



**Inteligentni sistemi**

**Optimizacija fuzzy sistema**

***Oblasti primene i primeri iz prakse***

# Primena genetskih algoritama

1. Bin-packing problemi (1D, 2D, 3D)
2. Optimalne putanje
  - optimalna putanja na terenu za ski stazu, autoput, i sl.
3. Optimizacija (*fine tuning*) parametara regulatora (Fuzzy, PID i dr.)
4. Odabir tehničkih pokazatelja (feature selection)
5. Rutiranje
  - rutiranje automobila – GPS navigacija
  - problem trgovačkog putnika, itd.

# 1D Bin-packing problem

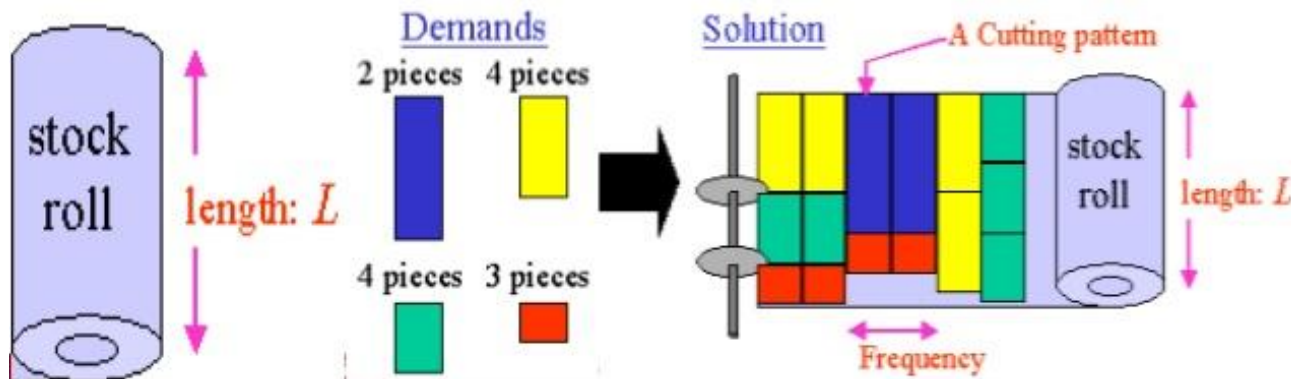
(sečenje cevi, kablova, greda; raspoređivanje TV reklama u pauzama između emisija)

Operations Research techniques for Industrial Engineers

## Application O.R. Techniques:

### ▪ LINEAR PROGRAMMING...

- **Cutting Stock Problems:** Cutting the material in certain shapes and sizes, in order to generate certain desired shapes and sizes, so as to minimize cost etc.
- One-dimensional, Two-dimensional & Three-dimensional cutting stock problem
- **Example:** A stock roll is cut into given sizes so that demand of each product is satisfied.
- A solution is specified by
  - **Cutting Patterns:** a pattern is a set of products whose total length is not more than 'L'
  - **Frequency:** the number of times each cutting pattern is applied.

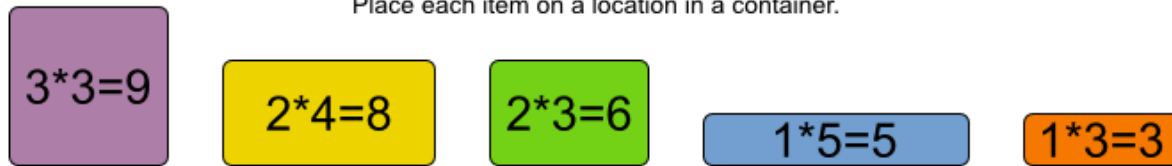


# 2D Bin-packing problem

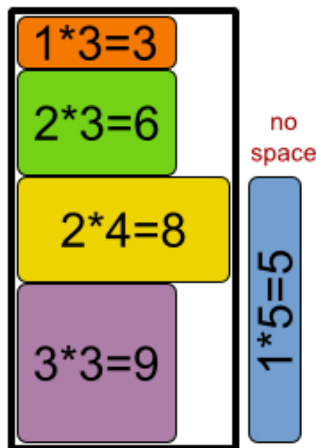
(rezanje građevinskih materijala: iverica, lim, staklo i sl.)

## Bin packing

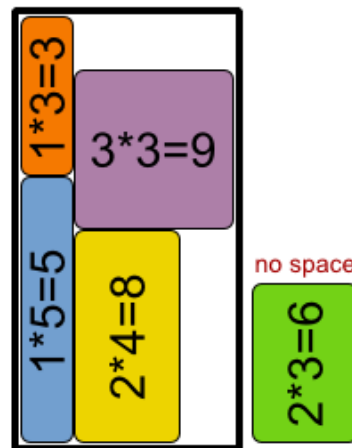
Place each item on a location in a container.



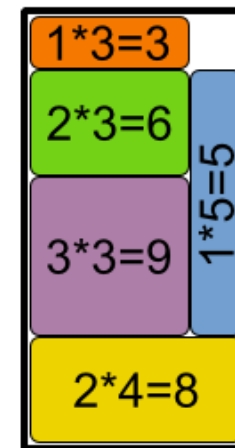
Largest size  
first



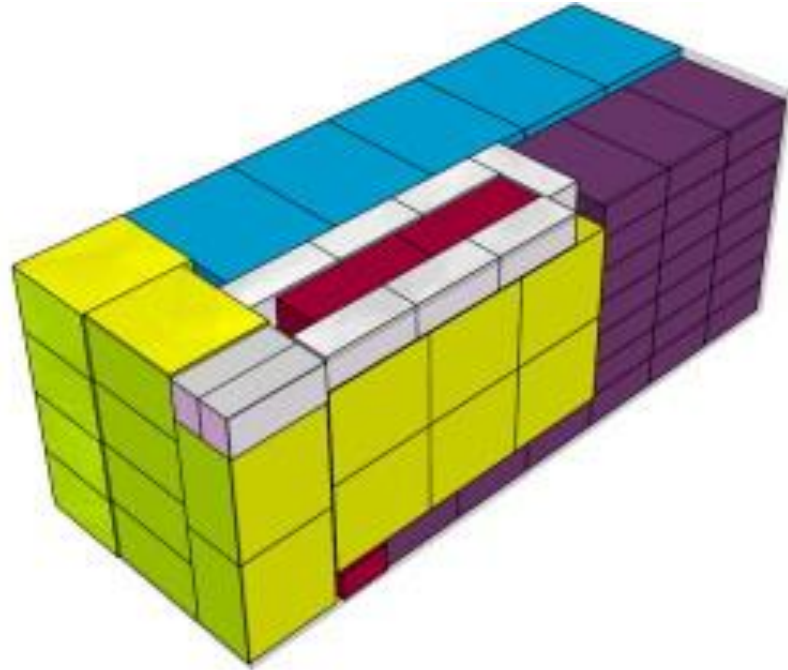
Largest side  
first



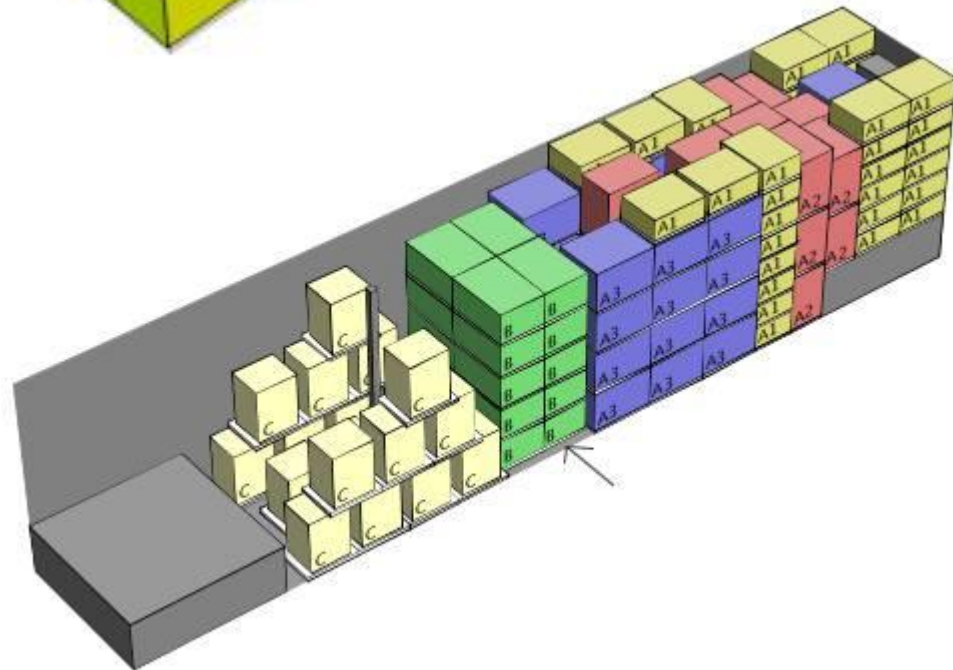
Drools  
Planner



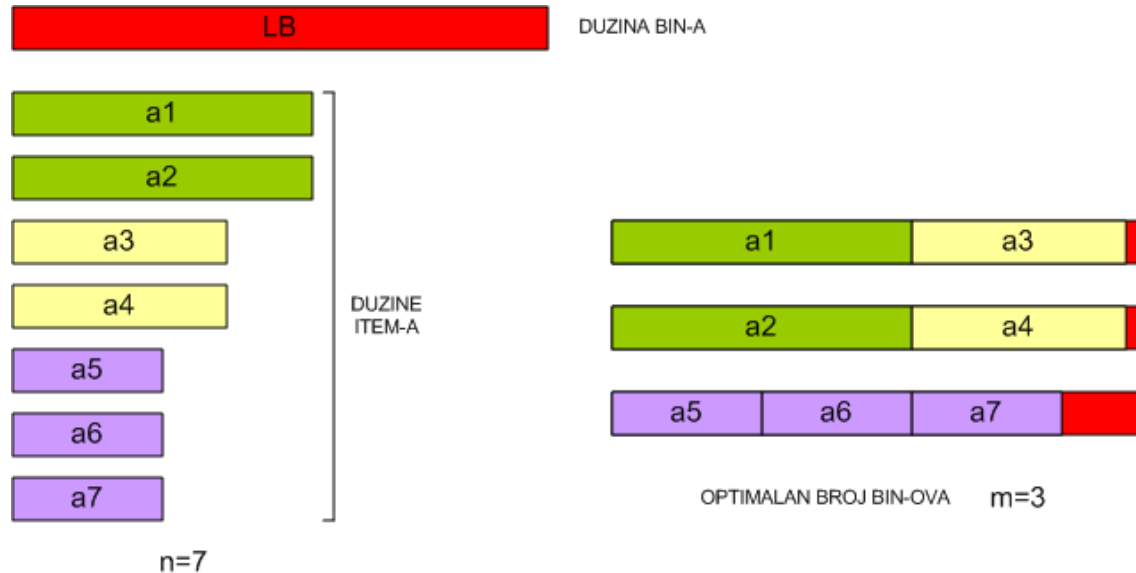
# 3D Bin-packing problem



**punjenje teretnih vagona,  
kontejnera, kamiona,  
raspored robe u  
skladištima, itd.**



# Rešenje jednodimenzionalnog *bin-packing* problema primenom genetskog algoritma



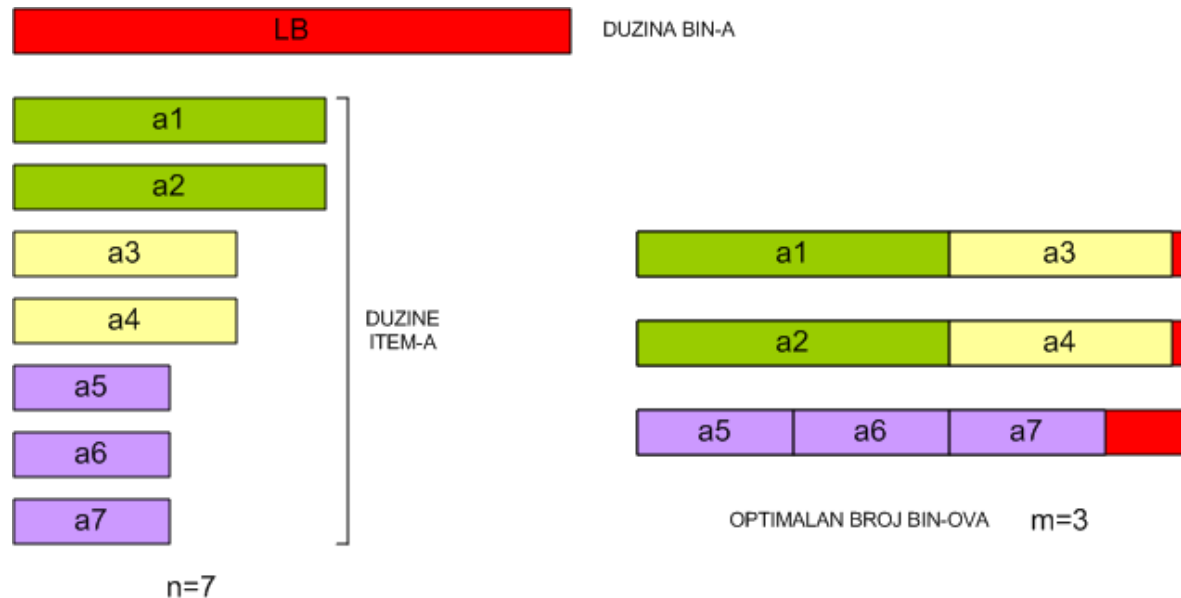
Data je fiksna dužina *bin*-ova  $LB$  i sekvenca dužina *item*-a:

$$(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

Treba rasporediti date *item*-e u sekvencu *bin*-ova, tako da broj upotrebljenih *bin*-ova bude minimalan, a pri tome da važi:

$$\sum_{a_i \in B_j} a_i \leq LB \quad 1 \leq j \leq m$$

# JEDNODIMENZIONALNI *BIN-PACKING* PROBLEM – mali sistemi

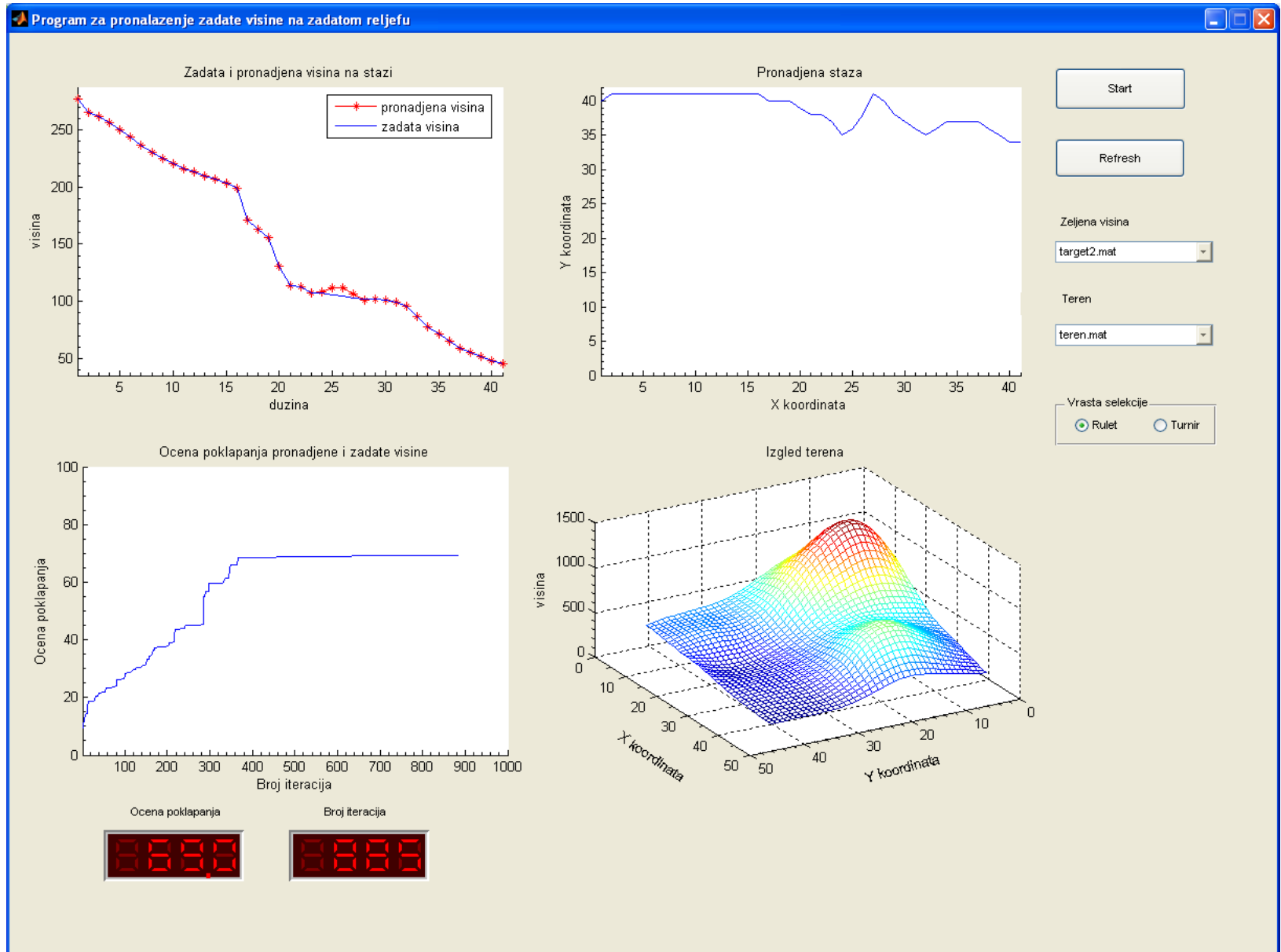


- ❖ rešenje za male sisteme – broj *item*-a je do 40 detaljna pretraga
  - stohastička pretraga
  - permutacioni genetski algoritam

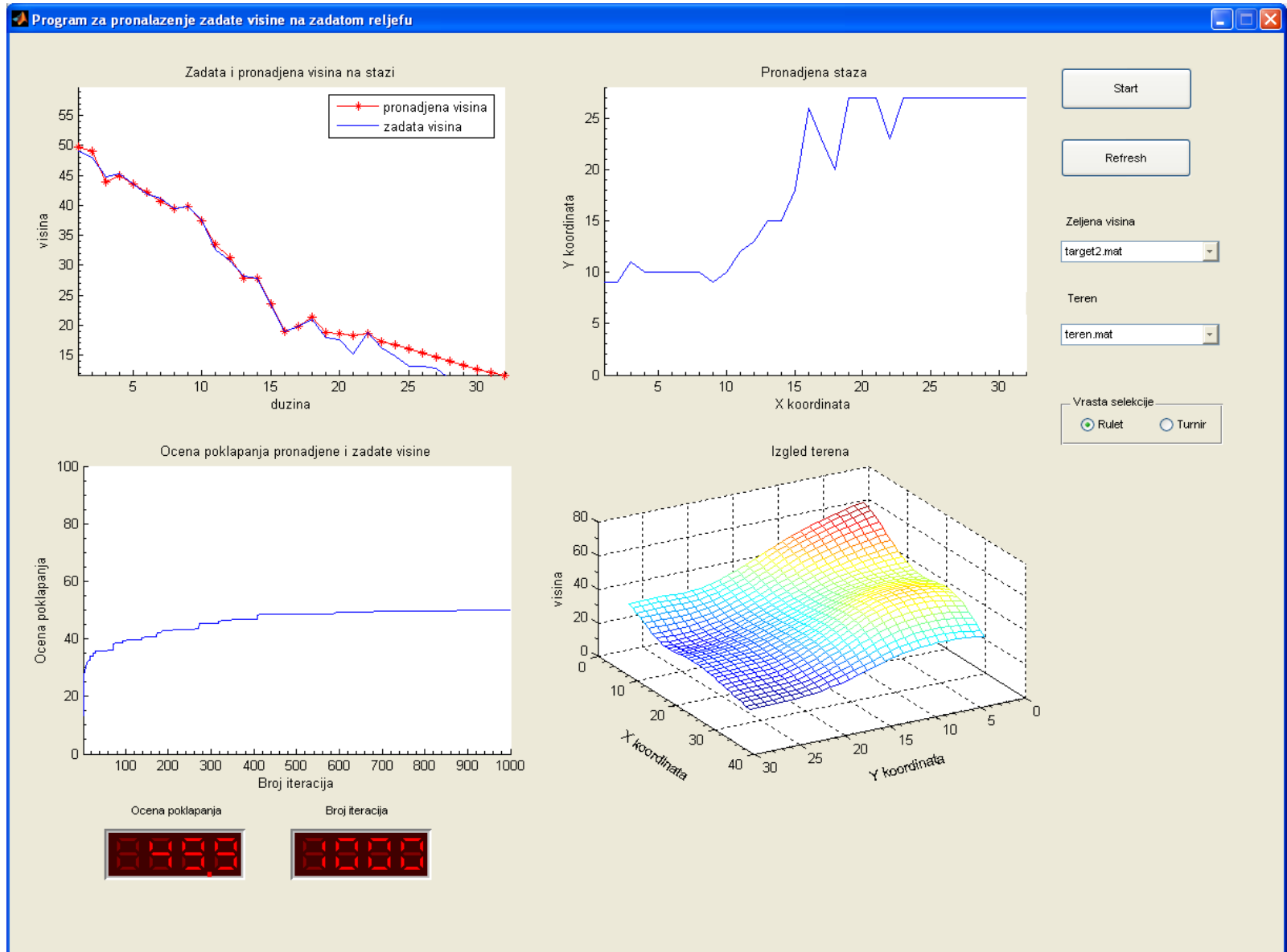
Pronalaženje optimalne  
putanje za ski stazu  
upotrebom genetskih  
algoritama



# Primer rada programa



# Primer rada programa na drugom terenu



# Swarm Intelligence – Inteligencija roja (jata)

1. PSO (Particle Swarm optimization) – Optimizacija rojem čestica
  - inspirisan jatima ptica
  - optimizacioni problemi u  $R^n$  prostorima
  - npr. optimizacija realnih parametara nekog regulatora (upravljanje brodskom prevodnicom)
2. ABC (Artificial Bee Colony) – Veštačka kolonija pčela
3. ACO (Ant Colony Optimization) – Mravlje kolonije
  - Optimizacija u diskretnim prostorima (npr. rutiranje)



# Ekspertski sistem za upravljanje brodskom prevodnicom zasnovan na računarskoj inteligenciji



automation and control systems group

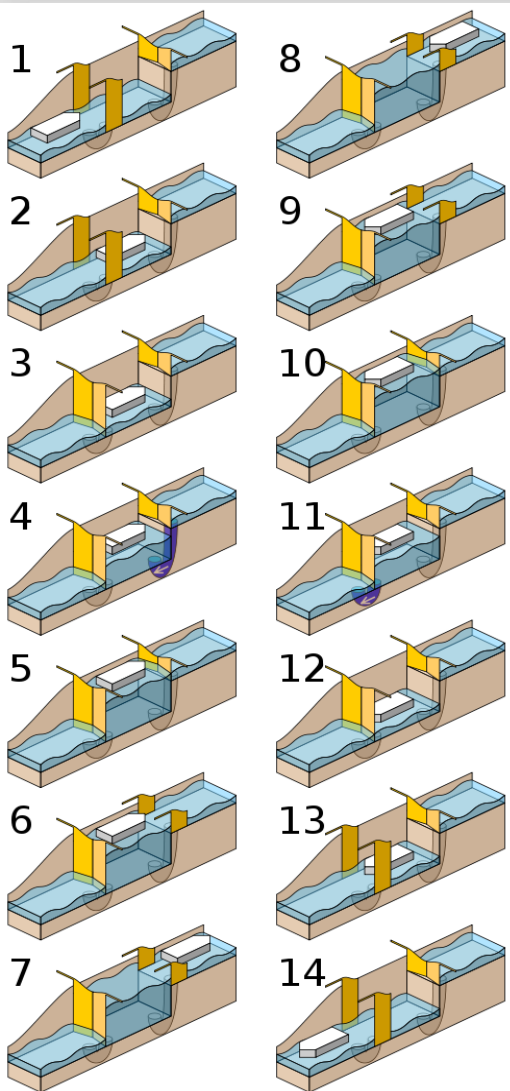
# Uvod

- Brodske prevodnice omogućuju prelazak plovila sa jednog na drugi nivo vodnog ogledala.
- Razlike u nivoima na unutrašnjim vodnim putevima su najčešće posledica izgradnje brana.
- Organizacija saobraćaja plovila na kanalima u zoni brodske prevodnice predstavlja kompromis između racionalnog korišćenja prevodnice i minimizacije vremena zadržavanja plovila koja čekaju na prevođenje.
- Razvijen je fazi ekspertski sistem (FES) sa namenom da pomogne operaterima u procesu donošenja odluka prilikom operativnog upravljanja brodskom prevodnicom.

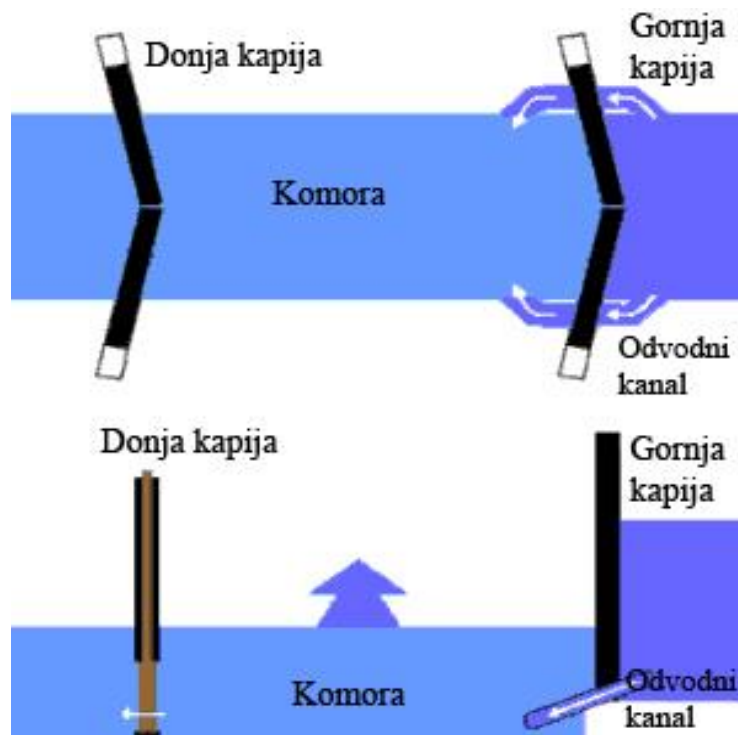
# Uvod

- Korišćeni su globalni numerički algoritmi optimizacije:
  - Genetski algoritam (GA)
  - Algoritam zasnovan na roju čestica (PSO)
  - Algoritam zasnovan na veštačkoj koloniji pčela (ABC)
- Ciljevi optimizacije:
  - Minimizacija broja prevođenja na prazno (promena nivoa vode u komori bez plovila)
  - Minimizacija vremena čekanja (zadržavanja plovila).

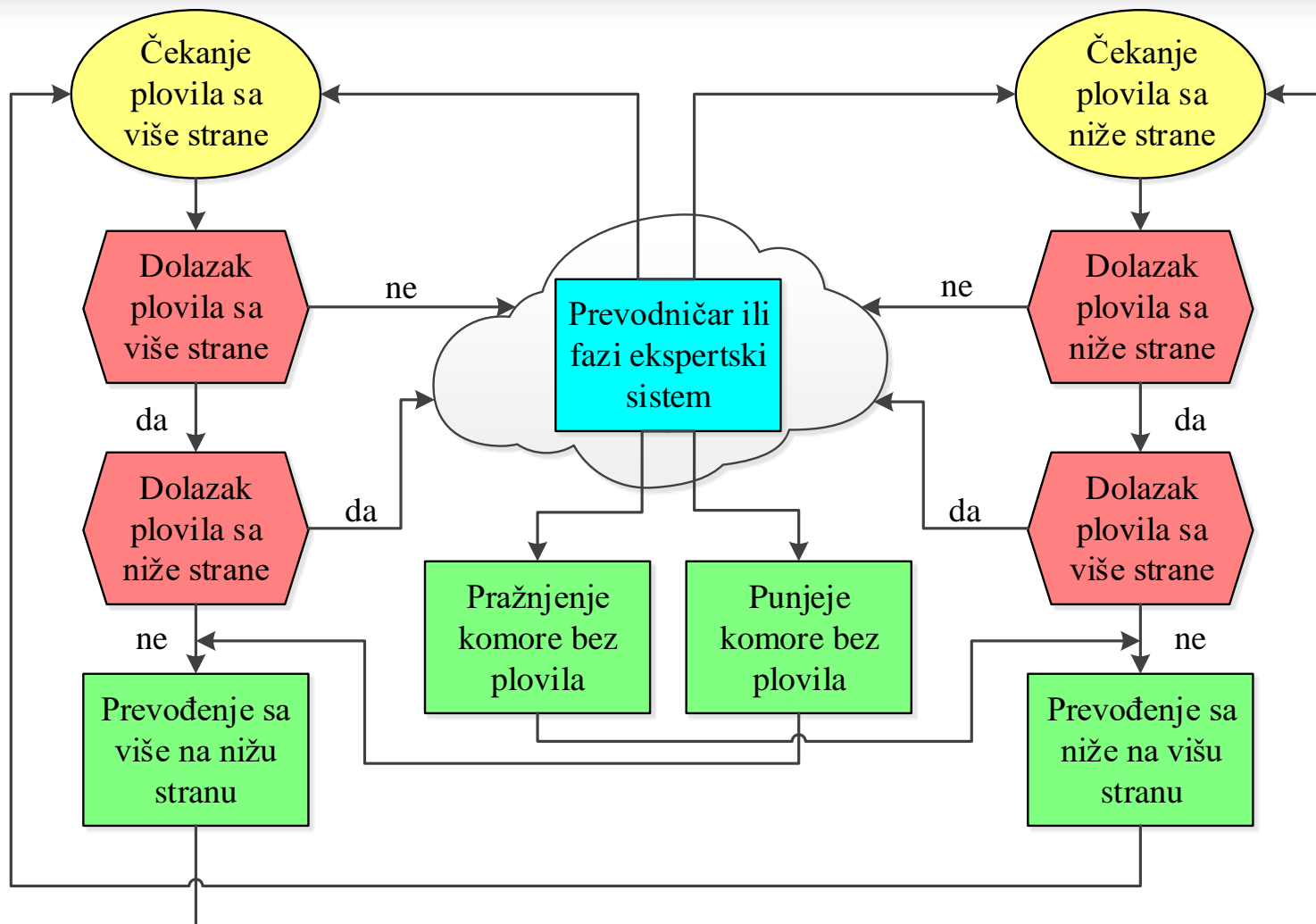
# Tehnološki proces prevođenja



- Tehnološki proces prevođenja: jedna komora – jedno plovilo
- Stepen prioriteta: sva plovila imaju jednak prioritet, odnosno prevođenje bez prioriteta



# Tehnološki proces prevođenja

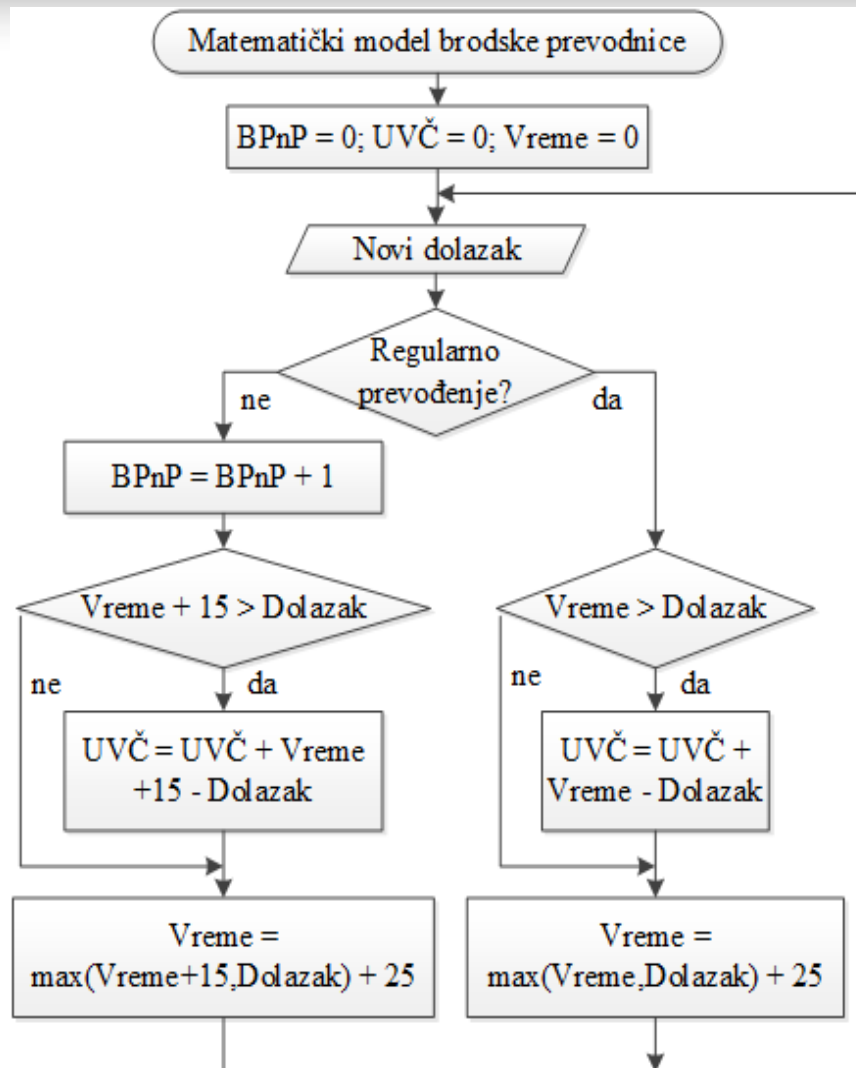




# Brodska prevodnica „Kucura“



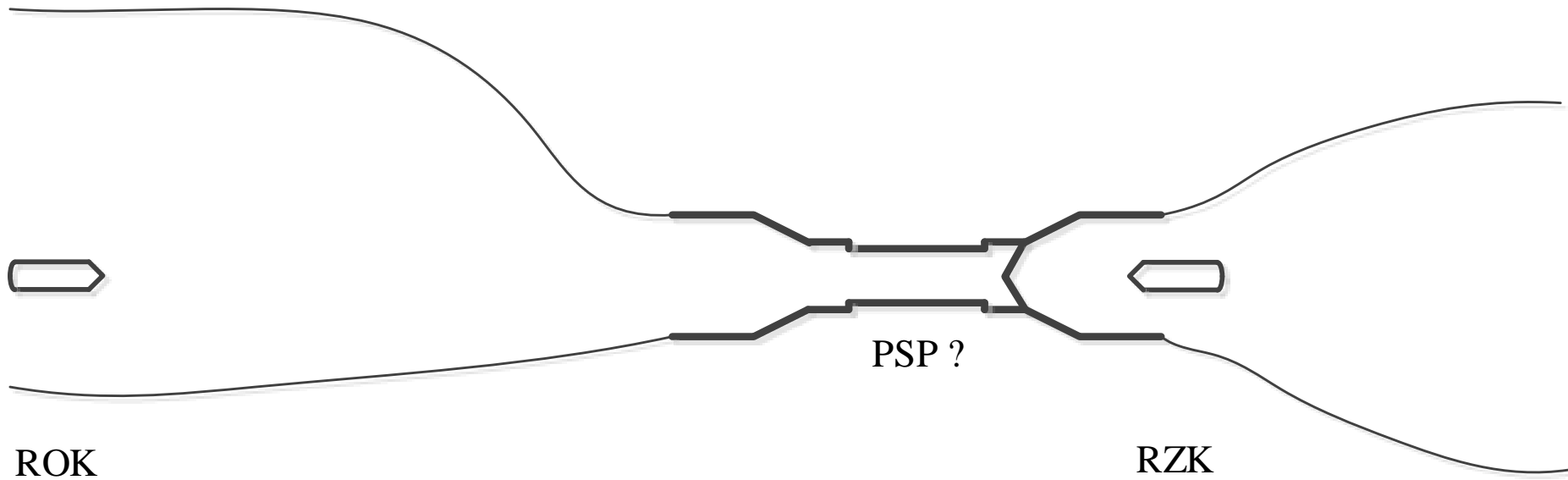
# Model brodske prevodnice



## Pseudo kod

- 1) Inicijalizacija broja prevođenja na prazno (BPnP), ukupnog vremena čekanja (UVČ) i trenutnog vremena
- 2) Čitanje vremena i smera novog dolaska plovila.
- 3) Da li upravljačka logika sprovodi regularno ili prevođenje na prazno?
- 4) Računanje broja prevođenja na prazno
- 5) Da li plovilo čeka ili ne?
- 6) Računanje ukupnog vremena čekanja
- 7) Računanje novog trenutnog vremena simulacije

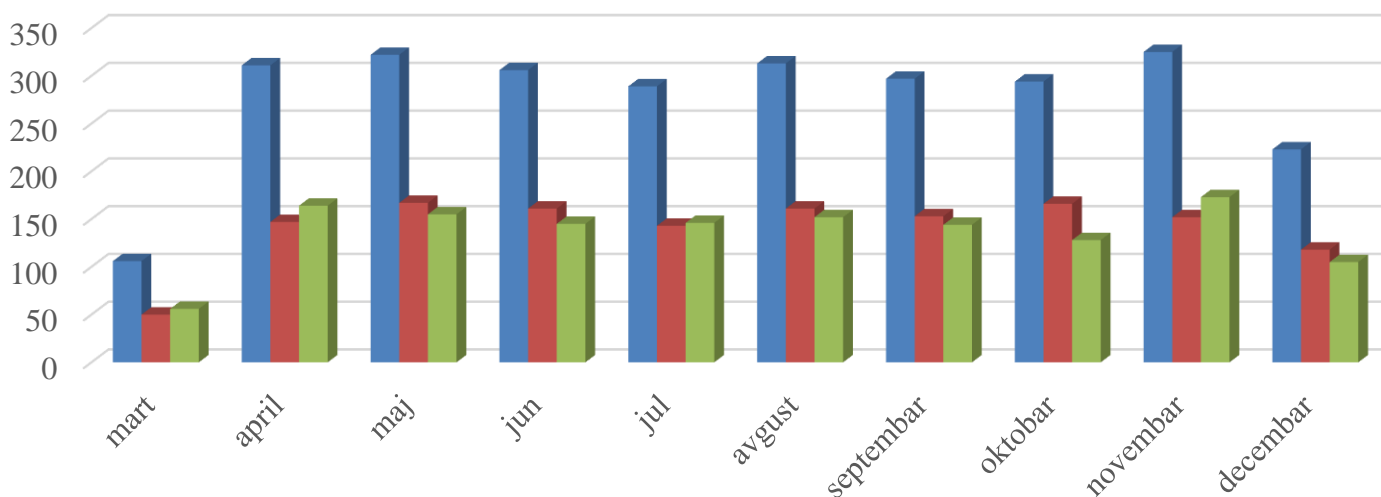
# „Dilema“ situacija



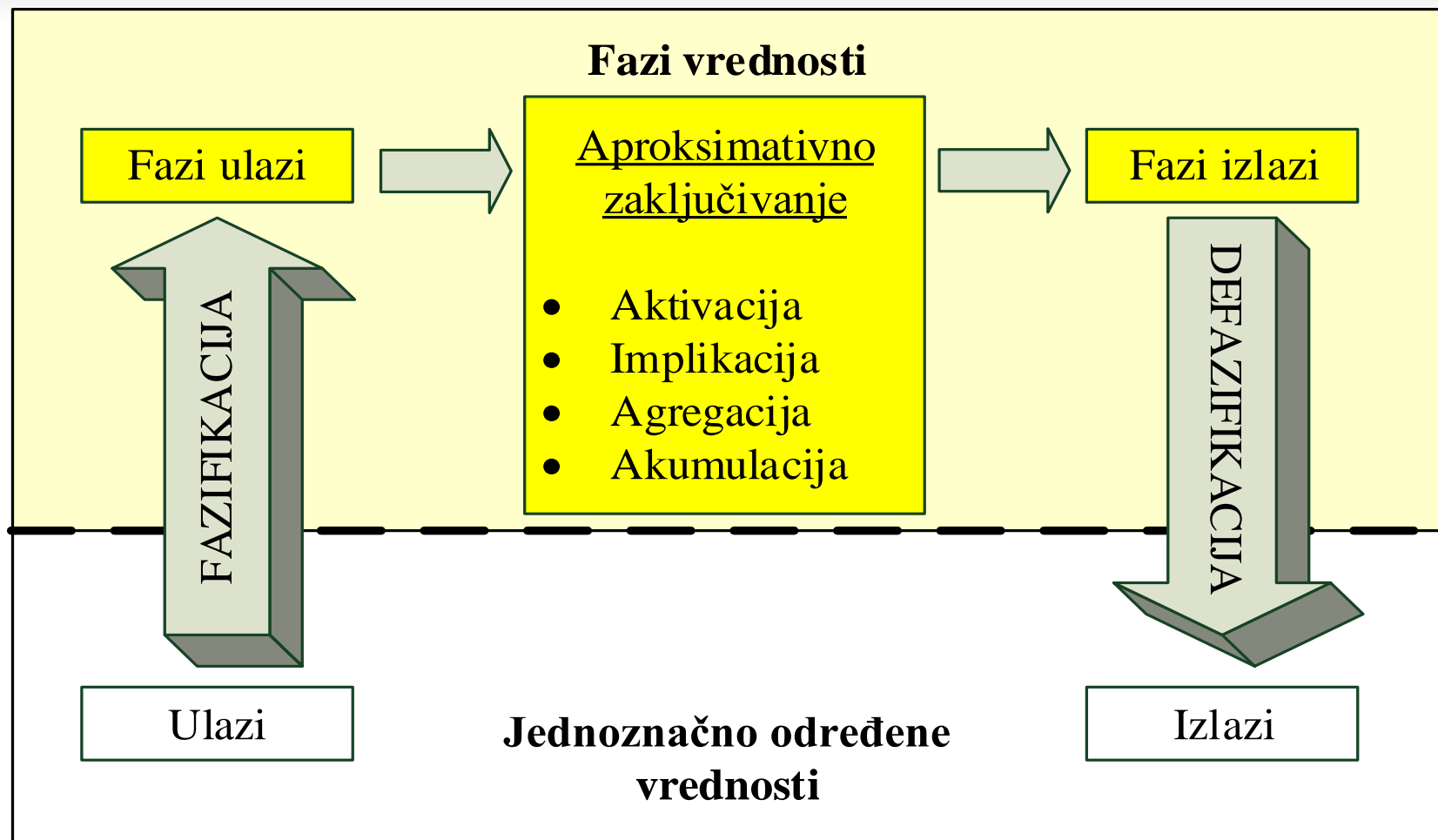
# Skup dolazaka plovila

Mesec	Ukupan broj plovila	Dolasci sa gornjeg nivoa	Dolasci sa donjeg nivoa	Odnos dolazaka dole/gore
<b>mart</b>	106	50	56	1,12
<b>april</b>	311	147	164	1,11
<b>maj</b>	322	167	155	0,93
<b>jun</b>	306	161	145	0,90
<b>jul</b>	289	143	146	1,02
<b>avgust</b>	313	161	152	0,94
<b>septembar</b>	297	153	144	0,94
<b>oktobar</b>	294	166	128	0,77
<b>novembar</b>	325	152	173	1,14
<b>decembar</b>	223	118	105	0,89

■ Ukupan broj plovila  
■ Dolasci sa gornje strane  
■ Dolasci sa donje strane

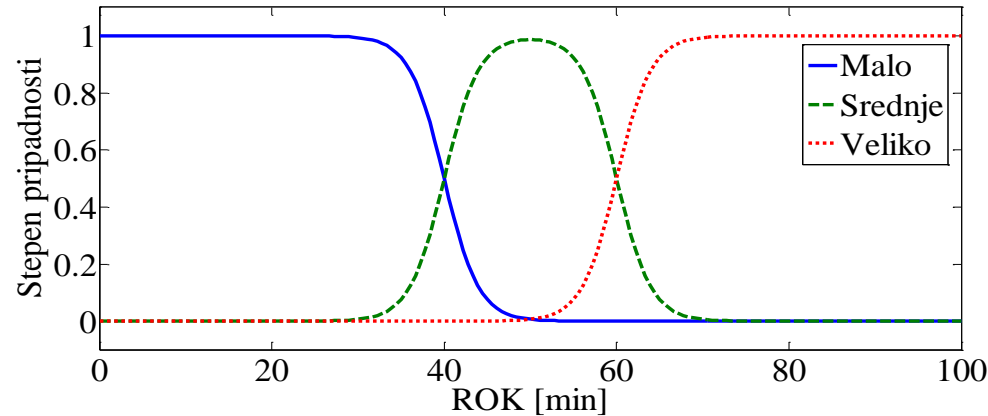


# Fazi ekspertski sistem

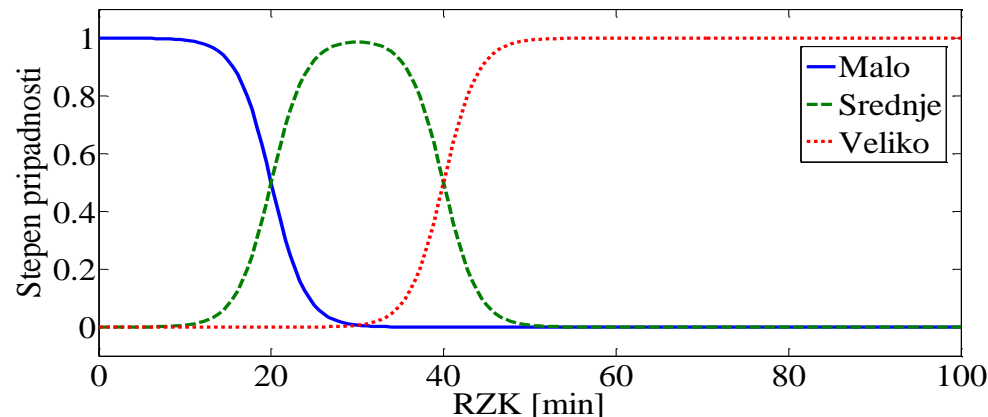


# Ulazne fazi varijable

- Rastojanje najbližeg plovila od prevodnice sa strane gde je otvorena kapija (ROK)



- Rastojanje najbližeg plovila od prevodnice sa strane gde je zatvorena kapija (RZK).

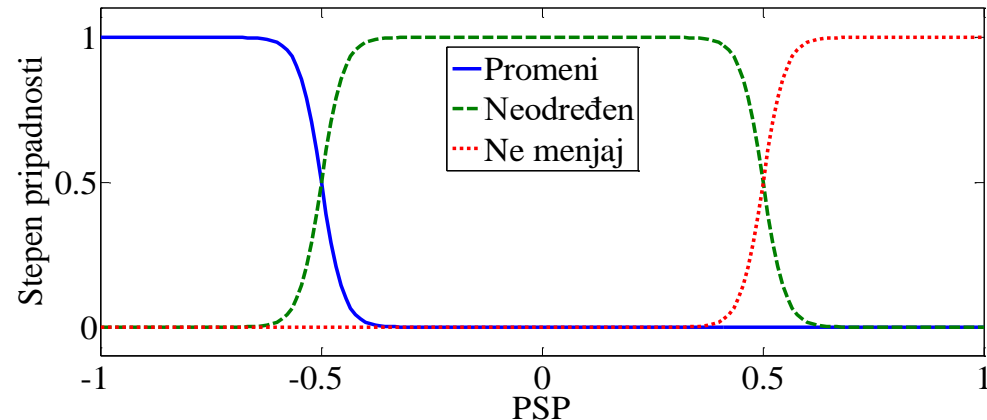


# Izlazna fazi varijabla

- Promena stanja prevodnice (PSP)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$$

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a_1(x-c_1)}} - \frac{1}{1 + e^{-a_2(x-c_2)}}$$

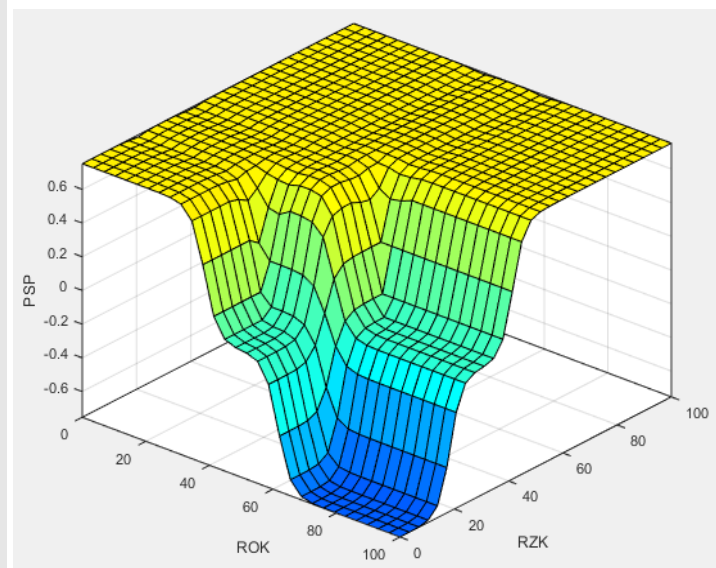
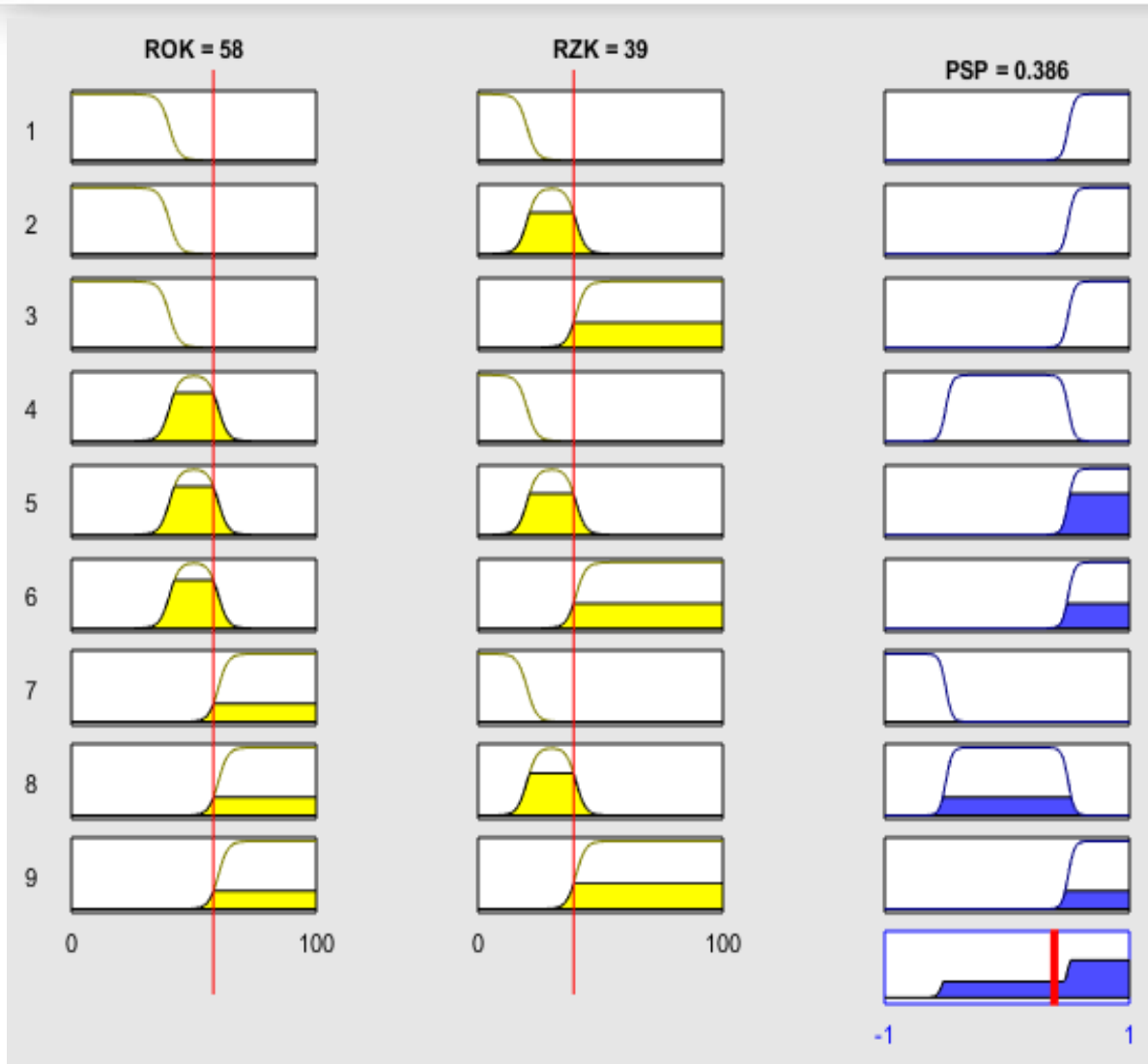


- Mamdani metode
- implikacija: minimizacija
- agregacija: maksimizacija
- defazifikacija: centar mase

ROK	RZK		
	Malo	Srednje	Veliko
Malo	Ne menjaj	Ne menjaj	Ne menjaj
Srednje	Neodređen	Ne menjaj	Ne menjaj
Veliko	Promeni	Neodređen	Ne menjaj



# Fazi mehanizam odlučivanja





# Ispitivanje kombinacija metoda

Implikacija	Agregacija	Defazifikacija	Br. prevođenja na prazno	Prosečno vreme čekanja [min]
<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
Minimum	Maksimum	Bisekcija površi	38	77.59
Minimum	Maksimum	Sredina maksimuma	38	83.14
Minimum	Maksimum	Najveći maksimum	38	83.14
Minimum	Maksimum	Najmanji maksimum	31	788.95
<b>Minimum</b>	<b>Suma</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
Minimum	Suma	Bisekcija površi	38	78.00
Minimum	Suma	Sredina maksimuma	31	788.95
Minimum	Suma	Najmanji maksimum	31	788.95
<b>Minimum</b>	<b>PROBOR</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
<b>Proizvod</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
Proizvod	Maksimum	Bisekcija površi	38	74.94
Proizvod	Maksimum	Sredina maksimuma	38	83.14
<b>Proizvod</b>	<b>Suma</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
Proizvod	Suma	Bisekcija površi	38	78.00
<b>Proizvod</b>	<b>PROBOR</b>	<b>Centar mase</b>	<b>38</b>	<b>69.21</b>
Proizvod	PROBOR	Bisekcija površi	38	78.00
Proizvod	PROBOR	Sredina maksimuma	38	83.14
Proizvod	PROBOR	Najmanji maksimum	38	83.14

# Optimizacija parametara FES-a

- Kriterijum optimalnosti:  $E = A * BPnP + B * SVČ$ 
  - BPnP – ukupan broj prevođenja na prazno u posmatranom vremenskom intervalu;
  - SVČ – srednje vreme čekanja po plovilu u minutima u posmatranom vremenskom intervalu.
- Kompromis između smanjenja troškova rada brodske prevodnice i potrošnje vode i interesa brodara za ostvarivanje što kraćih zadržavanja tokom transportnog procesa.

# Struktura jedinke (čestice)

- 4 koordinate u prostoru rešenja

$$\underline{X_{ROK} \quad Y_{ROK} \quad X_{RZK} \quad Y_{RZK}}$$

- Ograničenja

$$0 \leq X_{ROK} \leq Y_{ROK} \leq 100$$

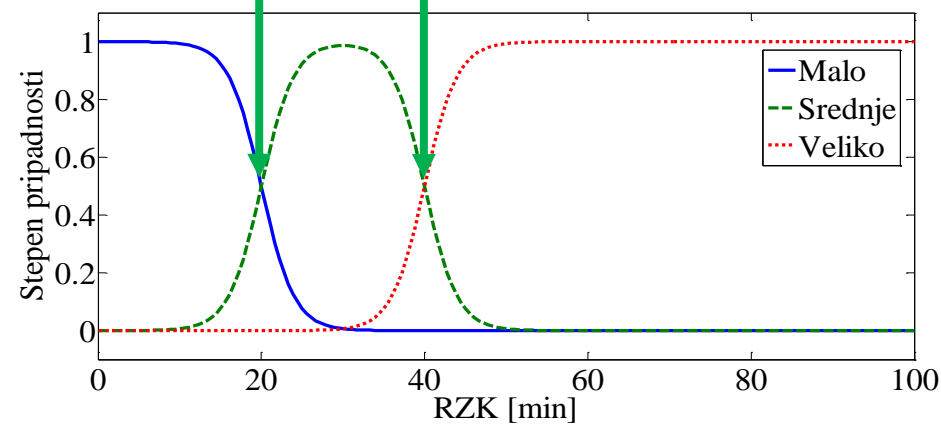
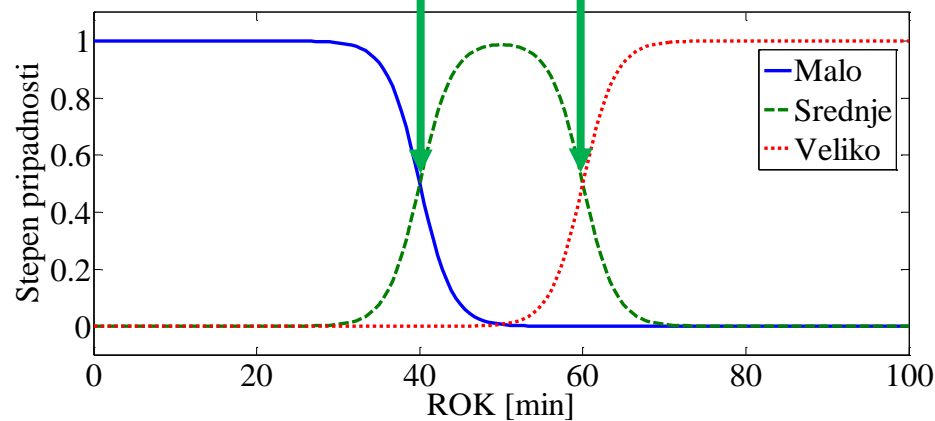
$$0 \leq X_{RZK} \leq Y_{RZK} \leq 100$$

- $X$  i  $Y$  jednoznačno određuju pozicije svih funkcija pripadnosti odgovarajuće ulazne fazi promenljive.

# Struktura jedinke (čestice)

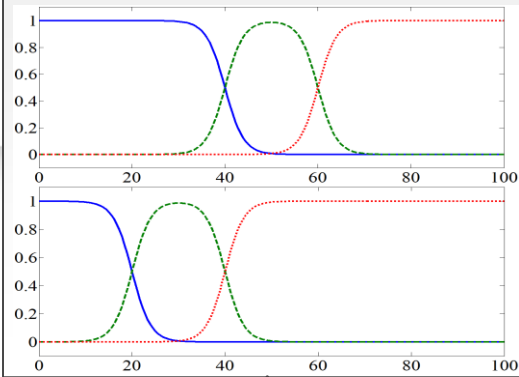
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a_1(x - c_1)}} - \frac{1}{1 + e^{-a_2(x - c_2)}}$$

$X_{ROK}$   $Y_{ROK}$   $X_{RZK}$   $Y_{RZK}$



## Ulazni podaci

Originalni FES



Željeni kriterijum optimalnosti

$$E = A * BPnP + B * SVČ$$

## Optimizacija

Početne vrednosti parametara

$X_{ROK}$ ,  $Y_{ROK}$ ,  $X_{RZK}$ ,  $Y_{RZK}$

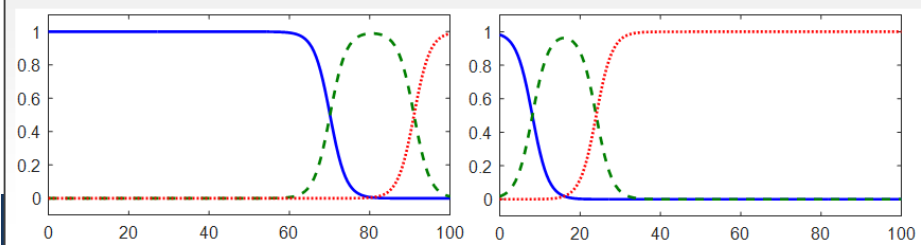
Odabrane vrednosti težinskih faktora  $A$  i  $B$

Optimizacija parametara  $X_i$  i  $Y_i$  nekom od metoda optimizacije (GA, PSO, ABC)

Optimalne vrednosti parametara  
 $X_{ROK}$ ,  $Y_{ROK}$ ,  $X_{RZK}$ ,  $Y_{RZK}$

## Izlaz

Novi FES



# Procedura optimizacije

# Metode optimizacije

- Genetski algoritam (GA)
  - Evoluciona tehnika bazirana na teoriji evolucije
  - 30 jedinki u generaciji, linearno rangiranje, stohastička univerzalna selekcija, uniformna mutacija i uniformno ukrštanje
- Optimizacija zasnovana na roju čestica (PSO)
  - Algoritam inspirisan socijalnim ponašanjem životinja koje se kreću u velikim grupama (posebno ptica)

$$v(k+1) = w * v(k) + cp * rp(k) * (p(k) - x(k)) + cg * rg(k) * (g(k) - x(k))$$

$$x(k+1) = x(k) + v(k+1)$$

Naziv parametra	Početno istraživanje	Drugi deo istraživanja (poređenje metoda)
Veličina populacije	100	30
Maksimalni broj iteracija	10	15
Maksimalna brzina čestice $v_{\max}$	0,4	0,4
Minimalna brzina čestice $v_{\min}$	0,05	0,05
Faktor ubrzanja $cp$	1,1	2,5 -> 0,5
Faktor ubrzanja $cg$	1,2	0,5 -> 2,5
Faktor inercije $w$	0,95 -> 0,4	0,95 -> 0,4

# Metode optimizacije

- Optimizacija zasnovana na veštačkoj koloniji pčela (ABC)
  - Relativno novi numerički algoritam optimizacije
  - Zasnovan na simulaciji kretanja roja pčela u potrazi za hranom
  - Pozicija izvora hrane predstavlja moguće rešenje problema optimizacije a količina nektara u izvoru hrane odgovara vrednosti kriterijuma optimalnosti u tom rešenju.
  - Tri grupe pčela: pčele radilice, posmatrači i skauti.

# Rezultati posle optimizacije

Upravljački algoritam	Broj prevođenja na prazno	Srednje vreme čekanja po plovilu [min]	Ekonomski kriterijum (A = B = 1)
Originalni FES	768	138,0	906,0
FES optimizovan sa PSO	<b>744</b>	<b>135,6</b>	<b>879,6</b>
Minimalno vreme čekanja	1410	4,2	1.414,2
Minimalni broj prevođenja	50	3.090,9	3.140,9

Parametar FES-a	Originalni FES	FES11	FES41	FES14
$X_{ROK}$	40	38,89	70,11	30,87
$Y_{ROK}$	60	61,94	91,03	55,53
$X_{RZK}$	20	22,31	8,10	71,39
$Y_{RZK}$	40	44,20	24,00	87,46

FES11

(A:B = 1:1; A=B=1)

FES41

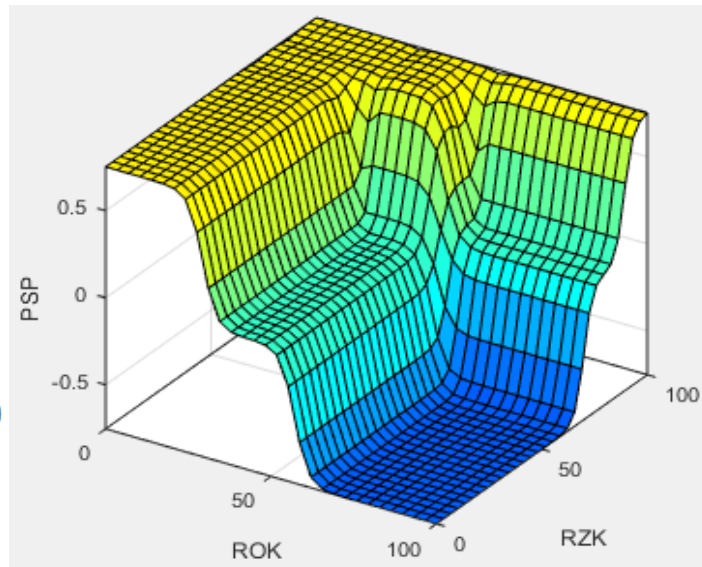
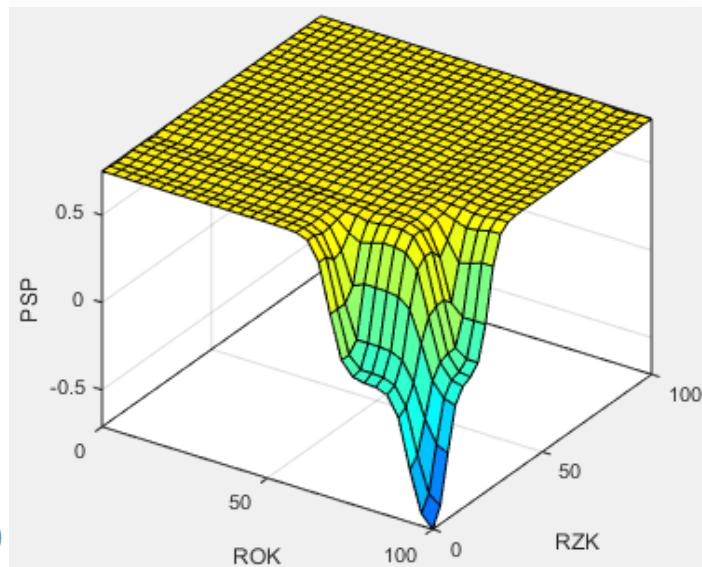
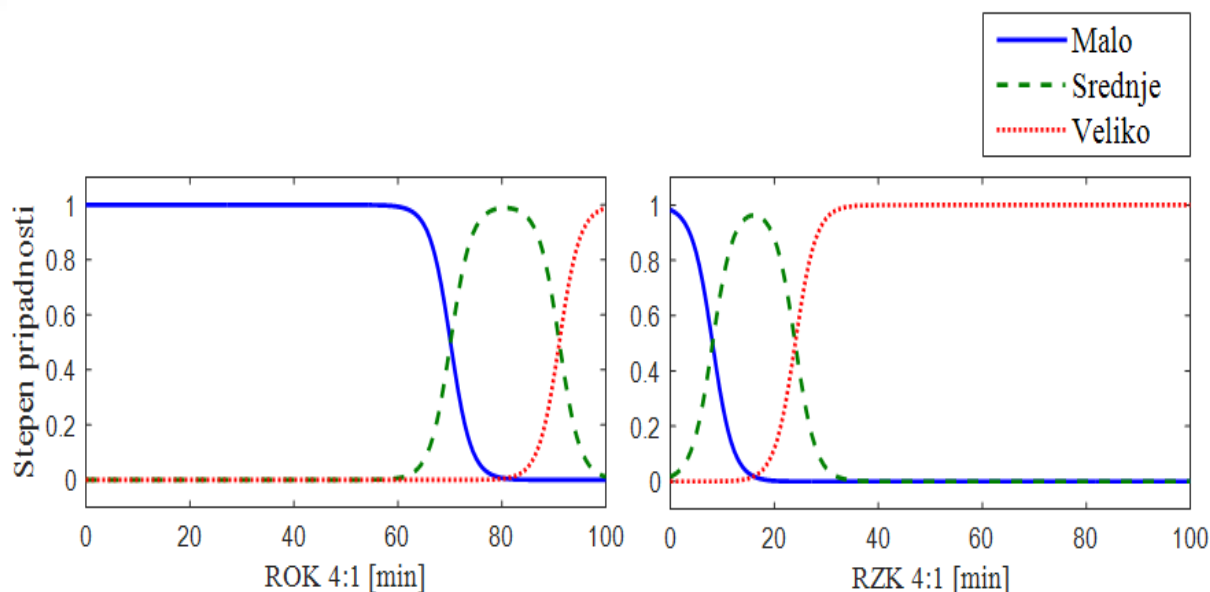
(A:B = 4:1; A=2, B=0,5)

FES14

(A:B = 1:4; A=0,5, B=2)



# Rezultati posle optimizacije



# Rezultati posle optimizacije

Fazi ekspertski sistem	Broj prevođenja na prazno u toku godine (BPnP)	Srednje vreme čekanja (SVČ) [min]
Originalni	768	138,0
FES11	744	135,6
FES41	670	144,2
FSE14	842	112,5

Fazi ekspertski sistem (FES)	Broj prevođenja na prazno (BPnP) [%]	Srednje vreme čekanja (SVČ) [%]
FES11	+3.13	+1.75
FES41	+12.76	-4.48
FES14	-9.64	+18.49

# Uporedni pregled metoda optimizacije

		Upravljačka strategija					
		MVČ	MBP	Originalni FES	Optimizovani FES		
					GA	PSO	ABC
FES14	BPnP	1.410	50	746	824	822	802
	SVČ [min]	4,2	3.090,9	137,3	114,2	114,6	115,9
	Vrednost kriterijuma	713,4	6.206,7	647,6	640,3	640,3	<b>632,9</b>
FES11	BPnP	1.410	50	746	726	720	726
	SVČ [min]	4,2	3.090,9	137,3	137,9	140,5	137,8
	Vrednost kriterijuma	1.414,2	3.140,9	883,3	863,9	<b>860,5</b>	863,8
FES41	BPnP	1.410	50	746	670	670	676
	SVČ [min]	4,2	3.090,9	137,3	144,2	144,2	144,4
	Vrednost kriterijuma	2.822,1	1.645,4	1.560,7	<b>1.412,1</b>	<b>1.412,1</b>	1.424,2

---

**KRAJ**