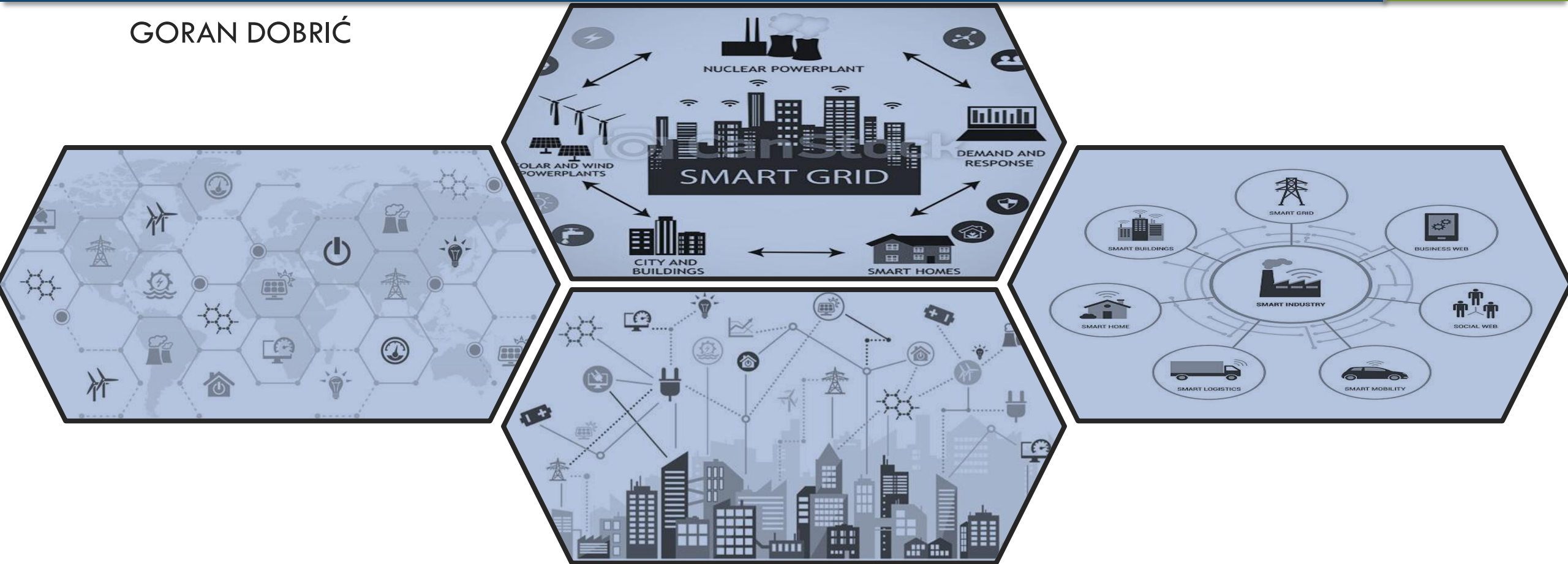


# INTELIGENTNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE



ETF  
BEOGRAD

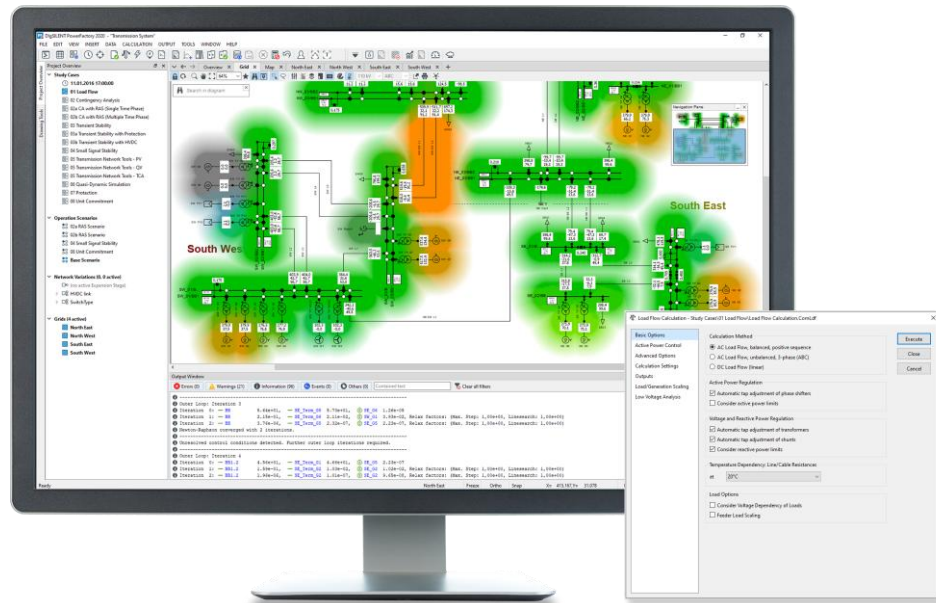
GORAN DOBRIĆ



# Sadržaj predmeta



- Inteligentne mreže (IEM) – Smart Grid (SG)
- Osnovni alati u IEM
- Distribuirani resursi
- Uloga potrošača u IEM
- Merne strukture u IEM
- Komunikacija u IEM
- Sigurnost i bezbednost IEM
- Ekonomija i tržište u IEM
- Inteligentne mikromreže



- Tokovi snaga
- Angažovanje agregata
- Ekonomski dispečing



- Optimizacija
- Neuralne mreže
- Veštačka inteligencija



## Proračuni u EES vezani za normalne radne režime sistema

Tokovi snaga (LF)

- Proračun radnog stanja mreže (naponi u uglovi)

Angažovanje agregata (UC)

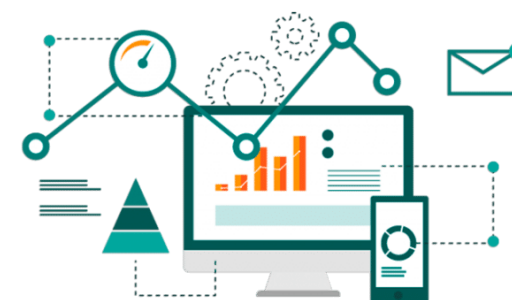
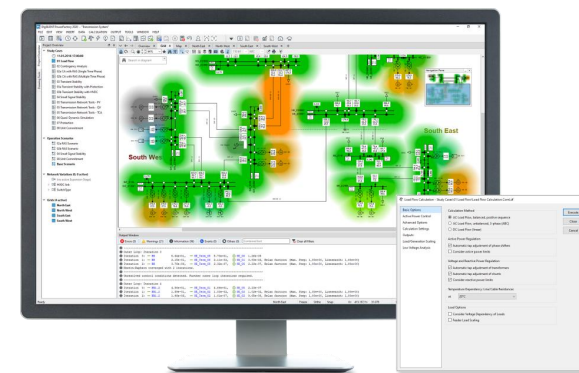
- Određivanje generatorskih jedinica koje su u pogonu (uključenje-isključenje)

Ekonomski dispečing (ED)

- Raspodela snage između agregata uz uvažavanje ograničenja. U osnovnom obliku ne uvažava mrežu.

Optimalni tokovi snaga (OPF)

- Tokovi snaga + ekonomski dispečing, uvažavanje gubitaka i ograničenja mreže



Dodatni proračuni: kratki spojevi, stabilnost, sigurnost, estimacija stanja, ...



## Različiti matematički alati su široko rasprostranjeni u inteligentnim mrežama

### Optimizacija

- Konvencionalne metode
- Napredne metode (GA, PSO, ACO, ...)

### Prognoza

- Konvencionalne metode
- Napredne metode (ANN) – Veštačke neuralne mreže

### Donošenje odluka

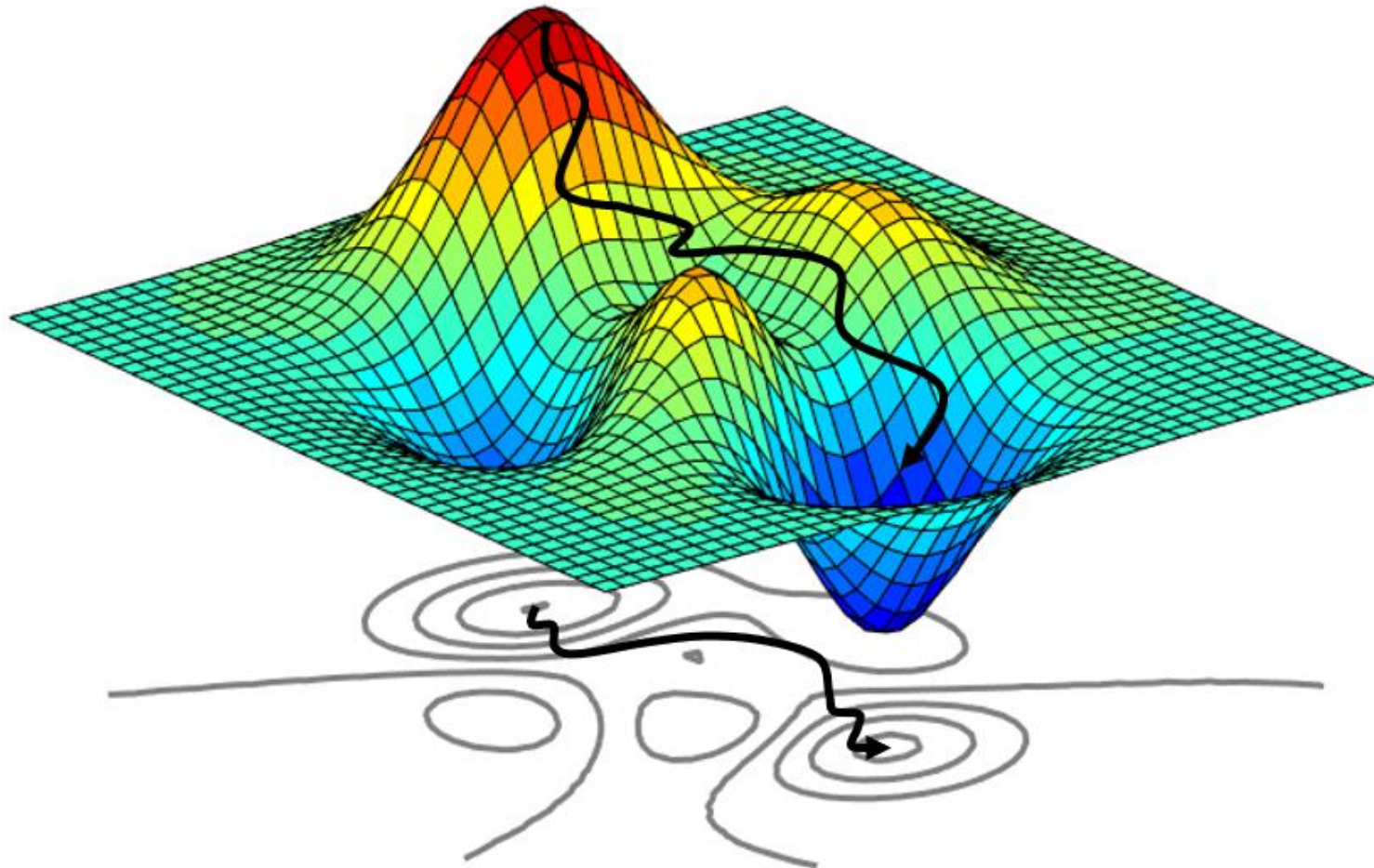
- Konvencionalne metode
- Napredne metode (ANN, FL) – Veštačke neuralne mreže, Fuzzy logika

### Uvažavanje neizvesnosti

- Konvencionalne metode
- Napredne metode (FL) – Fuzzy logika

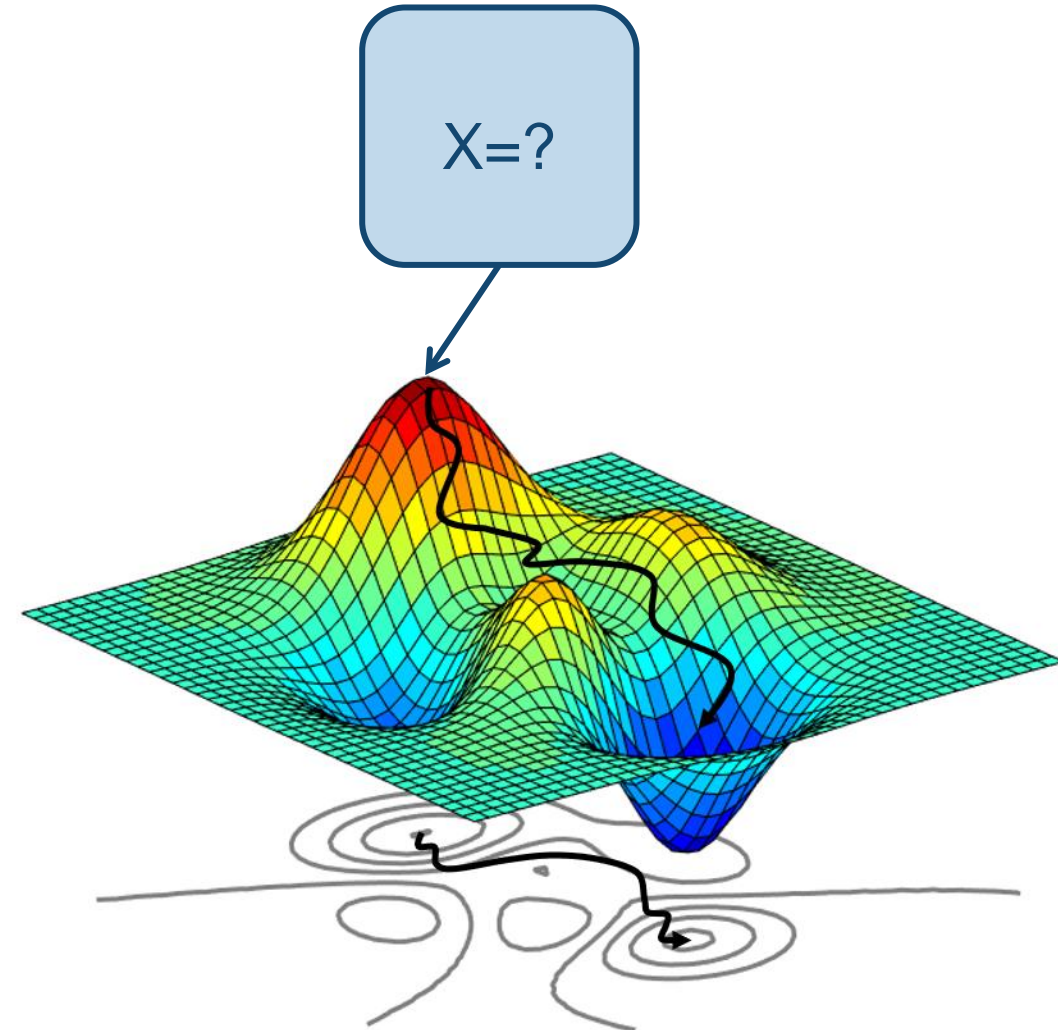


# Optimizacija



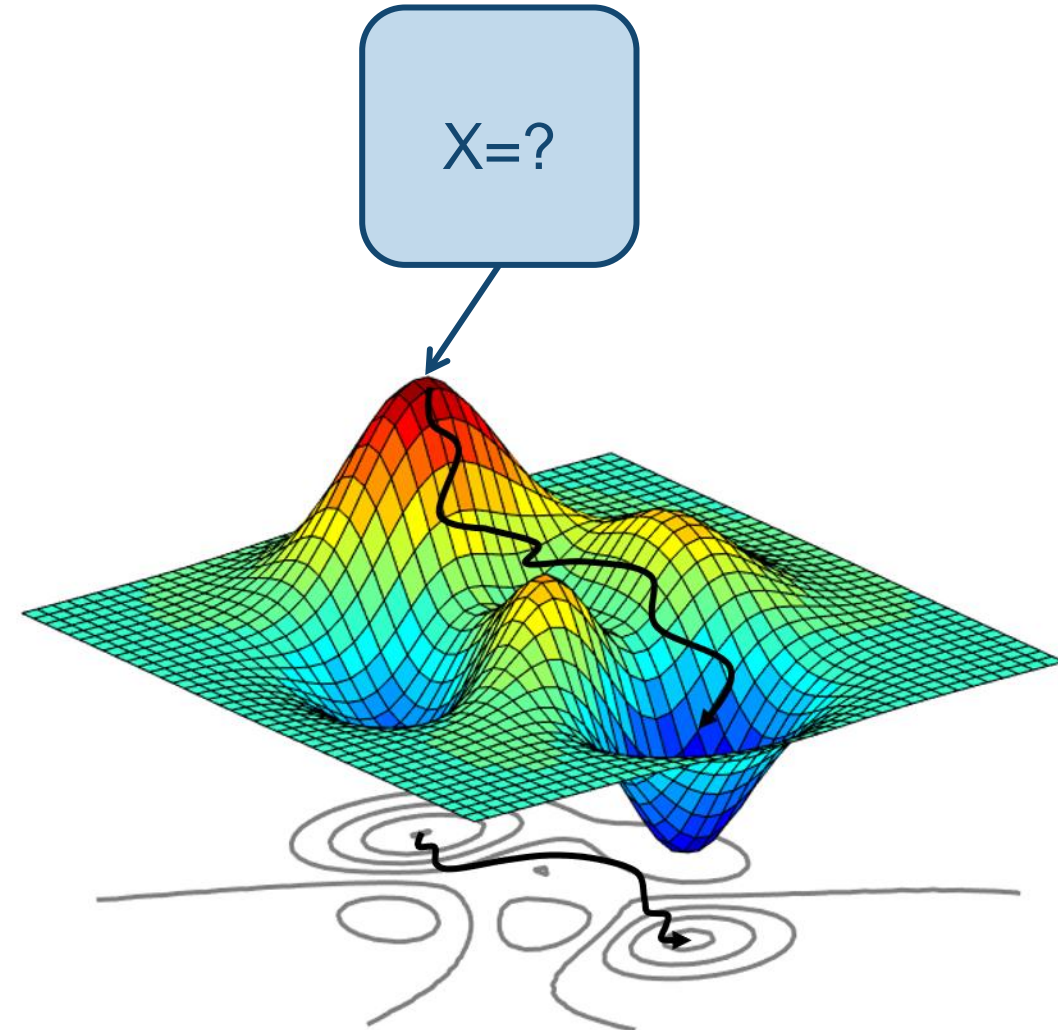
## Pronalaženje najboljeg mogućeg rešenja

- Kriterijumska funkcija (OF)
- Promenljive veličine (x)
- Pronaći minimum ili maksimum OF(x)

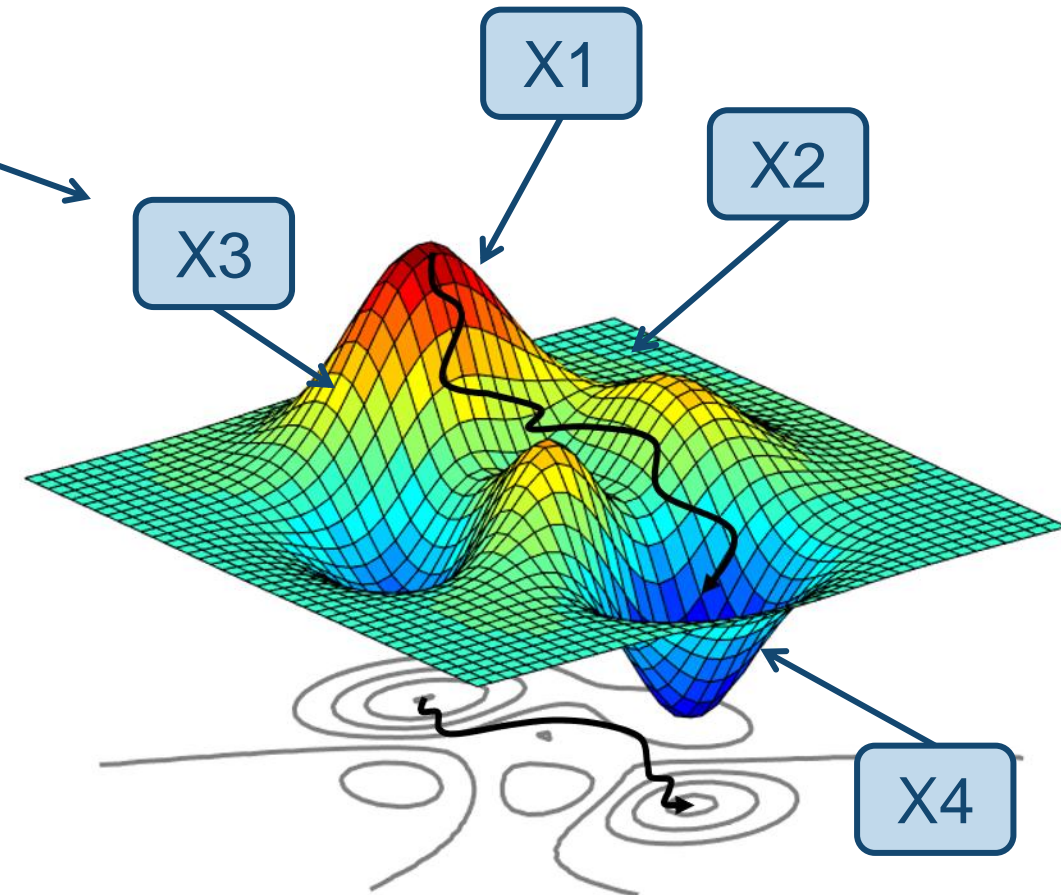
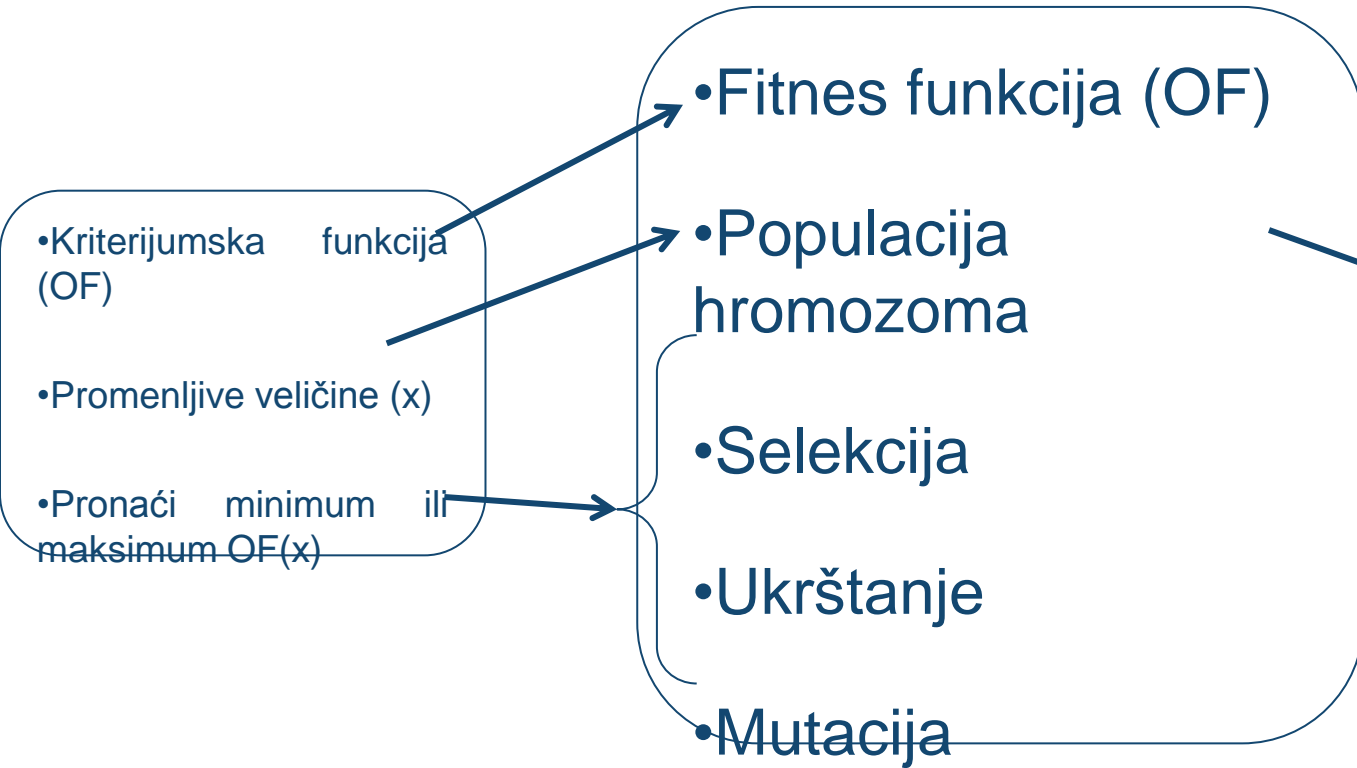


## Pronalaženje najboljeg mogućeg rešenja

- GA pripada evolutivnim algoritmima
- Pogodni za rešavanje nekontinualnih, nelinearnih, nediferencijabilnih problema.
- GA simulira biološke procese



## Osnovne komponente GA





## Osnovne komponente GA

- Fitnes funkcija (OF)

- **Populacija hromozoma**

- Selekcija

- Ukrštanje

- Mutacija

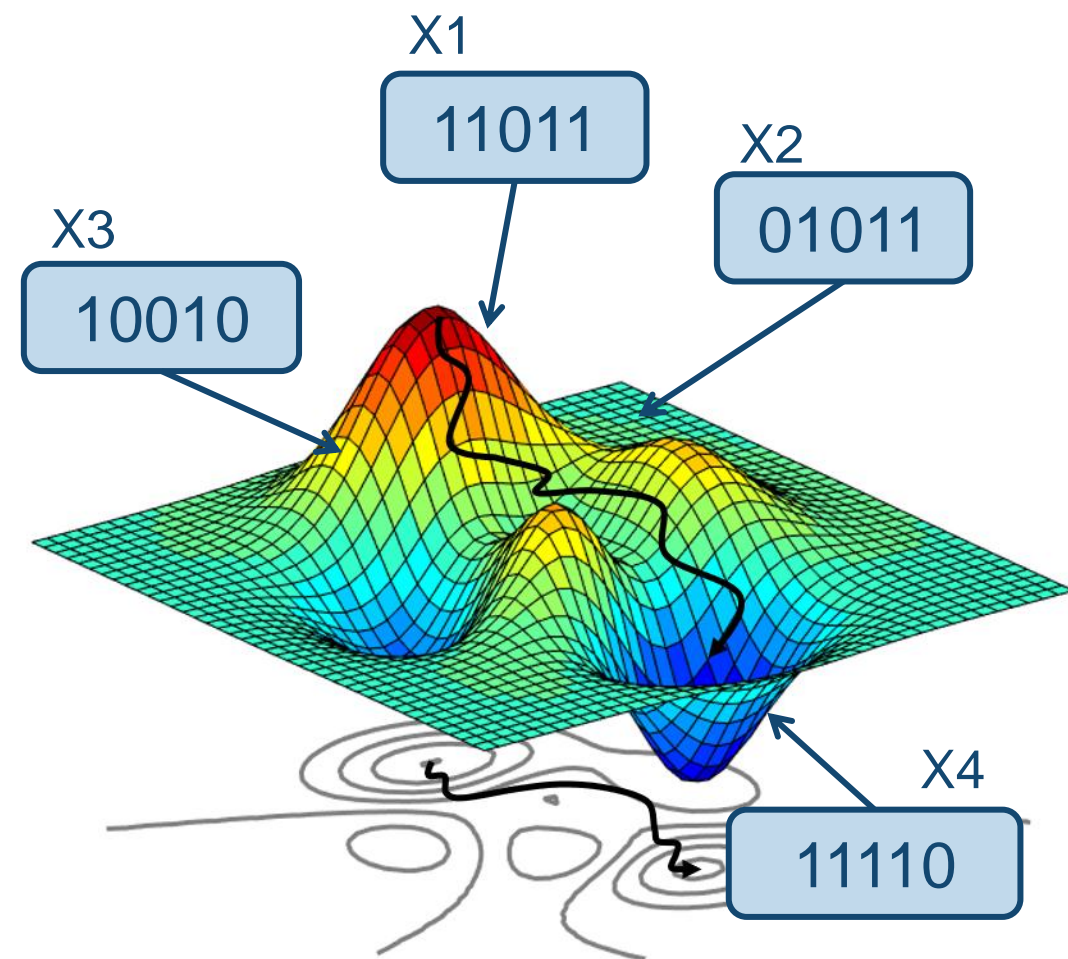
- Hromozom može biti modelovan na više načina:

  - Binarno
  - Dekadno

- Populacija obuhvata sve hromozome:

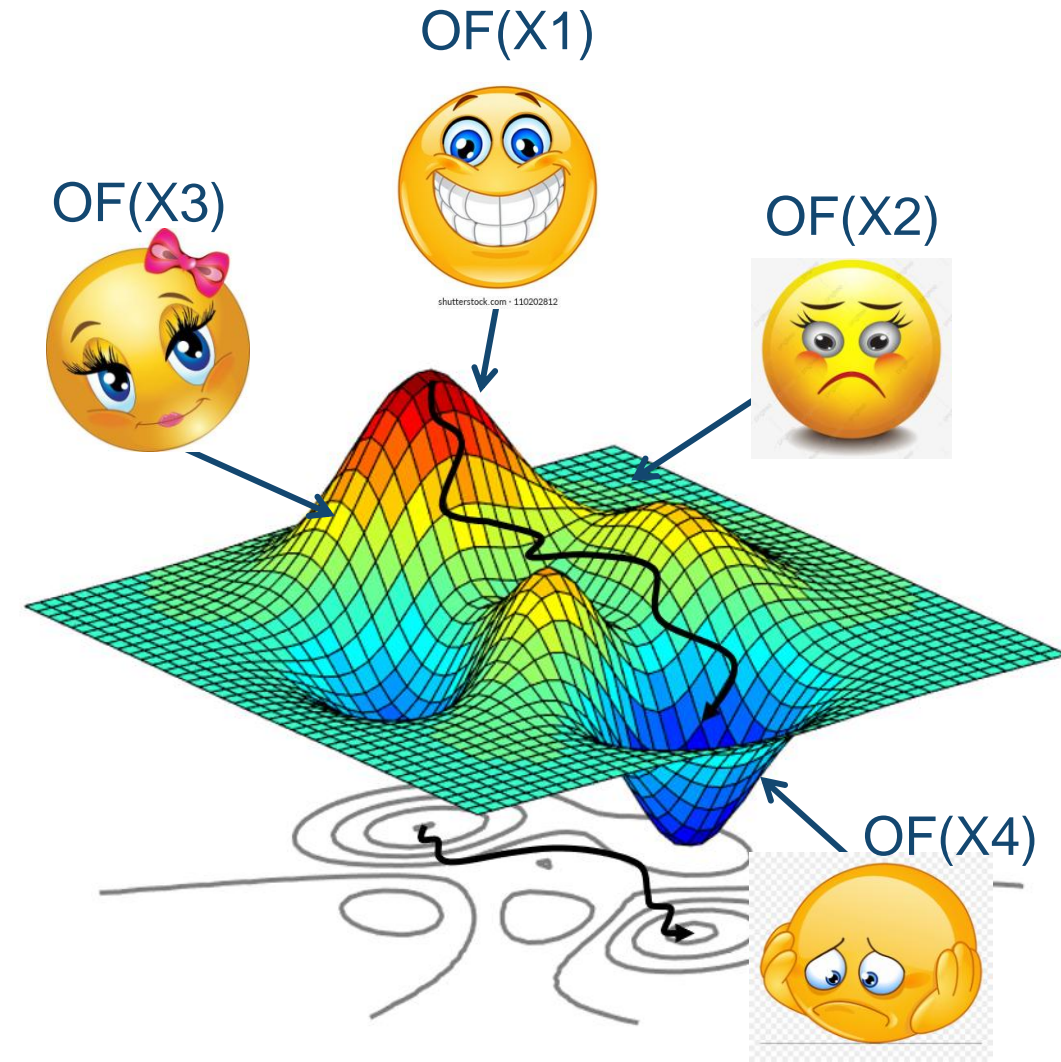
  - 11011
  - 01011
  - 10010
  - 11110

- Funkcija više promenljivih?



## Osnovne komponente GA

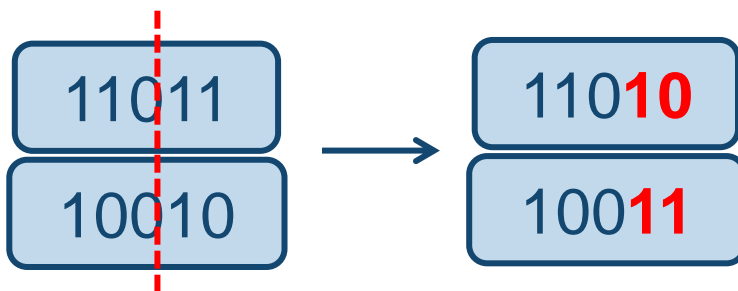
- Fitnes funkcija (OF)
  - Populacija hromozoma
  - Selekcija**
  - Ukrštanje
  - Mutacija
- Određivanje verovatnoće izbora hromozoma na osnovu Fitnes funkcije
  - Što bolja fitnes funkcija, veća verovatnoća izbora tog hromozoma



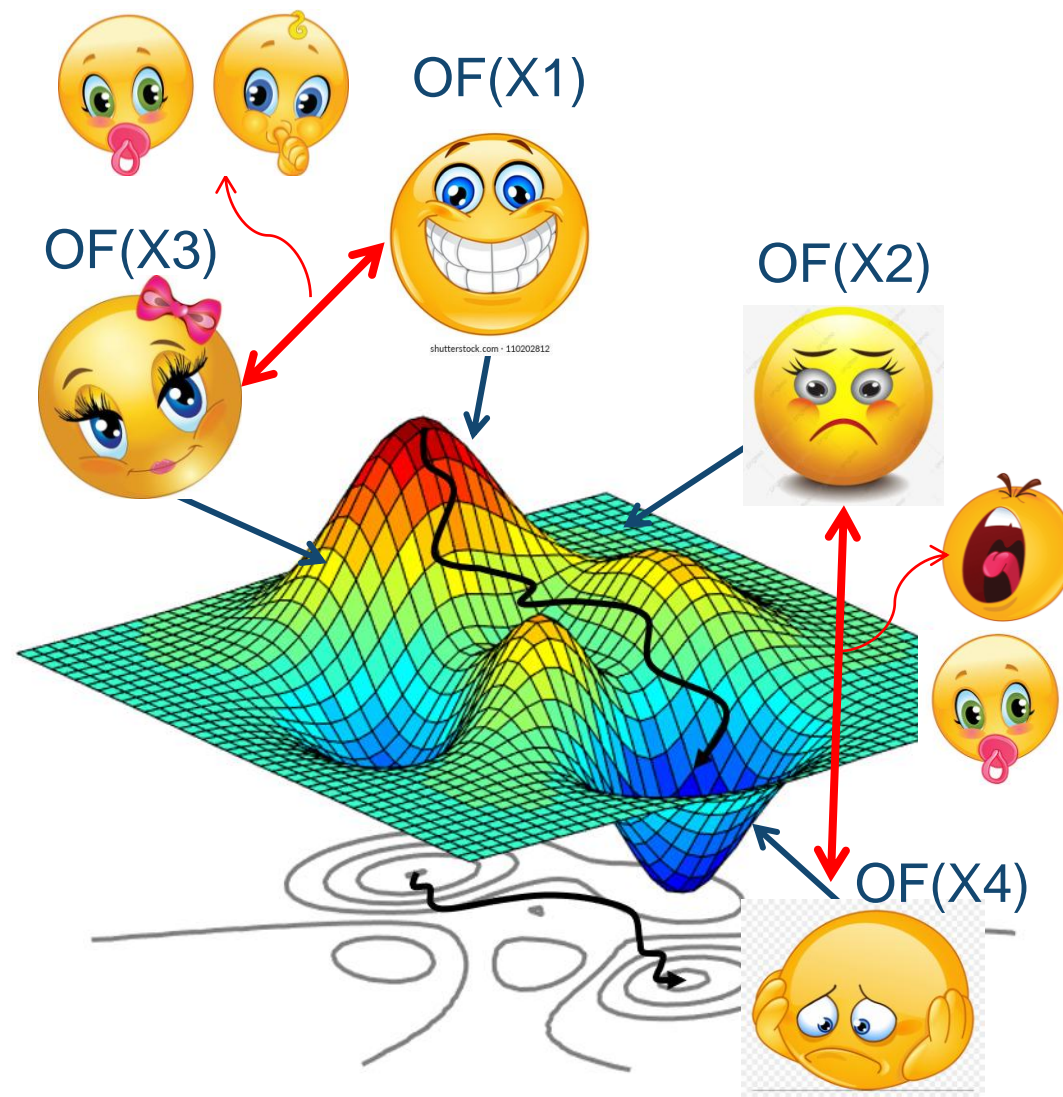
## Osnovne komponente GA

- Fitnes funkcija (OF)
- Populacija hromozoma
- Selekcija
- Ukrštanje**
- Mutacija

- Formiranje novih rešenja kombinacijom dva rešenja iz prethodne populacije
- Ukrštnje se obično dešava sa velikom verovatnoćom (80%)



X31, X13 – nova rešenja



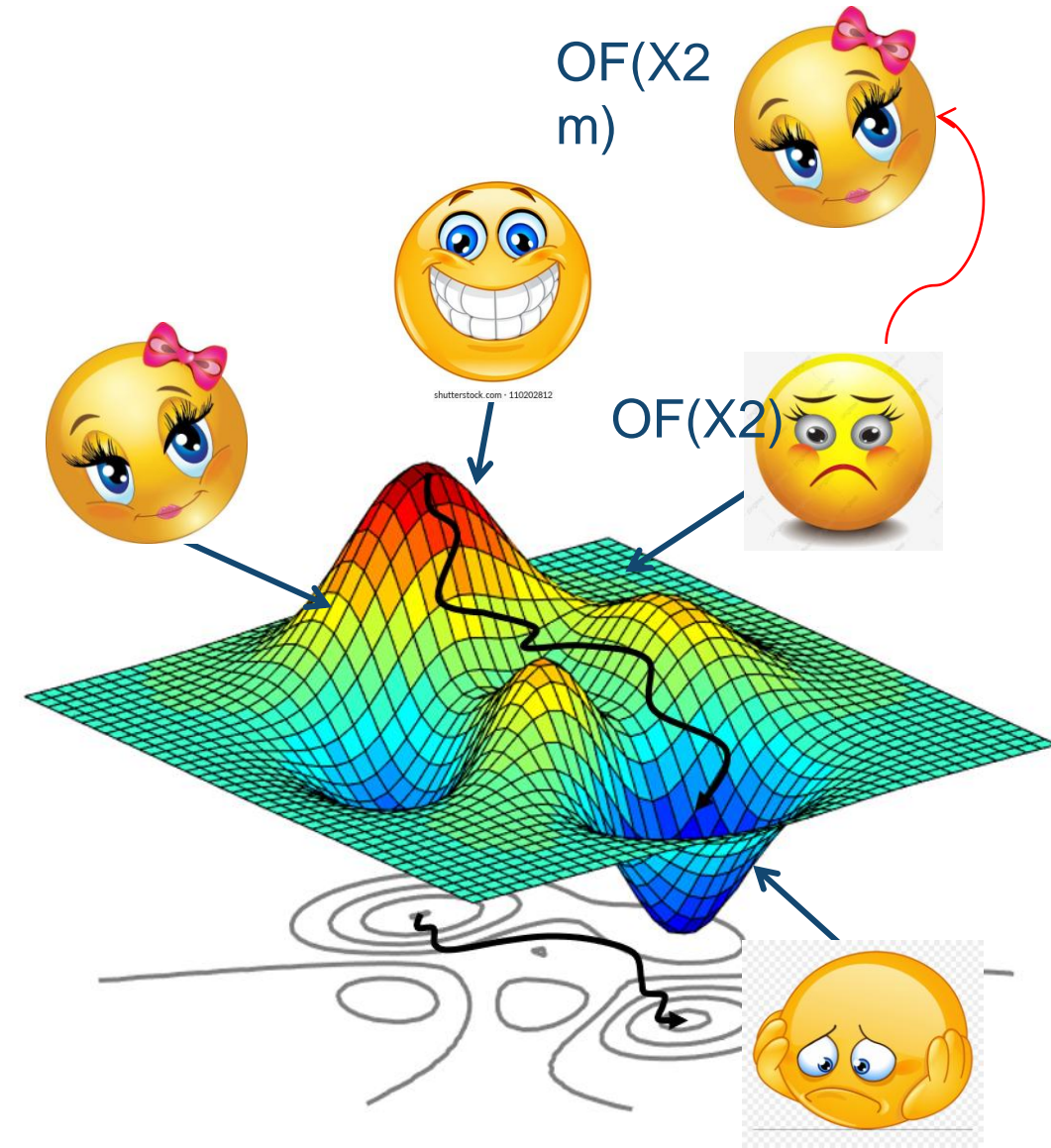
## Osnovne komponente GA

- Fitnes funkcija (OF)
  - Populacija hromozoma
  - Selekcija
  - Ukrštanje
  - Mutacija**
- Mutacija se dešava na individualnom hromozomu
  - Mutacija se obično dešava sa malom verovatnoćom (2-3%)

01011



01**1**11





## Primer (naći maksimum)

Figure 1: Graph of  $f(x) = \frac{-x^2}{10} + 3x$

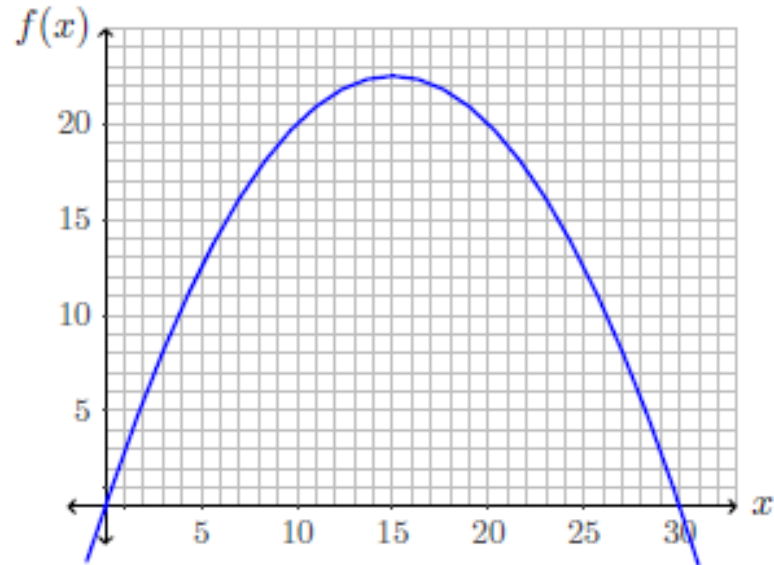


Table 1: Initial Population

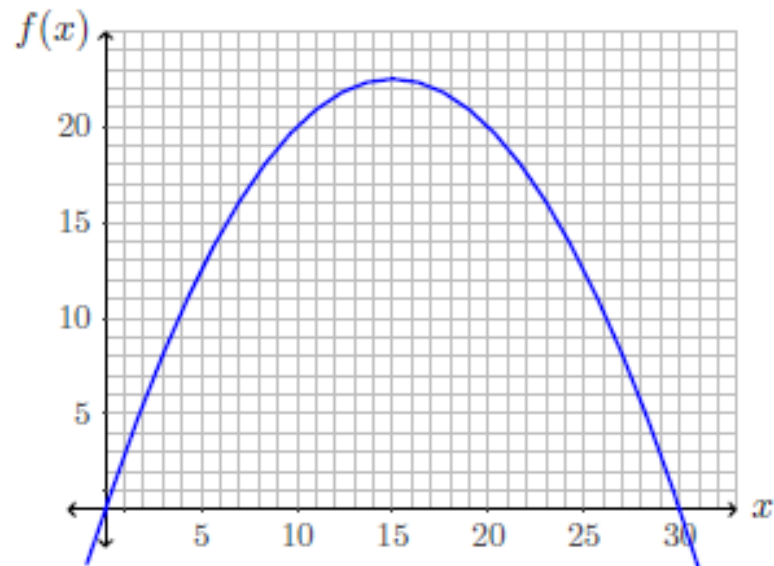
Chromosome Number	Initial Population	$x$ Value	Fitness Value $f(x)$
1	01011	11	20.9
2	11010	26	10.4
3	00010	2	5.6
4	01110	14	22.4
5	01100	12	21.6
6	11110	30	0
7	10110	22	17.6
8	01001	9	18.9
9	00011	3	8.1
10	10001	17	22.1
Sum			147.6
Average			14.76
Max			22.4

1. Odrediti fitnes funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (jedna promenljiva  $x$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 \ 31]$ )
4. Odrediti način kodiranja (binarno: [00000 11111])



## Primer (naći maksimum)

Figure 1: Graph of  $f(x) = \frac{-x^2}{10} + 3x$



1. Odrediti fitnes funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (jedna promenljiva  $x$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 \ 31]$ )
4. Odrediti način kodiranja (binarno: [00000 11111])

$$P(\text{chromosome } i \text{ reproduces}) = \frac{f(x_i)}{\sum_{k=1}^{10} f(x_k)}$$

Table 1: Initial Population

Chromosome Number	Initial Population	$x$ Value	Fitness Value $f(x)$	Selection Probability
1	01011	11	20.9	0.1416
2	11010	26	10.4	0.0705
3	00010	2	5.6	0.0379
4	01110	14	22.4	0.1518
5	01100	12	21.6	0.1463
6	11110	30	0	0
7	10110	22	17.6	0.1192
8	01001	9	18.9	0.1280
9	00011	3	8.1	0.0549
10	10001	17	22.1	0.1497
Sum			147.6	
Average			14.76	
Max			22.4	



## Primer (naći maksimum)

Figure 1: Graph of  $f(x) = \frac{-x^2}{10} + 3x$

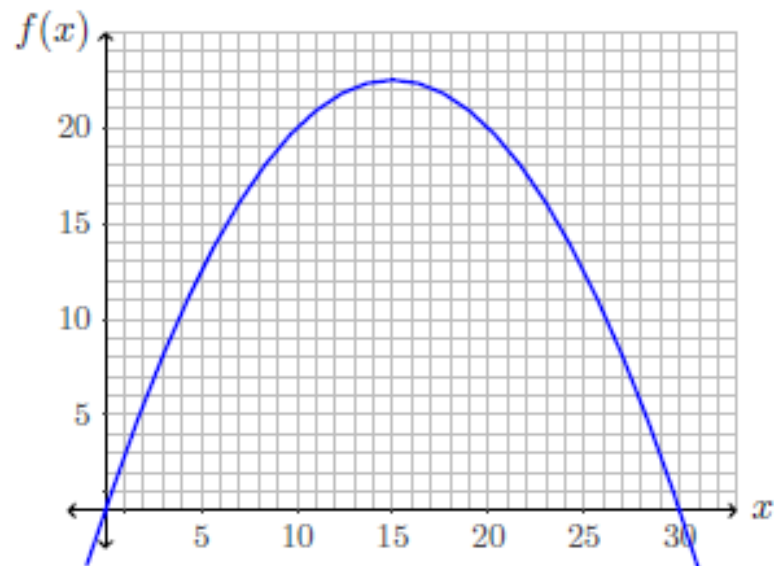


Table 1: Initial Population

Chromosome Number	Initial Population	$x$ Value	Fitness Value $f(x)$	Selection Probability
1	01011	11	20.9	0.1416
2	11010	26	10.4	0.0705
3	00010	2	5.6	0.0379
4	01110	14	22.4	0.1518
5	01100	12	21.6	0.1463
6	11110	30	0	0
7	10110	22	17.6	0.1192
8	01001	9	18.9	0.1280
9	00011	3	8.1	0.0549
10	10001	17	22.1	0.1497



← Random

Table 2: Reproduction & Second Generation

Chromosome Number	Mating Pairs	New Population	$x$ Value	Fitness Value $f(x)$
5	01 100	01010	10	20
2	11 010	11100	28	5.6
4	0111 0	01111	15	22.5
8	0100 1	01000	8	17.6
9	0001 1	01010	10	20
2	1101 0	11011	27	8.1
7	10110	10110	22	17.6
4	01110	01110	14	22.4
10	100 01	10001	17	22.1
8	010 01	01001	9	18.9
Sum				174.8
Average				17.48
Max				22.5

1. Odrediti fitness funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (jedna promenljiva  $x$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 \ 31]$ )
4. Odrediti način kodiranja (binarno: [00000 11111])
5. Kreirati populaciju početnih rešenja (random)
6. Selekcija, ukrštanje, mutacija



## Kodiranje

Promenljiva može imati necelobrojna ograničenja, dok se u binarnom sistemu kodiraju celi brojevi.

$$l_i = \log_2 \left( \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{\varepsilon_i} \right)$$

$$x_i = x_i^{\min} + \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{2^{l_i} - 1} \mathbf{DV}(s_i)$$

Npr.

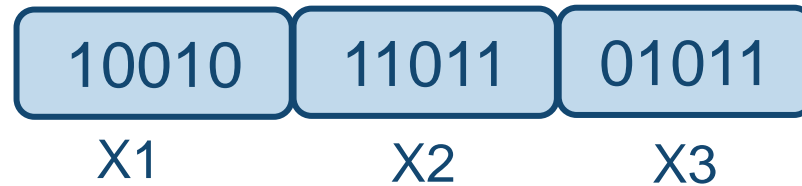
$$x = [1.25 \ 2.75]$$



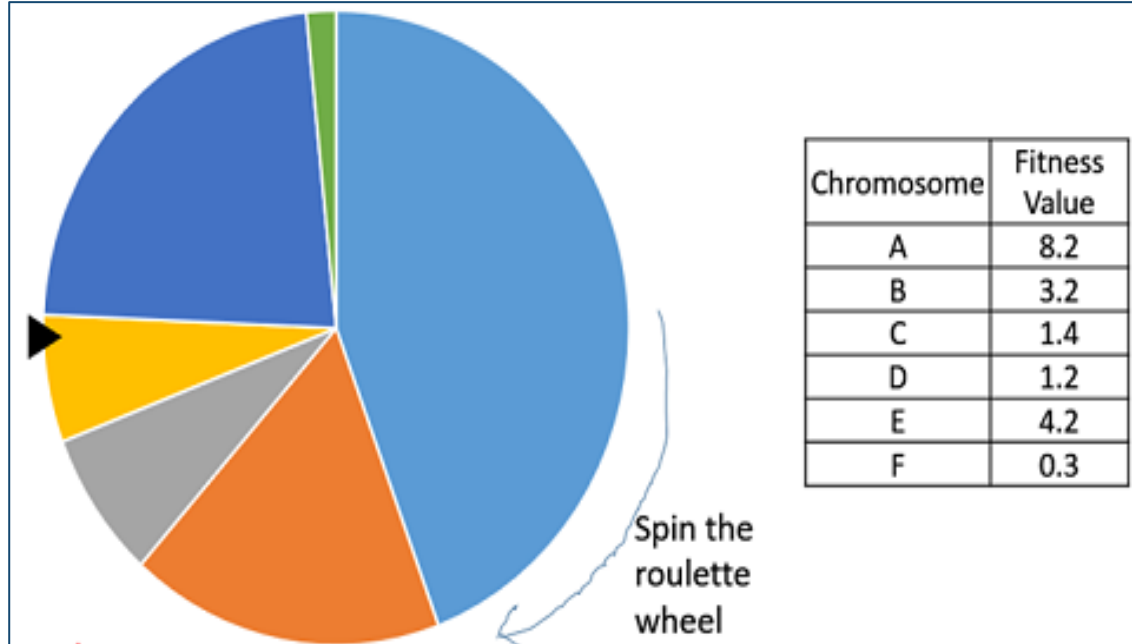


## Hromozom više promenljivih

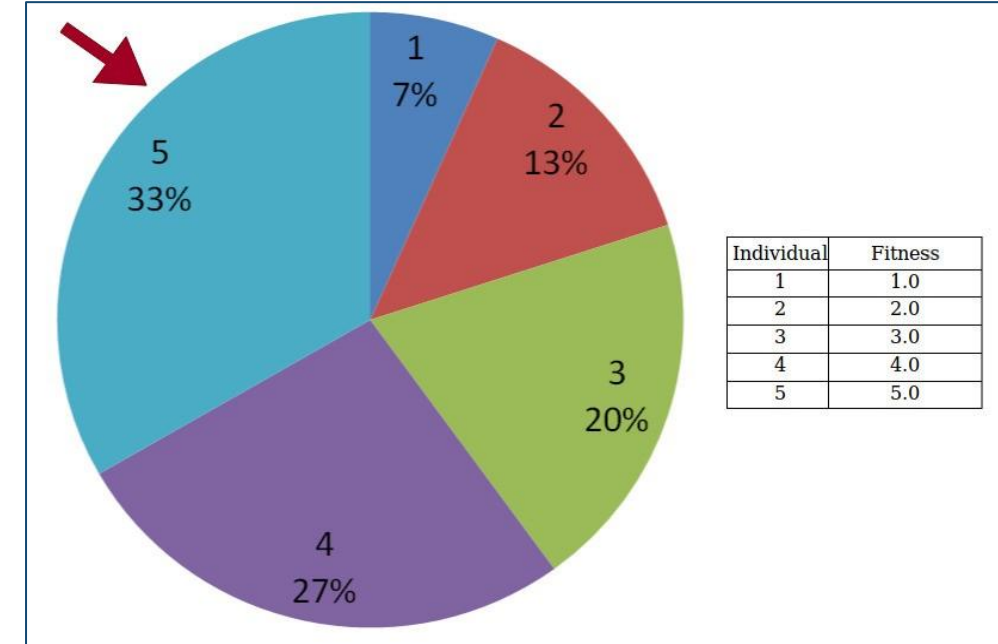
$$OF=f(x_1, x_2, x_3)$$



## Selekcija



### Roulette Wheel



### Rangiranje

Pogodna kada je fitnes funkcija i pozitivna i ne



## Primer (naći minimum)

$$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1y \sin(2y)$$

for  $0 \leq x \leq 10$  and  $0 \leq y \leq 10$ .

1. Odrediti fitnes funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (dve promenljive  $[x,y]$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 \ 10]$ ,  $y=[0 \ 10]$ )
4. Odrediti načinkodiranja (dekadno)

$x$	$y$	Fitness $f(x, y)$	<u>RANGIRANJ</u>
6.7874	6.9483	13.5468	<u>E</u>
7.5774	3.1710	-6.5696	12
7.4313	9.5022	-5.7656	1
3.9223	0.3445	0.3149	2
6.5548	4.3874	8.7209	6
1.7119	3.8156	5.0089	10
7.0605	7.6552	3.4901	9
0.3183	7.9520	-1.3994	8
2.7692	1.8687	-3.9137	5
0.4617	4.8976	-1.5065	3
0.9713	4.4559	1.7482	4
8.2346	6.4631	10.7287	7
			11



## Primer (naći minimum)

$$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1y \sin(2y)$$

for  $0 \leq x \leq 10$  and  $0 \leq y \leq 10$ .

$x$	$y$	Fitness $f(x, y)$
6.7874	6.9483	13.5468
7.5774	3.1710	-6.5696
7.4313	9.5022	-5.7656
3.9223	0.3445	0.3149
6.5548	4.3874	8.7209
1.7119	3.8156	5.0089
7.0605	7.6552	3.4901
0.3183	7.9520	-1.3994
2.7692	1.8687	-3.9137
0.4617	4.8976	-1.5065
0.9713	4.4559	1.7482
8.2346	6.4631	10.7287

Elitizam – čuvanje najboljih rešenja bez ukrštanja i mutacije

Rank	$x$	$y$	Fitness $f(x, y)$
1	7.5774	3.1710	-6.5696
2	7.4313	9.5022	-5.7656
3	2.7692	1.8687	-3.9137
4	0.4617	4.8976	-1.5065
5	0.3183	7.9520	-1.3994
6	3.9223	0.3445	0.3149

1. Odrediti fitnes funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (dve promenljive  $[x,y]$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 10]$ ,  $y=[0 10]$ )
4. Odrediti način kodiranja (dekadno)
5. Kreirati populaciju početnih rešenja (random)
6. Selekcija (elitizam)



## Primer (naći minimum)

$$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1y \sin(2y)$$

for  $0 \leq x \leq 10$  and  $0 \leq y \leq 10$ .

1. Odrediti fitnes funkciju ( $f(x)$ )
2. Odrediti broj promenljivih (dve promenljive  $[x,y]$ )
3. Odrediti opseg promenljivih ( $x=[0 \ 10]$ ,  $y=[0 \ 10]$ )
4. Odrediti način kodiranja (dekadno)
5. Kreirati populaciju početnih rešenja (random)
6. Selekcija (elitizam)
7. Selekcija (rangiranje), ukrštanje, mutacija

Rank	$x$	$y$	Fitness $f(x, y)$
1	7.5774	3.1710	-6.5696
2	7.4313	9.5022	-5.7656
3	2.7692	1.8687	-3.9137
4	0.4617	4.8976	-1.5065
5	0.3183	7.9520	-1.3994
6	3.9223	0.3445	0.3149

7  
8  
9  
10  
11  
12

Potrebno je izabrati još  
6 hromozoma za  
ukrštanje (3 para)

$$x_{new1} = (1 - \beta)x_m + \beta x_d$$

$$x_{new2} = (1 - \beta)x_d + \beta x_m$$

$$\text{offspring}_1 = [x_{new1}, y_m]$$

$$\text{offspring}_2 = [x_{new2}, y_d]$$



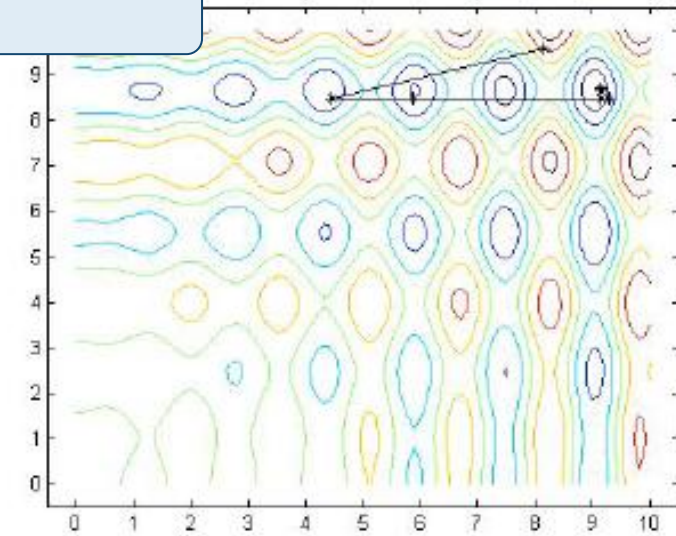
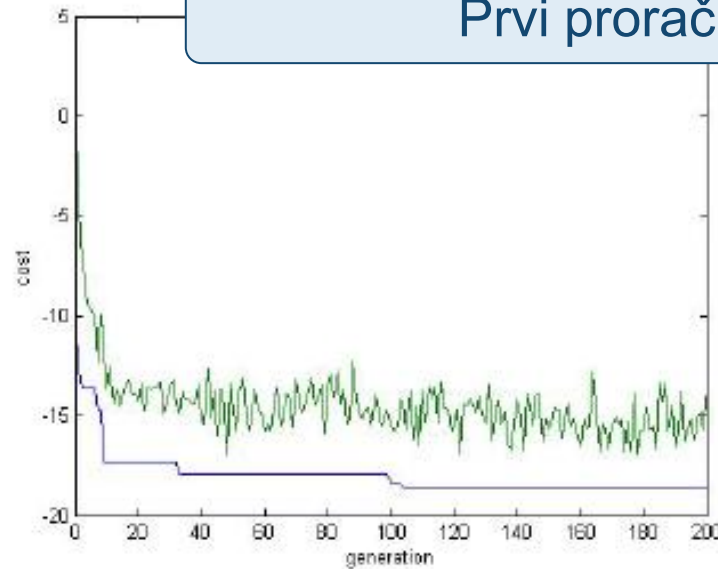
## Primer (naći minimum)

$$f(x, y) = x \sin(4x) + 1.1y \sin(2y)$$

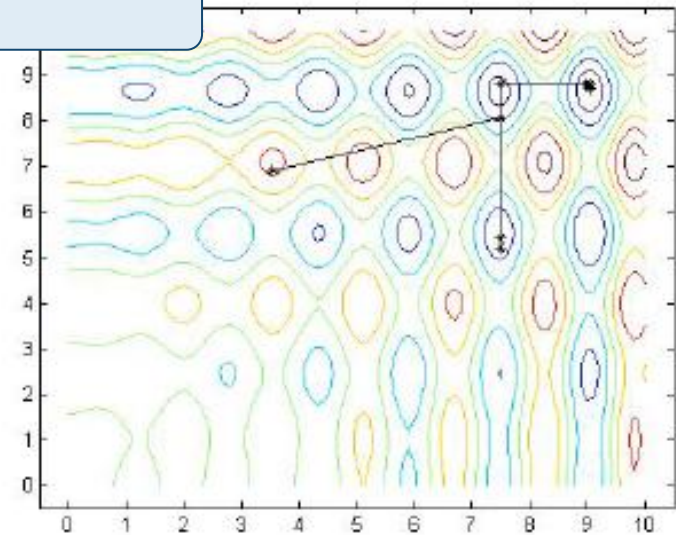
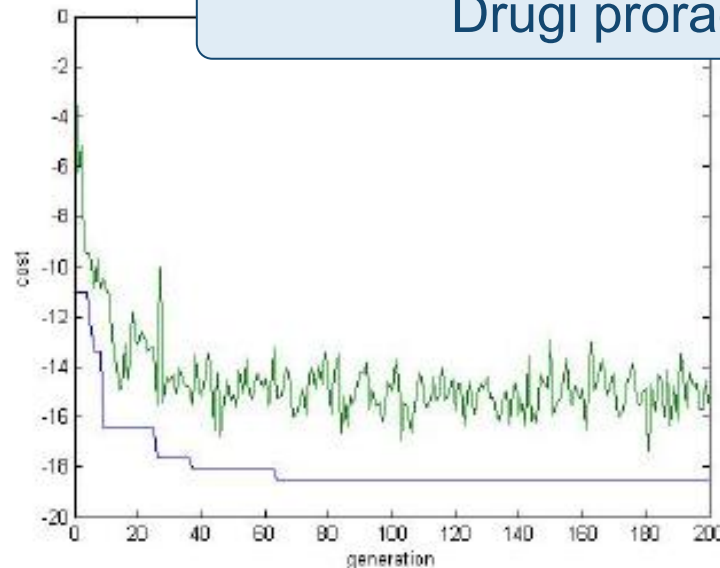
for  $0 \leq x \leq 10$  and  $0 \leq y \leq 10$ .

GA se može pokrenuti nekoliko puta pa izabrati najbolje rešenje.

Prvi proračun



Drugi proračun

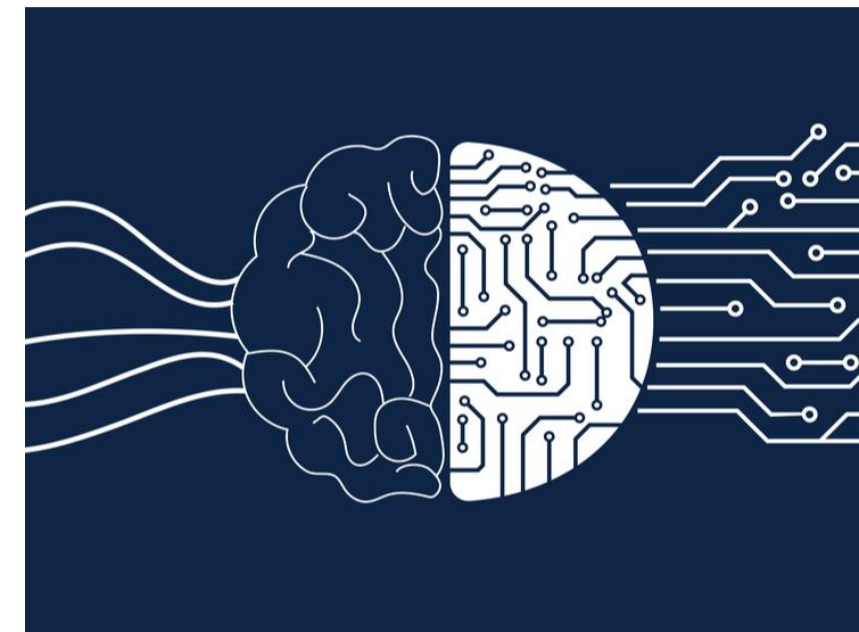


# Veštačke neuralne mreže (ANN)



Veštačke neuralne mreže predstavljaju računarsku simulaciju ljudskog mozga

- Ljudski mozak prima veliki broj informacija
- Primljene informacije se prenose između nervnih ćelija (neurona)
- Pri različitim informacijama i aktivnostima se aktiviraju različiti delovi mozga
- Čovek donosi odluke na osnovu primljenih informacija

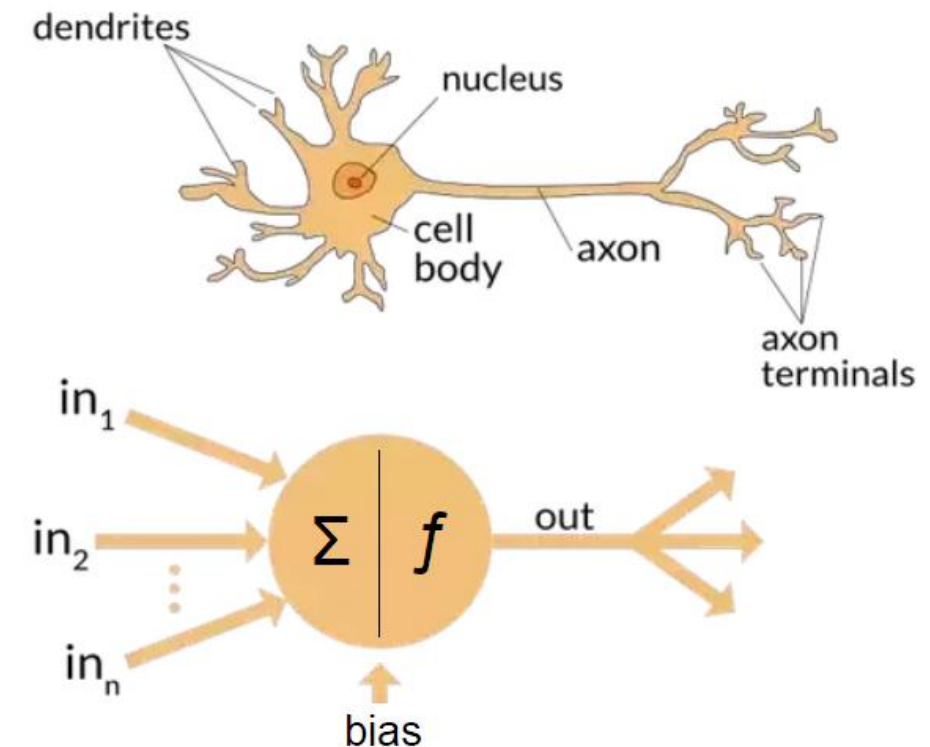






Veštačke neuralne mreže predstavljaju računarsku simulaciju ljudskog mozga

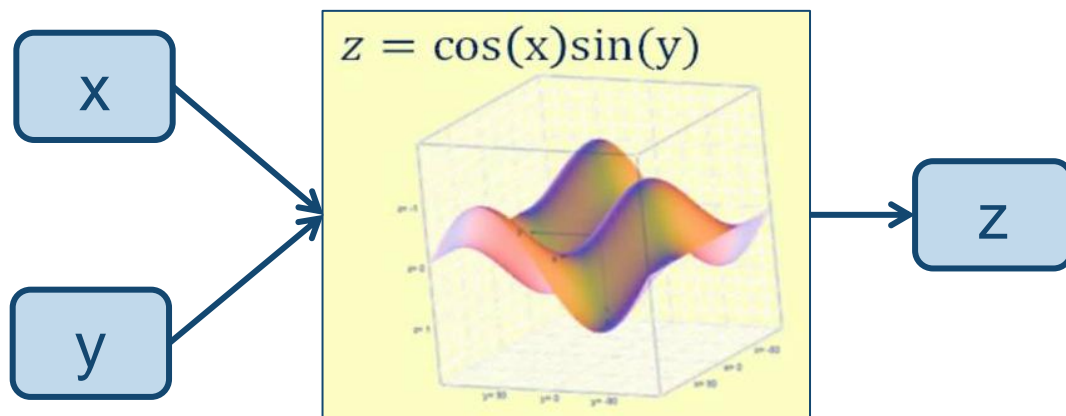
- Neuralna mreža prima veliki broj informacija
- Primljene informacije se prenose između neurona
- Pri različitim informacijama se aktiviraju različiti delovi mreže
- Neuralna mreža daje izlaz na osnovu primljenih informacija



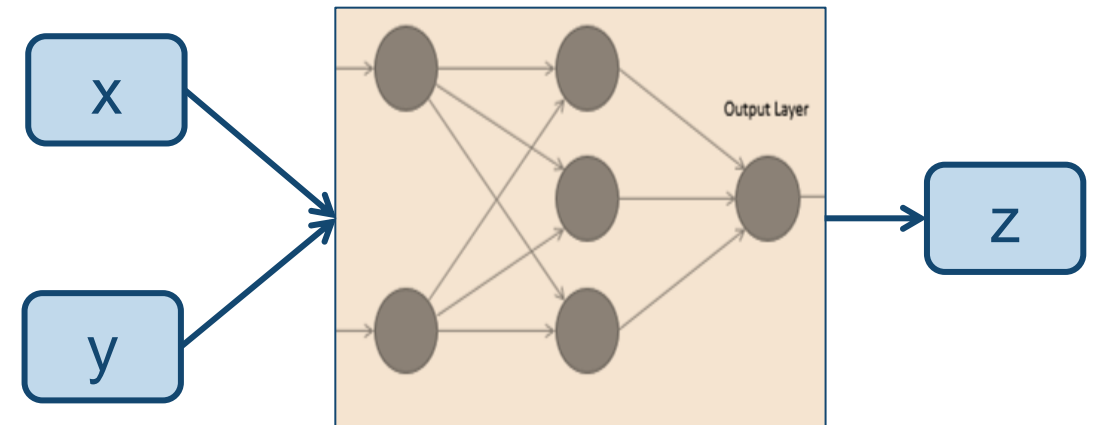


Veštačke neuralne mreže predstavljaju računarsku simulaciju ljudskog mozga

- Neuralne mreže se koriste za pronalaženje funkcije kojom se za određene ulazne informacije dobija željeni izlazni podatak

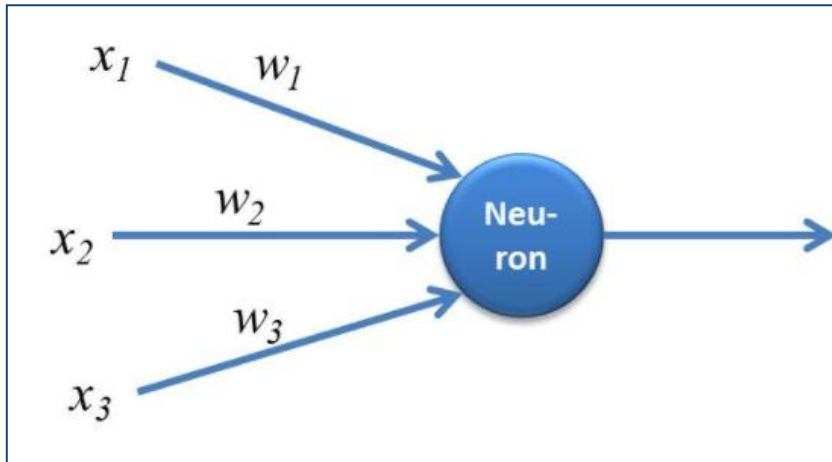


Ako znamo matematičku funkciju

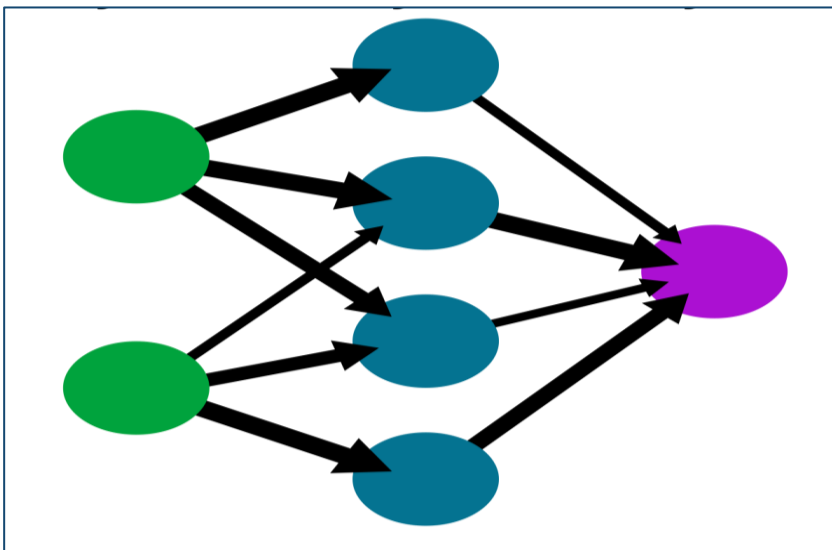


Ako ne znamo matematičku funkciju

Neuron neuralne mreže prima veći broj ulaza i daje jedan izlaz

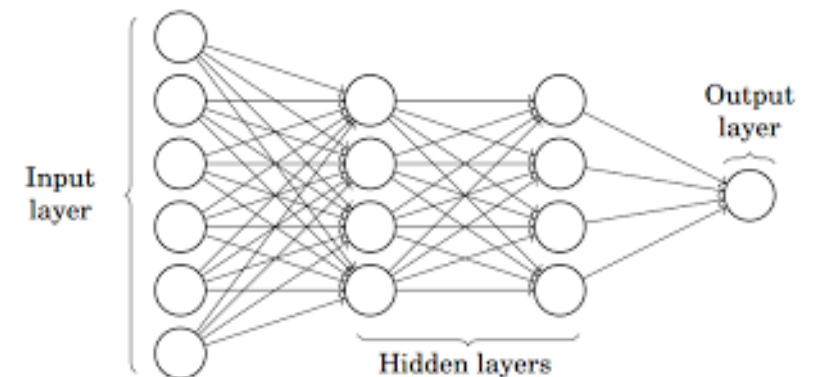


Perceptron se sastoji od samo jednog neurona.



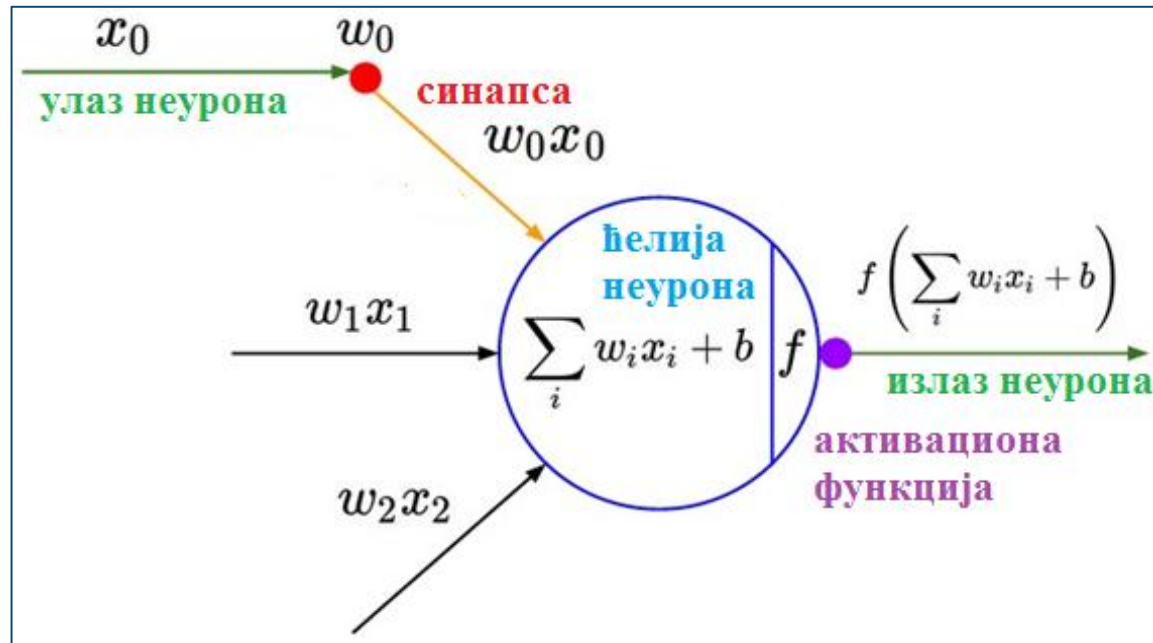
Neuralna mreža predstavlja spoj većeg broja neurona:

- Ulazni sloj
- Skriveni slojev
- Izlazni sloj





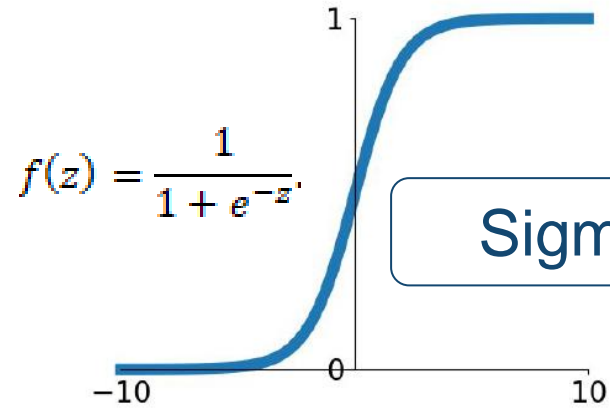
Neuron predstavlja skup jednostavnih matematičkih funkcija



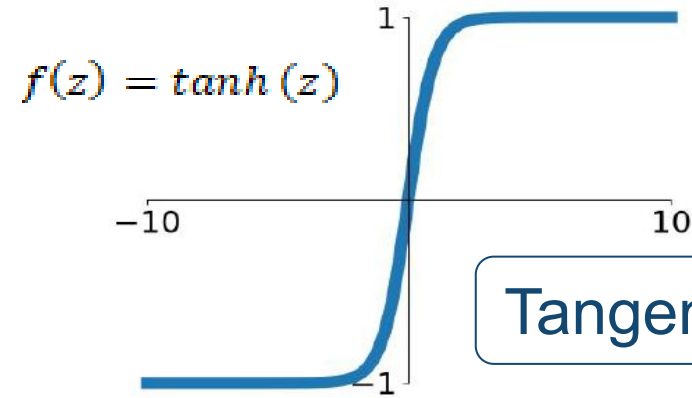
- Svaka ulazna informacija ima svoj težinski faktor
- Sve ulazne informacije utiču na neuron
- Neuron se aktivira u zavisnosti od ulaznih informacija



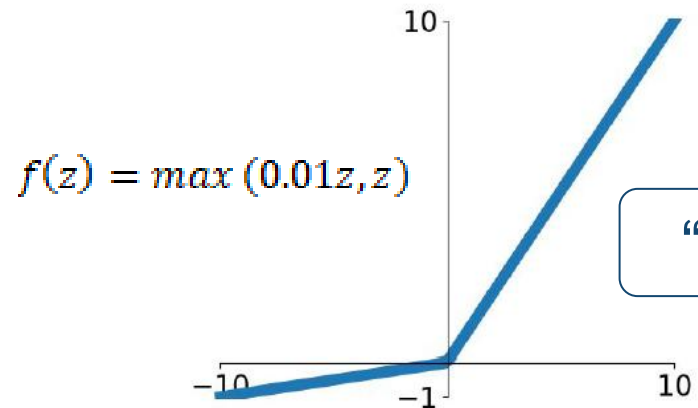
Aktivaciona funkcija služi za uvođenje nelinearnosti



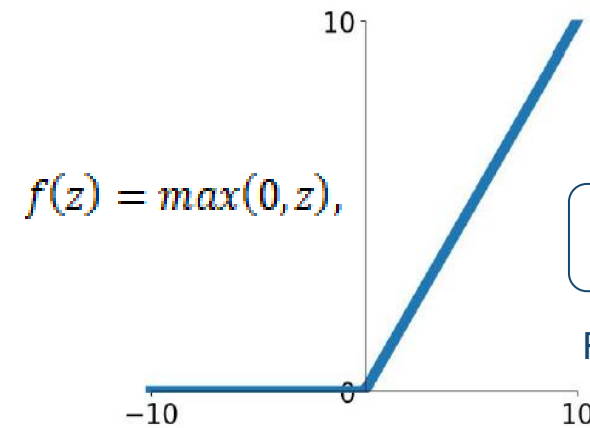
Sigmoidna



Tangens hiperbolički



“Cureći” relu

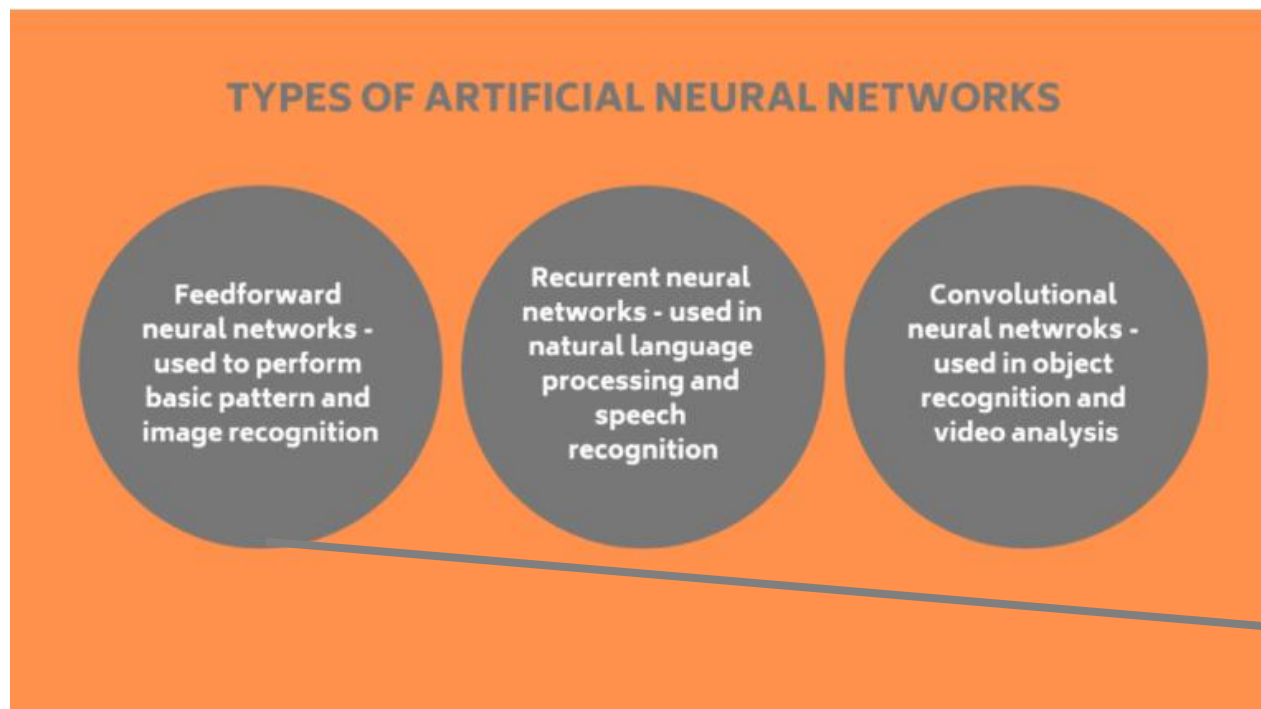


Relu

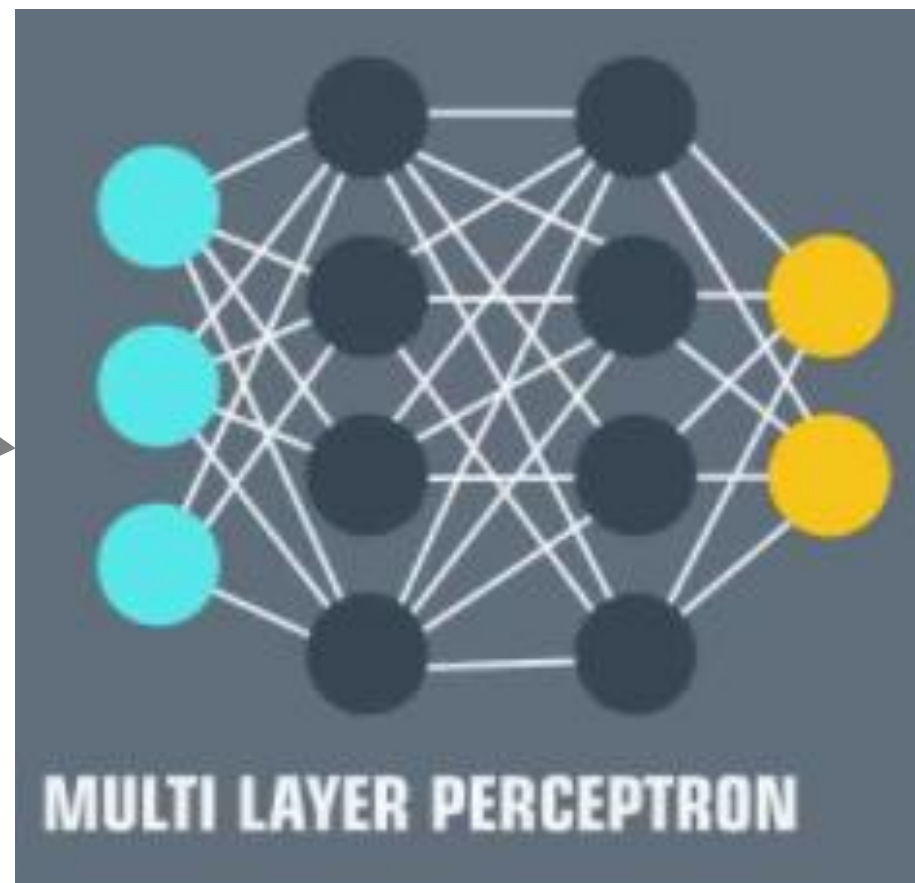
Rectified Linear Units

Za skrivene slojeve

## Tipovi neuralnih mreža u zavisnosti od primene

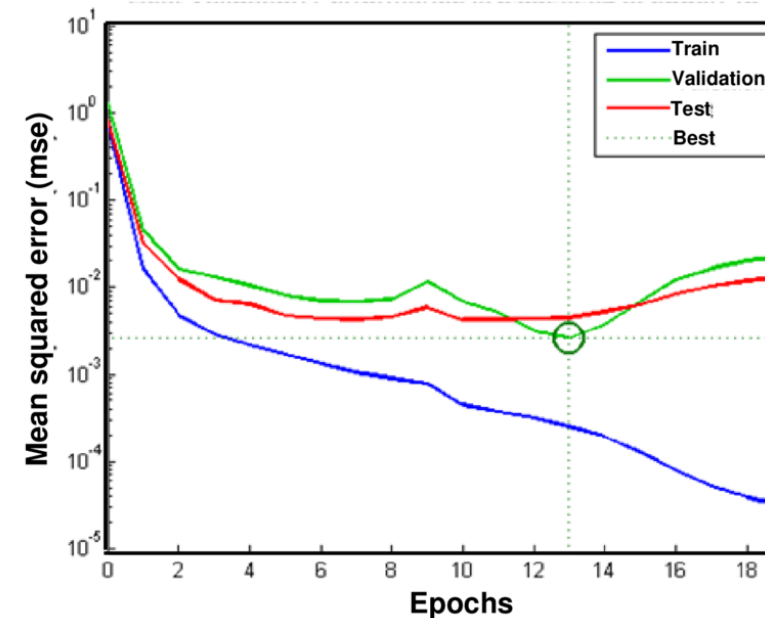
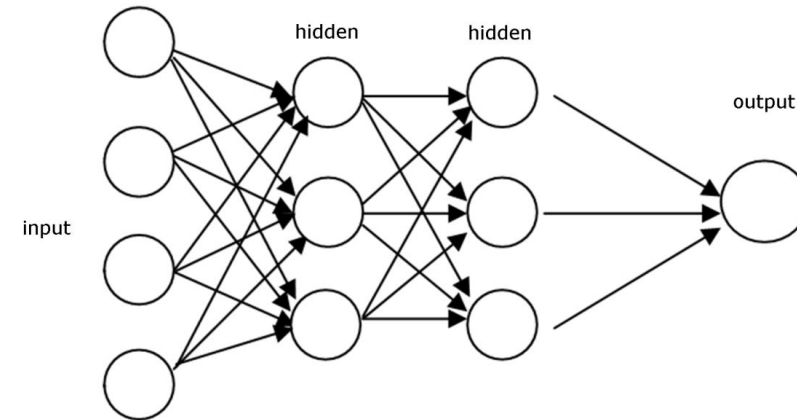


Feedforward mreža je ekvivalent radijalne distributivne mreže, nema povratnih puteva.



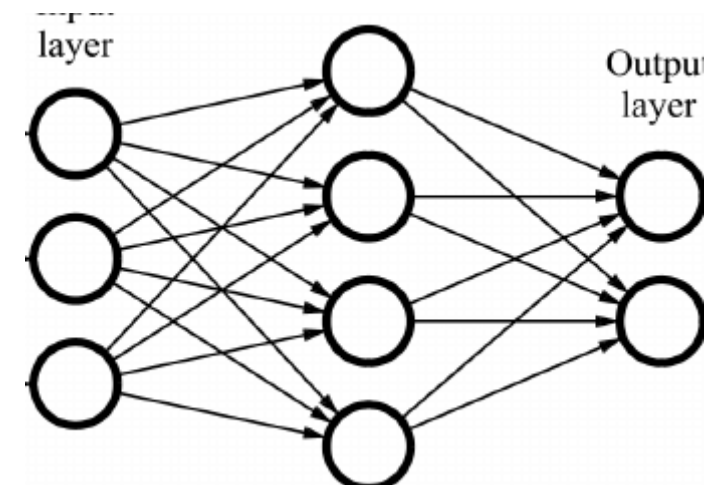
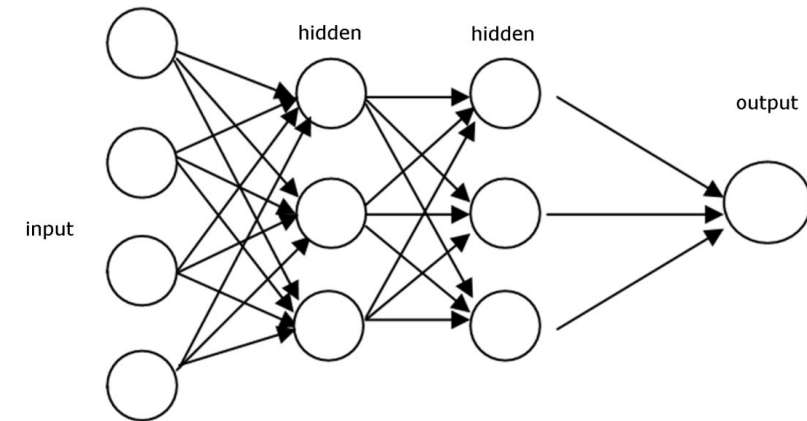
Pravljenje neuralne mreže podrazumeva tri osnovna koraka

1. Arhitektura mreže
2. Obučavanje mreže (optimizacija)
3. Testiranje mreže



Za kreiranje arhitekture neuralne mreže potrebno je izvršiti nekoliko koraka

1. Izabrati tip mreže
2. Definirati broj ulaznih podataka
3. Definirati broj slojeva
4. Definirati broj neurona u svakom sloju
5. Definirati broj izlaznih neurona

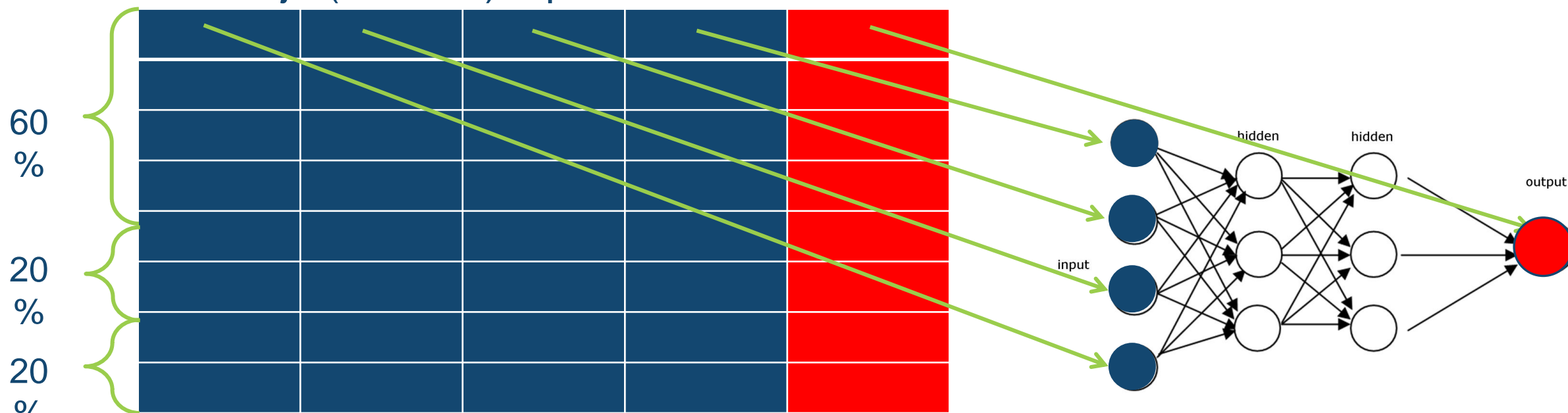






Za obučavanje i testiranje neuralne mreže potrebna je velika baza podataka

1. Obučavanje (60-70%) – podešavanje težinskih faktora
2. Validacija (15-20%) – podešavanje arhitekture, aktivacionih funkcija, ...
3. Testiranje (15-20%) – provera rada ANN-a

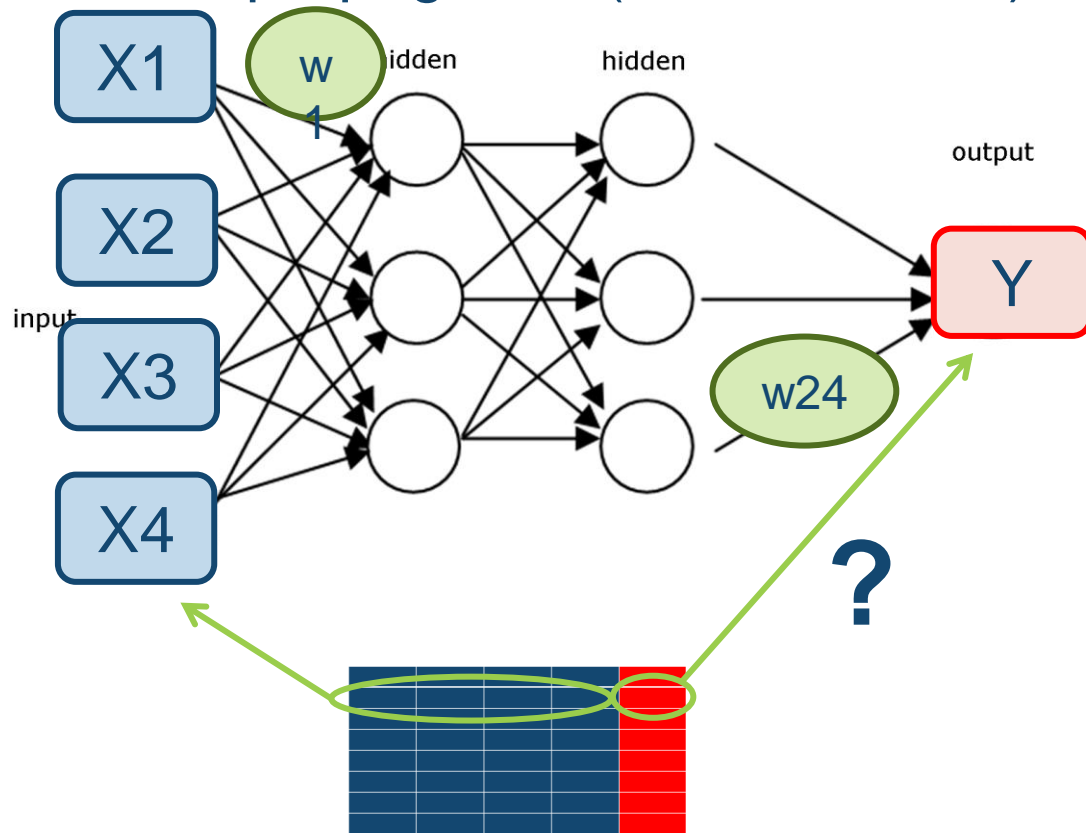




Algoritam obučavanja mreže je baziran na optimizaciji

1. Forward propagation (korak unapred)

2. Back propagation (korak unazad)



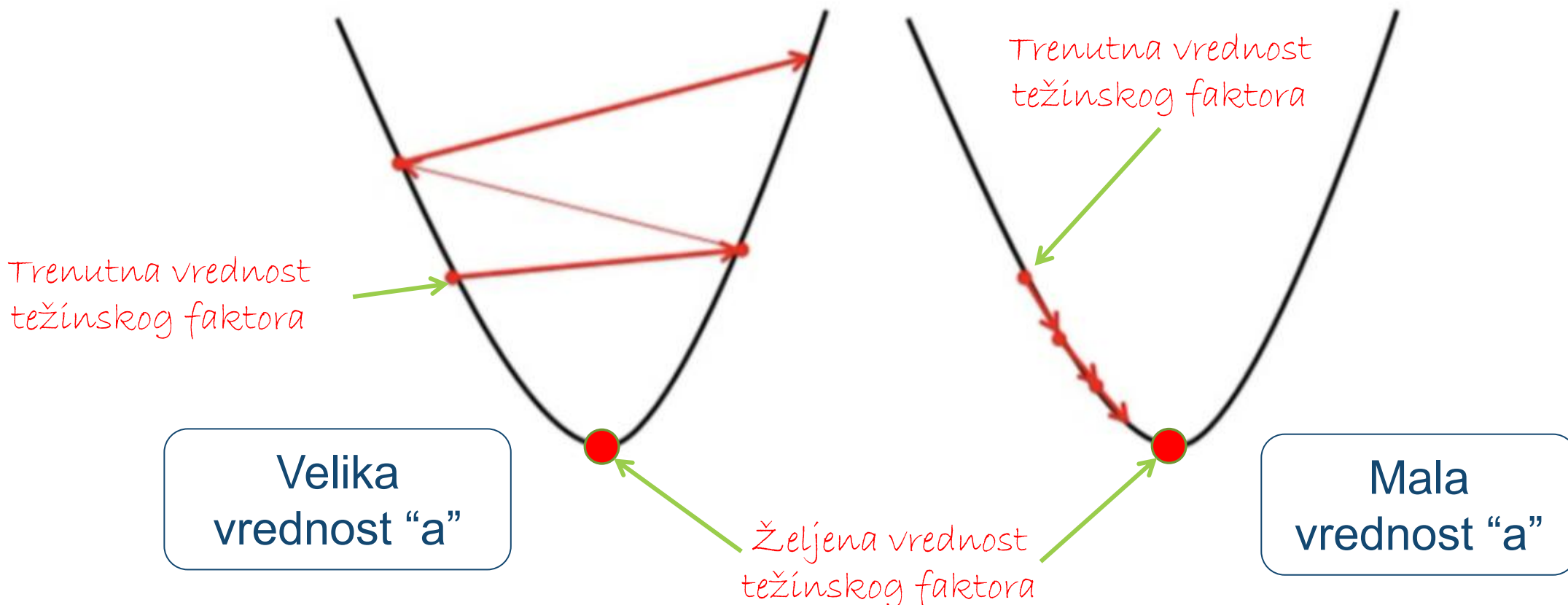
$$*W_x = W_x - a \left( \frac{\partial \text{Error}}{\partial W_x} \right)$$

*Stari težinski faktor* (points to  $W_x$ )  
*Novi težinski faktor* (points to  $*W_x$ )  
*Brzina učenja* (points to  $a$ )  
*Izvod greške po težinskom faktoru* (points to  $\frac{\partial \text{Error}}{\partial W_x}$ )



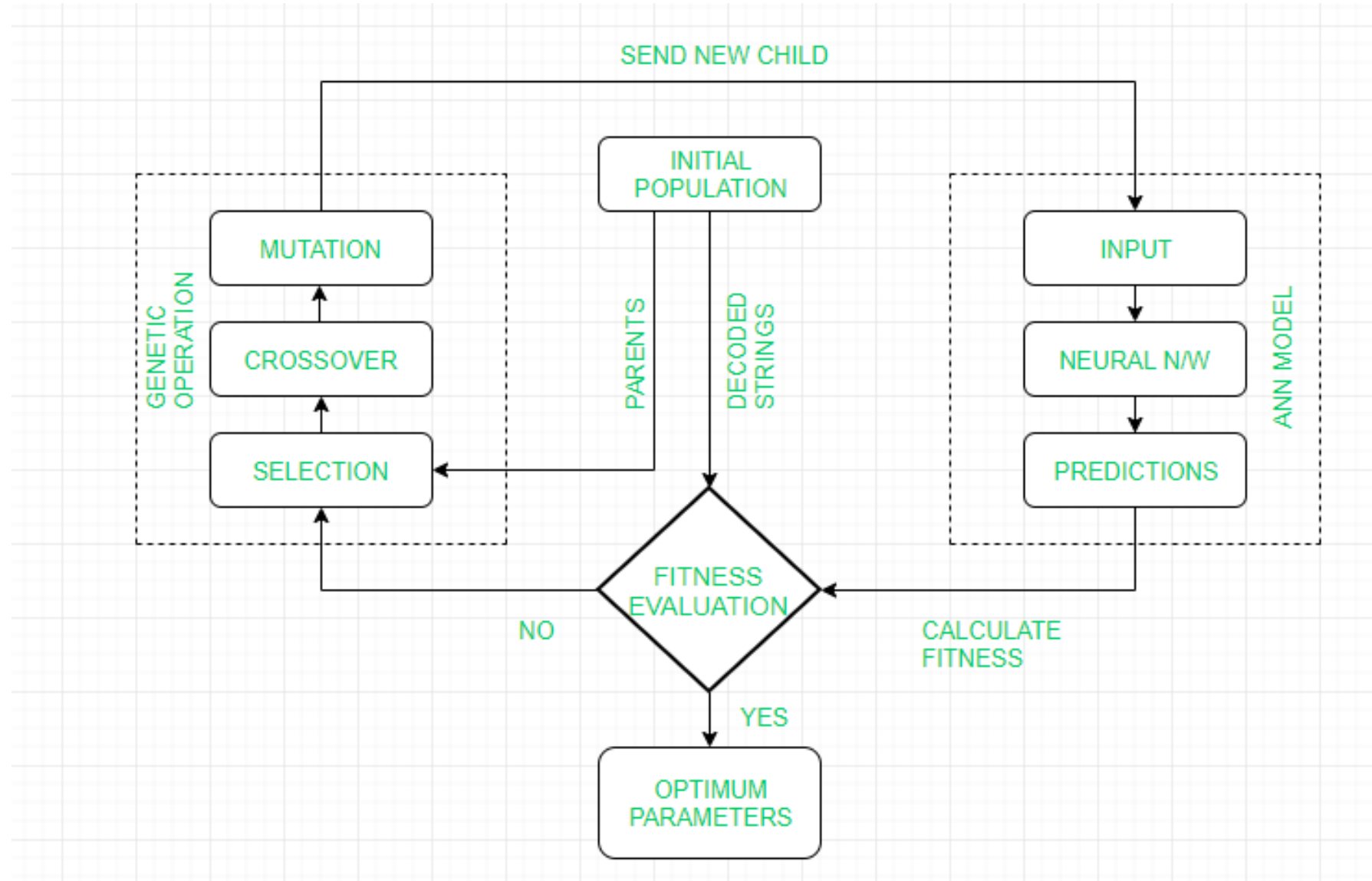
Algoritam obučavanja mreže je baziran na optimizaciji

$$*W_x = W_x - a \left( \frac{\partial \text{Error}}{\partial W_x} \right)$$





Različite optimizacione metode se mogu koristiti za obučavanje



Primena ANN u inteligentim mrežama je višestruka:

1. Prognoza potrošnje
2. Prognoza proizvodnje iz OIE
3. Prognoza angažovanja distribuiranih resursa (EV, skladište, ...)
4. Upravljanje mikromrežama
5. Detekcija i klasifikacija kvarova

