zvoleného rozsahu

c) multiplikatívna m. $\rho = r_i * \alpha$
 α - náhodné číslo zo zvoleného rozsahu

Rozloženie pravdepodobnosti výberu mutovaného génu (pri aditívnej alebo multiplikatívnej mutácii)



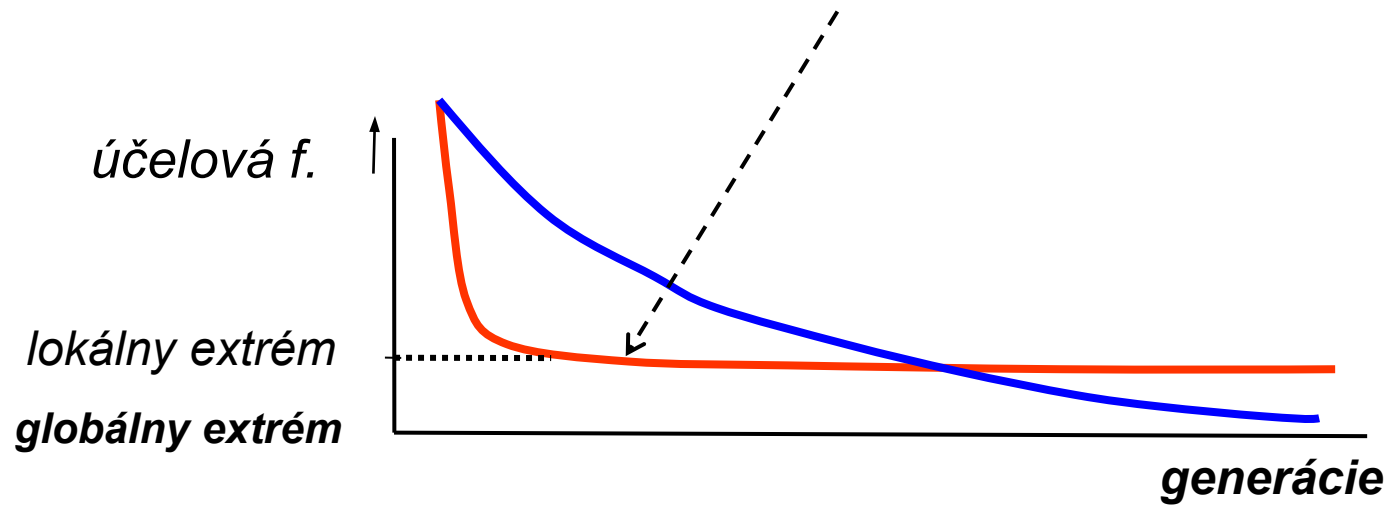


Mutácia v populácii

Selektívny tlak

- **Selektívny tlak = $P_{\text{best}}/P_{\text{mean}}$**
 P_{best} - pravdepodobnosť výberu najlepšieho jedinca
 P_{mean} - priemerná pravdepodobnosť výberu jedincov
- **je to miera konkrétneho GA (metódy výberu) uprednostňovať aktuálne lepšie jedince z populácie pred aktuálne horšími jedincami**
- **GA s vysokým selektívnym tlakom rýchlo konvergujú k najbližšiemu lokálnemu extrému a ťažko ho opúšťajú**
- **vysoký selektívny tlak vedie k homogenizácii populácie, k znižovaniu diverzity génov - “predčasná konvergencia” (všetky reťazce v populácii sú podobné)**
- **zvyšovanie sel. tlaku: elitársky výber (*selbest*) na úkor náhodného výberu (*selrand*) a turnajového výberu (*seltourn*), ruletový výber (*slesus*) má vyšší sel. tlak než *seltourn***

**Predčasná konvergencia riešenia GA
(uviaznutie riešenia v lokálnom extrém)**



Diverzita v populácii

- Diverzita, rozptyl, rôznorodosť génov
- dá sa vyjadriť pomocou euklidovskej vzdialenosti voči vzťahnému reťazcu alebo rozptylom hodnôt reťazcov (génov)
- v GA, ktorý zabezpečuje vysokú diverzitu sa v populácii neustále vytvárajú reťazce s rôznorodou genetickou informáciou
- zvýšenie diverzity - šanca opustiť lokálny extrém, nové perspektívne smery hľadania
- zvýšenie diverzity ale spomaľuje rýchlosť konvergenzie, príliš vysoká diverzita môže úplne zablokovať konvergenciu
- diverzitu zvyšuje vyššia miera mutácie, náhodný výber, resetovanie jedincov alebo časti populácie, veľkosť populácie

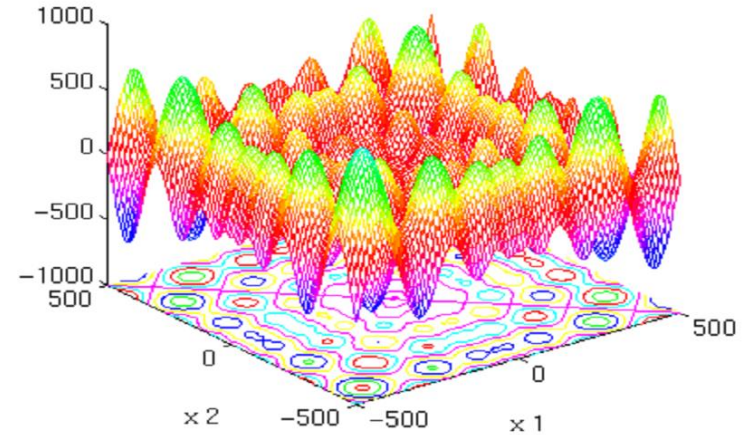
Selektívny tlak a diverzita pôsobia proti sebe

**Ich vhodným vyvážením možno docieľiť
optimálnu konvergenciu GA**

Lab. cvičenie 1:

Konfigurovanie GA

Úlohy:



1. Urobte nasledovné parametrizácie daného genetického algoritmu (GA) a vykonajte nasledovné experimenty a-e. Každý prípad a-e vykreslite viac krát (aspoň 5x) ako skupinu grafov rôznej farby. Použite schwefelovu funkciu o 10 premenných a veľkosť populácie 50 jedincov.

- a) Upravte GA tak, aby mal veľký selektívny tlak a malú diverzitu.
- b) Upravte GA tak, aby mal veľký selektívny tlak a veľkú diverzitu.
- c) Upravte GA tak, aby mal malý selektívny tlak a malú diverzitu.
- d) Upravte GA tak, aby mal malý selektívny tlak a veľkú diverzitu.
- e) Vyberte vhodne zvolený kompromis medzi a-d.

2. S variantom e urobte nasledovné úpravy a grafy e-i opäť zdokumentujte v inom obrázku:

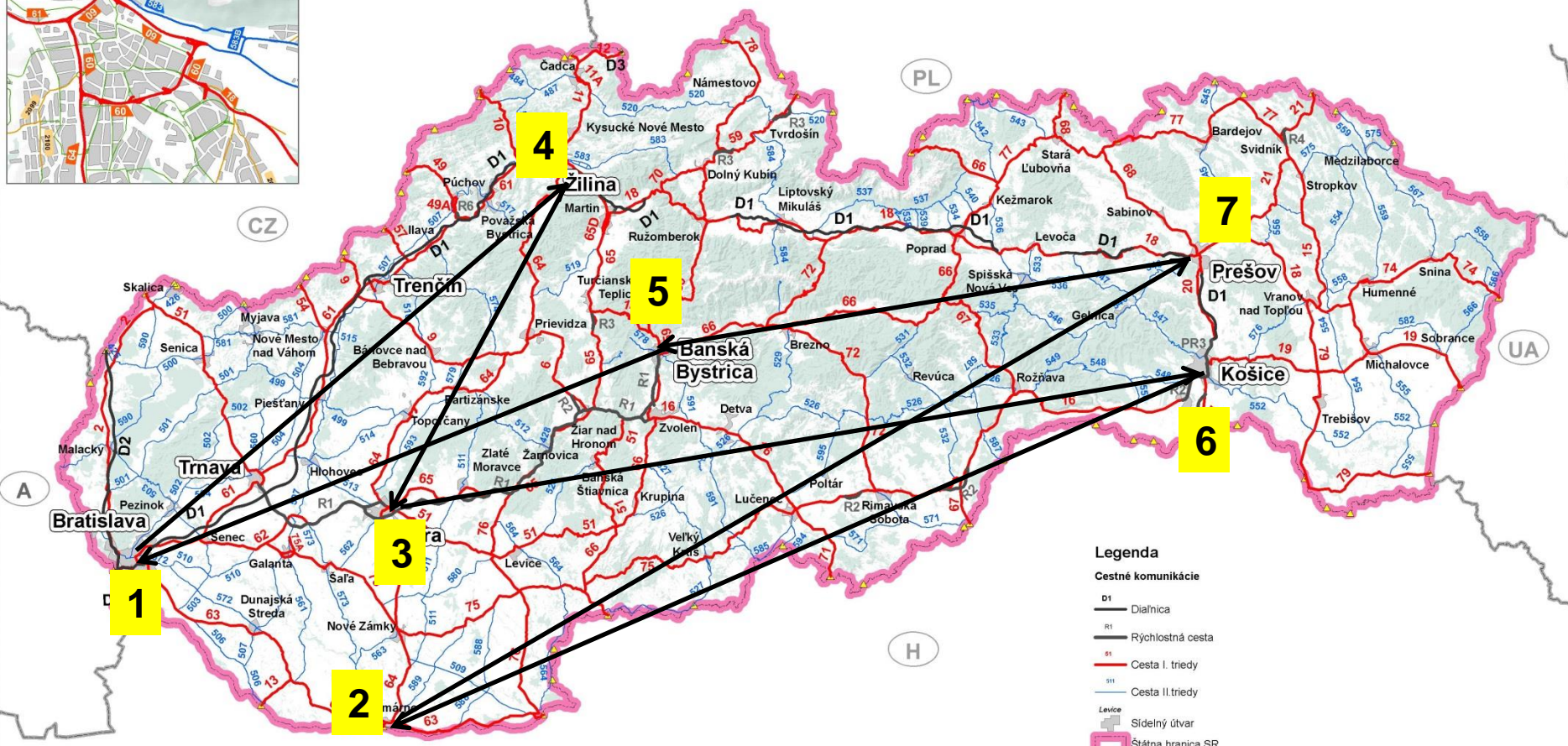
- f) Zablokujte iba kríženie v GA.**
- g) Zablokujte iba globálnu mutáciu (mutx).**
- h) Zablokujte iba lokálnu mutáciu v GA (muta).**
- i) Zablokujte obe mutácie, kríženie nie.**

Všetky obrázky si priebežne ukladajte (*.fig) a potom prezentujte cvičiacemu. Urobte diskusiu získaných experimentov.

1.2 Úlohy typu optimálne triedenie, optimálne poradie (permutačné kódovanie reťazcov v GA)

Každý prvok reťazca (gén) sa musí v reťazci nachádzať práve raz. Hľadáme optimálne poradie prvkov.

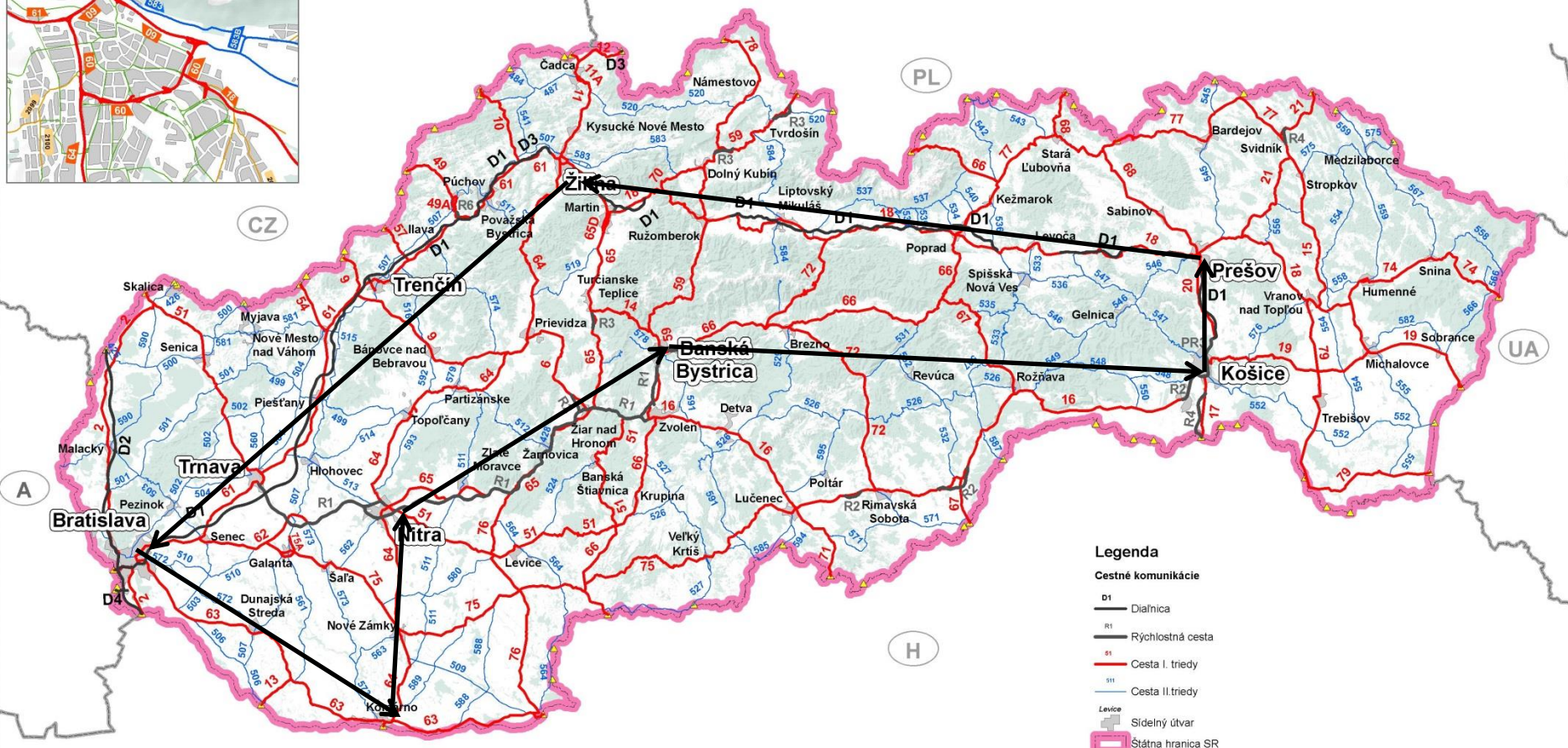
Stav siete cestných komunikácií k 1.8.2015



Možná dráha medzi zákazníkmi - 1

1:1 100 000

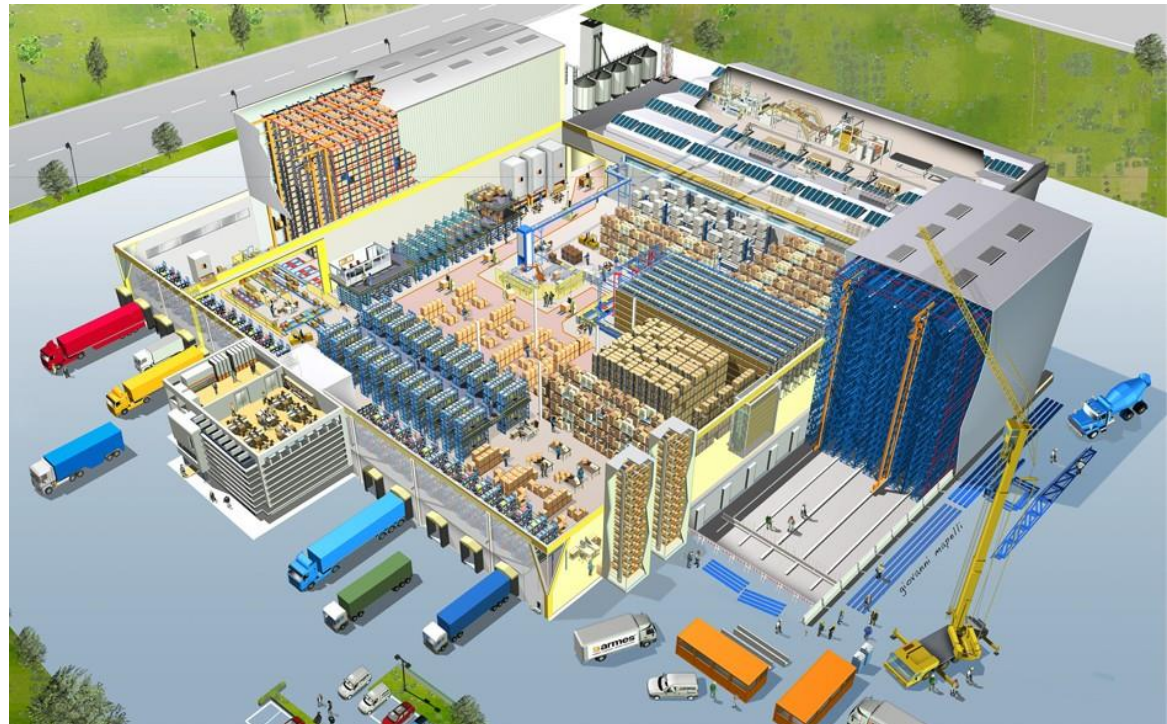
Stav siete cestných komunikácií k 1.8.2015




Možná dráha medzi zákazníkmi - 2

1:1 100 000

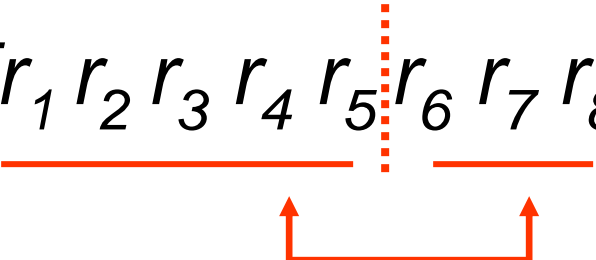
Skladová logistika




Mutácia – výmena poradia dvoch génov

$$R=[r_1 r_2 r_3 r_4 r_5 r_6 r_7 r_8] \rightarrow R=[r_1 \textcolor{red}{r_5} r_3 r_4 \textcolor{red}{r_2} r_6 r_7 r_8]$$


Mutácia - prelomenie reťazca

$$R=[r_1 r_2 r_3 r_4 r_5 | r_6 r_7 r_8] \rightarrow R=[\textcolor{red}{r_6} \textcolor{red}{r_7} \textcolor{red}{r_8} r_1 r_2 r_3 r_4 r_5]$$


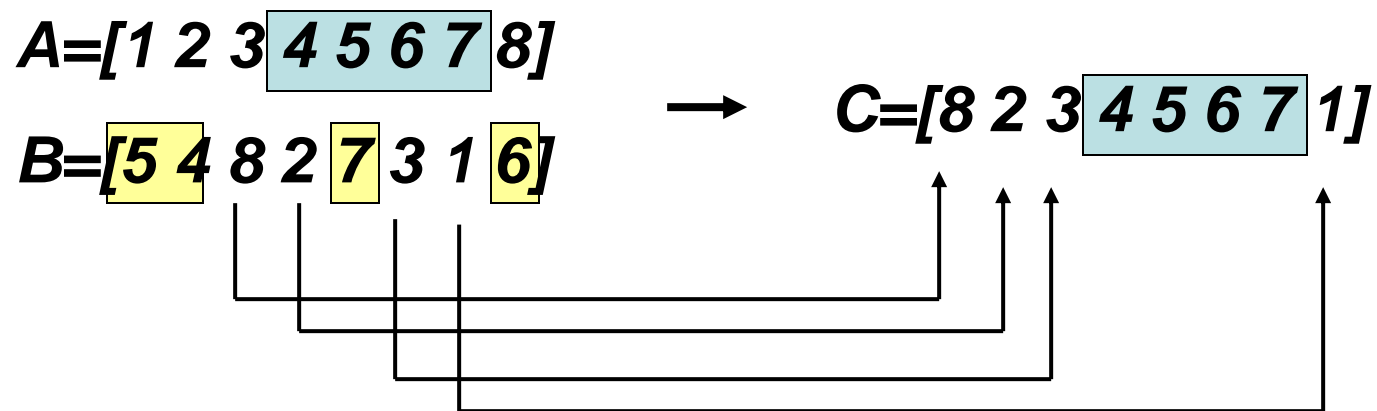
Mutácia - výmena subreťazcov

$$R=[r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4 \ r_5 \ r_6 \ r_7 \ r_8] \rightarrow R=[r_1 \ r_6 \ r_7 \ r_8 \ r_4 \ r_5 \ r_2 \ r_3]$$


Mutácia – inverzia poradia v subreťazci

$$R=[r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4 \ r_5 \ r_6 \ r_7 \ r_8] \rightarrow R=[r_1 \ r_2 \ r_6 \ r_5 \ r_4 \ r_3 \ r_7 \ r_8]$$

Permutačné kríženie



1.3 Riešenie optimalizačných úloh s ohraničeniami



Príklad úlohy s obmedzeniami

Alokácia investícií

- Firma chce investovať 10 miliónov Euro do bežných akcií, do preferovaných akcií, do podnikových dlhopisov, do štátnych dlhopisov a do úspor v banke.
- Odhadované ročné výnosy v jednotlivých prípadoch sú uvedené v tabuľke.
- Celková suma investícií do akcií nemá byť väčšia než 2.5 milióna.
- Investície do štátnych dlhopisov nemajú byť menšie než úspory v banke.
- Suma investícií do dlhopisov nemá presiahnuť polovicu všetkých investovaných prostriedkov.

Druh investície	Odhad výnosu	Veľkosť investície
Bežné akcie	4 %	x_1
Preferované akcie	7 %	x_2
Podnikové dlhopisy	11 %	x_3
Štátne dlhopisy	6 %	x_4
Úspory v banke	5 %	x_5

Formulácia optimalizačných úloh s ohraničeniami

Účelová f. : $f: D \rightarrow R^1$ $D \subset R^n$

Definičný obor

$f(x^*) = \min f(x)$ x^* - optimálne (minimálne) riešenie

$$x \in R^n \quad x_{i,\min} \leq x_i \leq x_{i,\max} \quad i=1,2,\dots,n$$

Ohraničenia :

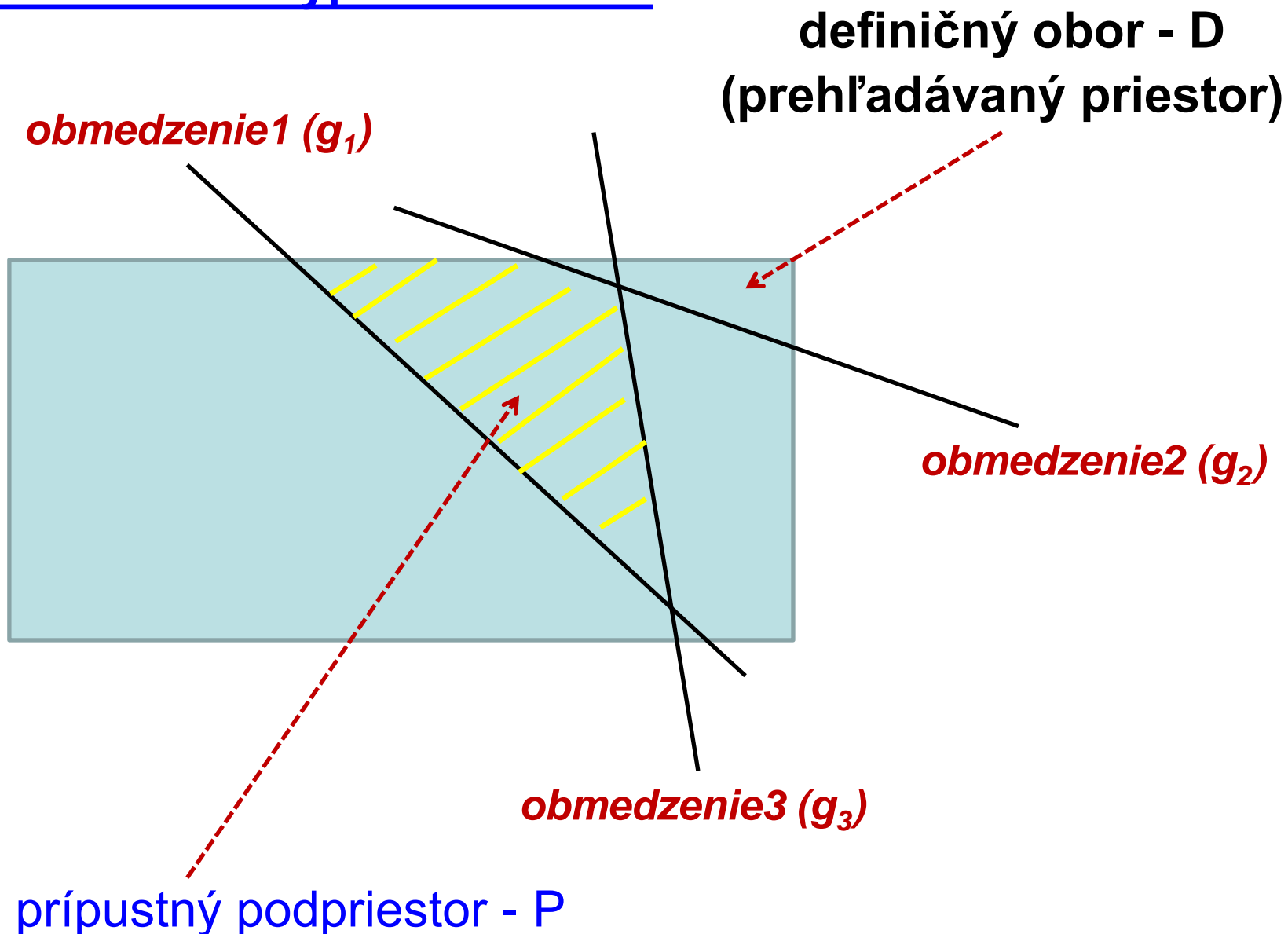
$$g_i(x) \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m$$

$$h_j(x) = 0 \quad i=1,2,\dots,r$$


$$P \subset D$$

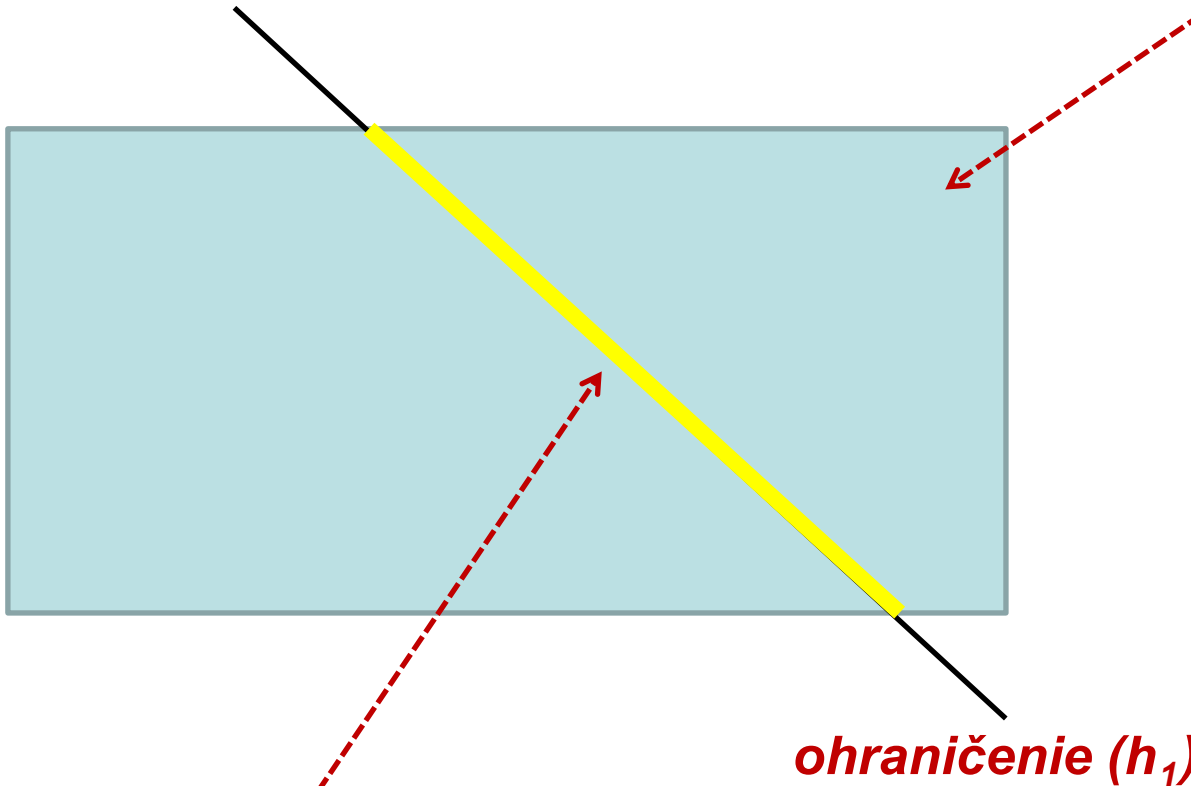
**Prípustný priestor
defininičného oboru**

Ohraničenie typu nerovnosť



Ohraničenie typu rovnosť

definičný obor - D
(prehľadávaný priestor)



prípustný podpriestor - P

Príklad úlohy s obmedzeniami

Alokácia investícií

- Firma chce investovať 10 miliónov Euro do bežných akcií, do preferovaných akcií, do podnikových dlhopisov, do štátnych dlhopisov a do úspor v banke.
- Odhadované ročné výnosy v jednotlivých prípadoch sú uvedené v tabuľke.
- Celková suma investícií do akcií nemá byť väčšia než 2.5 milióna.
- Investície do štátnych dlhopisov nemajú byť menšie než úspory v banke.
- Suma investícií do dlhopisov nemá presiahnuť polovicu všetkých investovaných prostriedkov.

Druh investície	Odhad výnosu	Veľkosť investície
Bežné akcie	4 %	x_1
Preferované akcie	7 %	x_2
Podnikové dlhopisy	11 %	x_3
Štátne dlhopisy	6 %	x_4
Úspory v banke	5 %	x_5

Matematická formulácia úlohy

$$J(x) = 0.04x_1 + 0.07x_2 + 0.11x_3 + 0.06x_4 + 0.05x_5 \rightarrow \max$$

$$P_1 : x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 10000000$$

$$P_2 : x_1 + x_2 \leq 2500000$$

$$P_3 : -x_4 + x_5 \leq 0$$

$$P_4 : -0.5x_1 - 0.5x_2 + 0.5x_3 + 0.5x_4 - 0.5x_5 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

Reťazec: $r=[x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]$

Účelová funkcia: $J(x) \rightarrow \max$

Optimálne riešenie úlohy je:

$$x_1^*=0, x_2^*=2500000, x_3^*=2500000, x_4^*=2500000, x_5^*=2500000$$

a hodnota účelovej funkcie je $J(x)^*=725000$.

Metódy používajúce pokutové funkcie

$$F(x) = f(x) + pokuta(x)$$

$$pokuta(x) = 0 \text{ ak } x \in P$$

$$pokuta(x) \neq 0 \text{ ak } x \notin P$$

alebo

$$F(x) = f(x) \text{ ak } x \in P$$

$$F(x) = pokuta(x) \text{ ak } x \notin P$$

1.3.1 Mŕtva pokuta ("death penalty")

$$pokuta(x) = +\infty \quad \text{resp.} \quad pokuta(x) = -\infty$$

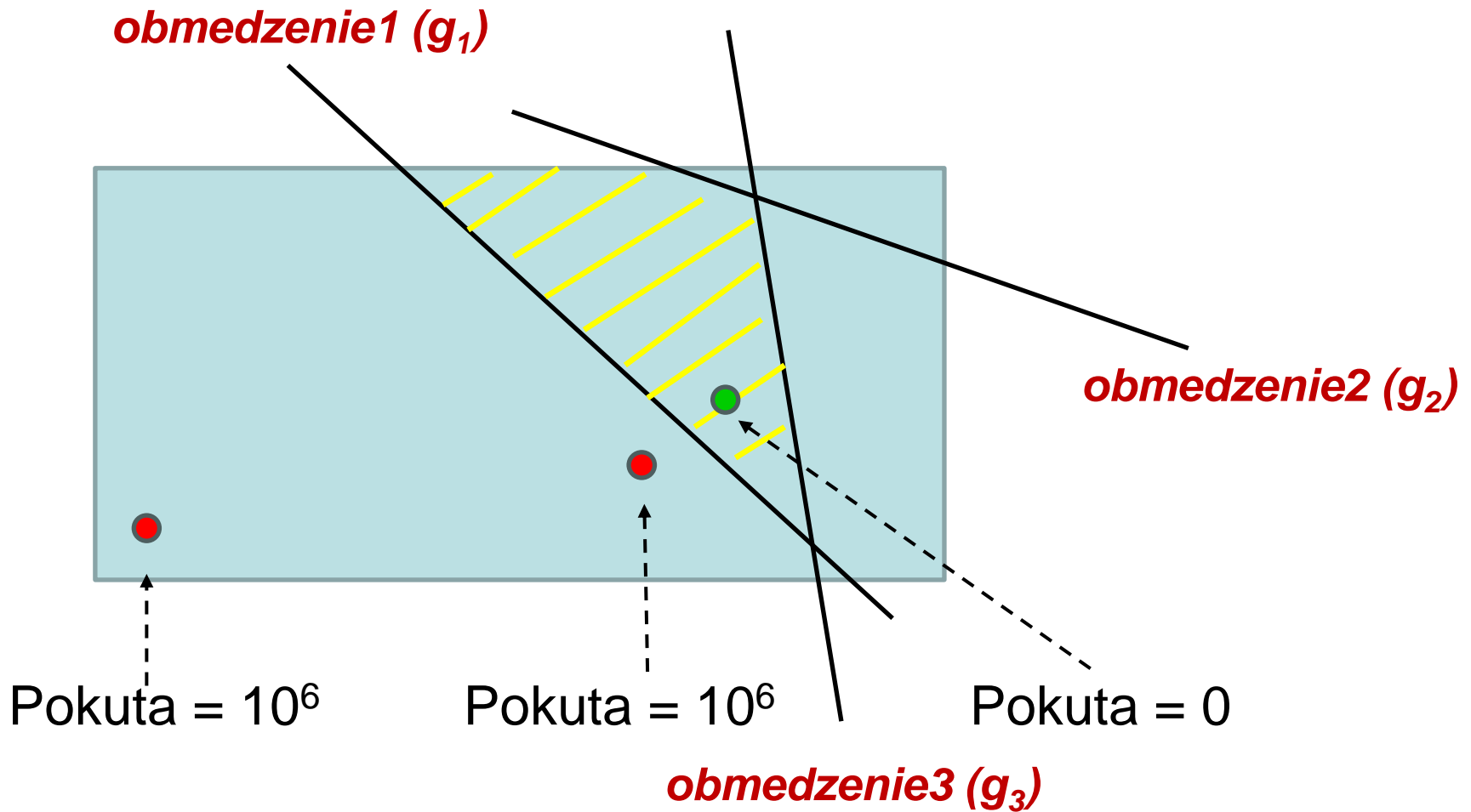
alebo

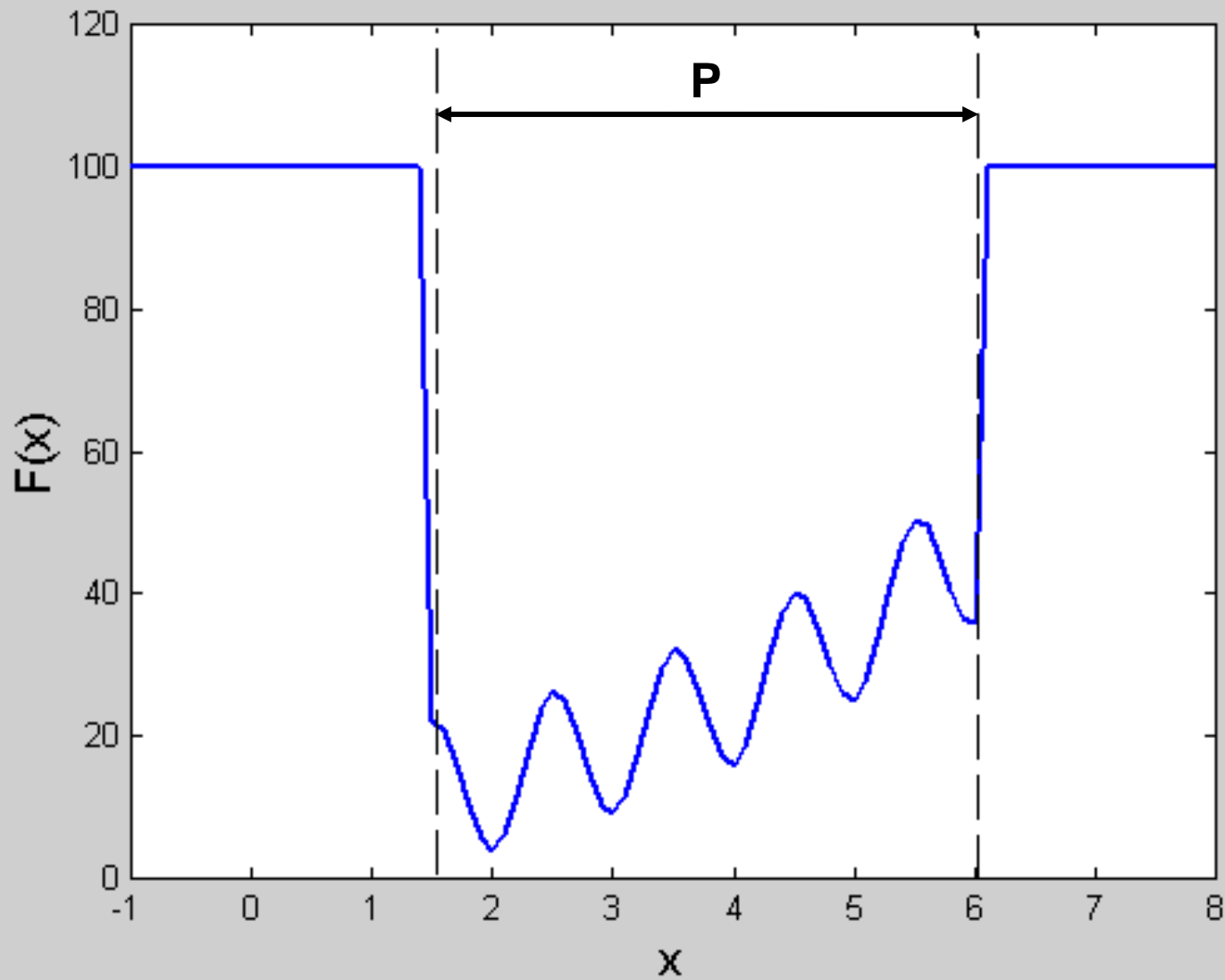
$$pokuta(x) = \sigma; \quad \sigma > 0 \quad \text{pri minimalizácii}$$

$$\sigma < 0 \quad \text{pri maximalizácii}$$

$|\sigma|$ - dostatočne veľká hodnota

Mřtva pokuta





$$F(x)=f(x); x \in P , \quad F(x)=100; x \notin P$$

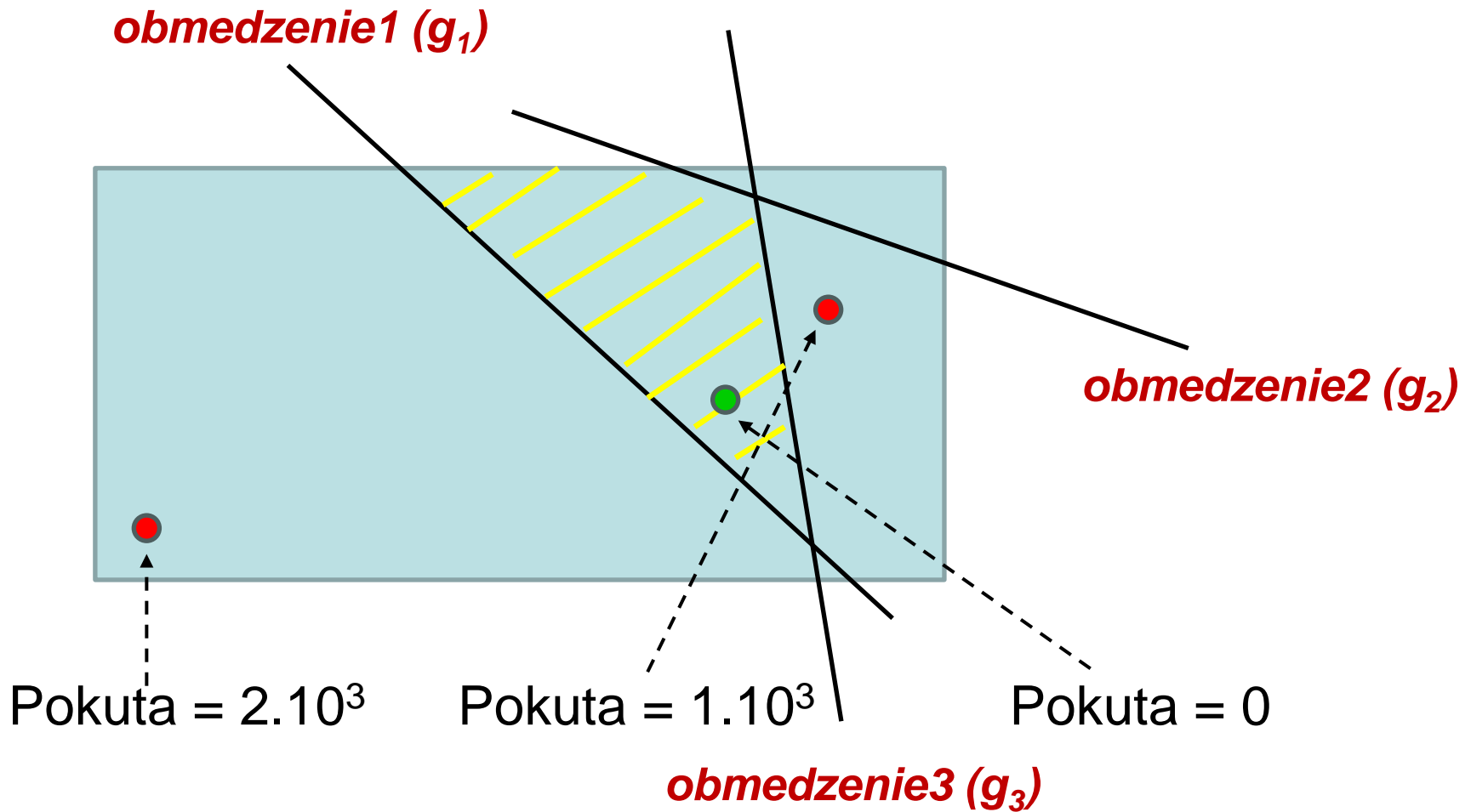
1.3.2 Stupňová pokuta

$$pokuta(x) = \sigma \cdot p \quad \text{resp.} \quad pokuta(x) = p^\sigma$$

σ je počet nesplněných obmedzení

p je dostatočně velká pokutová konstanta
(napr. 10, 100, 1 000 000 ...)

Stupňová pokuta



1.3.3 Pokuta úmerná miere porušenia obmedzení

$$pokuta(x) = \sum_{k=1}^{(m+r)} (a_k + c_k \mu_k^b(x))$$

m - počet obmedzení typu nerovnosť

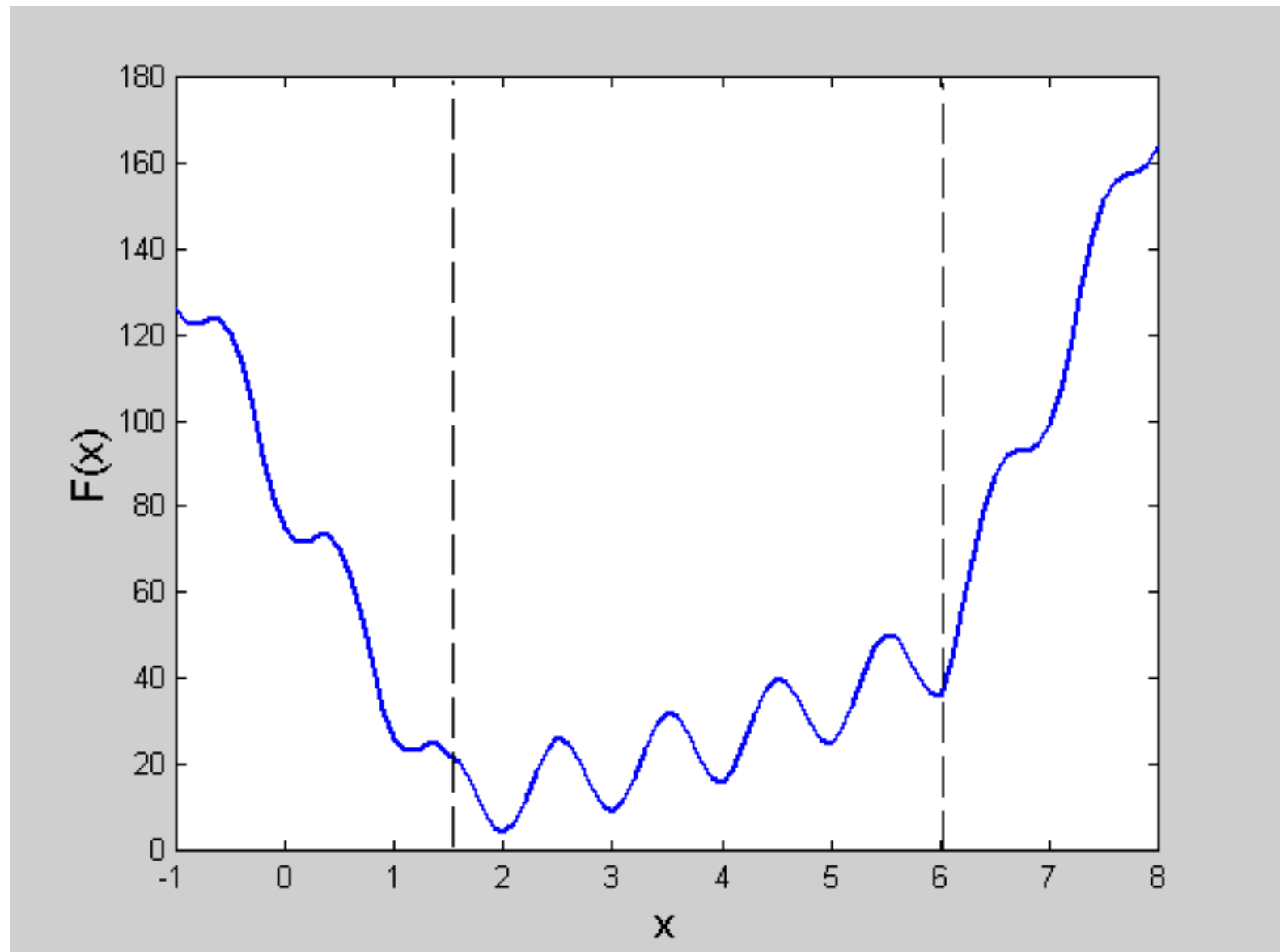
r - počet obmedzení typu rovnosť

a, b, c - konštanty, z ktorých a môže byť 0,
b alebo c často býva =1

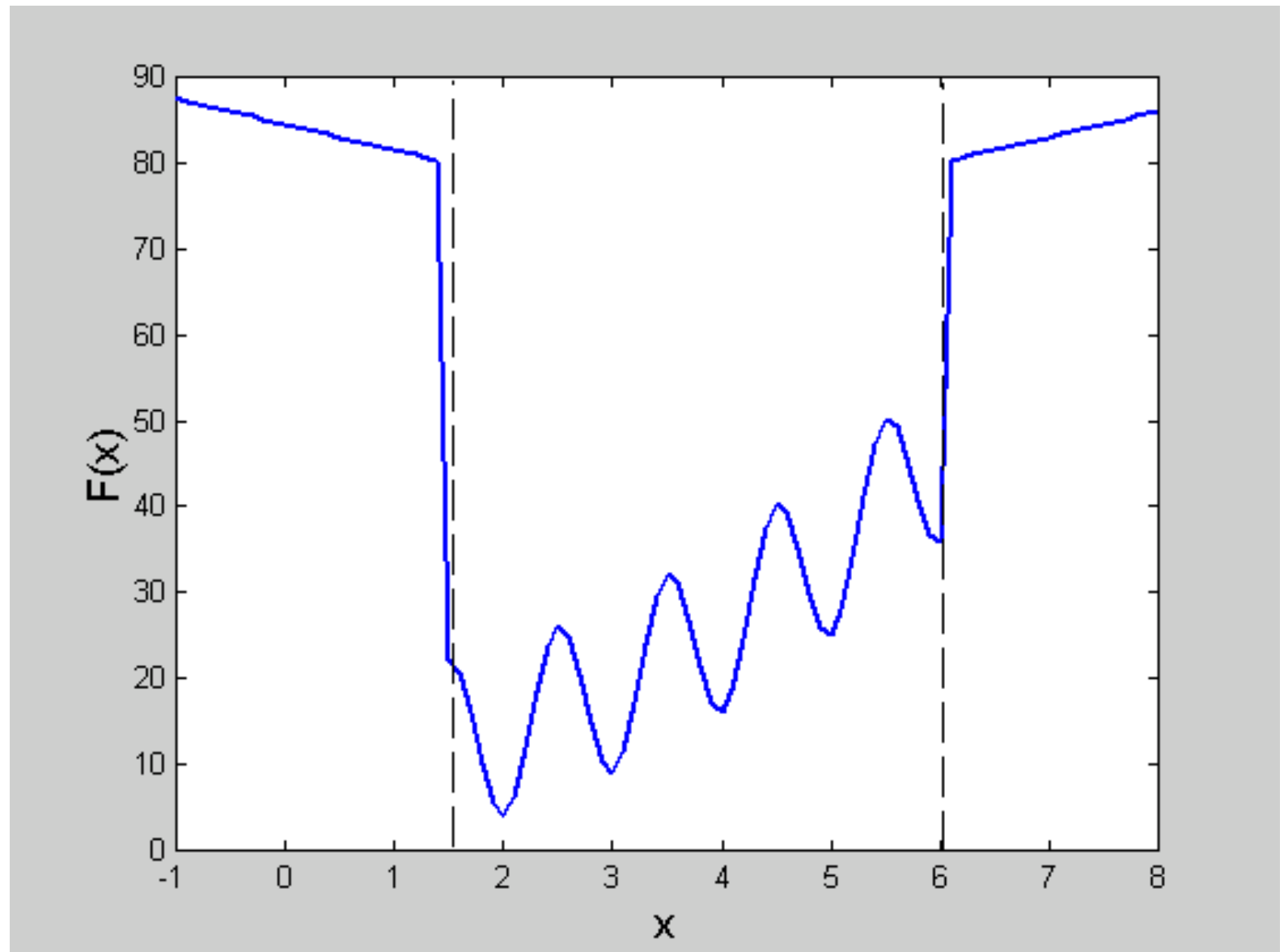
$\mu_k(x)$ - miera porušenia k-teho obmedzenia typu nerovnosť
resp. rovnosť (vzdialenosť od prípustnej oblasti)

$$\mu_k(x) = -g_k(x) \quad \text{ak} \quad g_k(x) < 0 \quad k=1,2,\dots,m$$

$$\mu_k(x) = |h_k(x)| \quad \text{ak} \quad h_k(x) \neq 0 \quad k=(m+1),\dots,(m+r)$$



$$F(x)=f(x); x \in P \quad , \quad F(x)=f(x)+c.g_k(x); x \notin P$$



$$F(x)=f(x); x \in P \quad , \quad F(x)= 80+c.g_k(x); x \notin P \quad 62$$

Pokuta úmerná miere porušenia obmedzení (spojitá pokuta)

