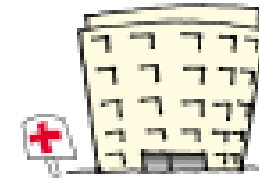


KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA

Silvija Vlah
Zagreb, 24.01.2008.



VNS heuristic for scheduling of patients in hospitals

Silvija Vlah¹

Zrinka Lukač¹

Joaquin Pacheco²

¹Faculty of Economics, University of Zagreb

²Facultad de C Económicas y Empresariales

Universidad de Burgos

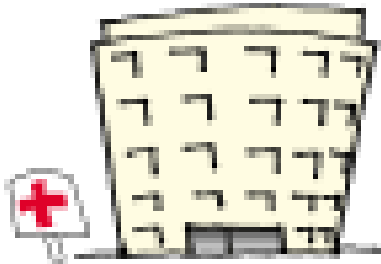


SARDŽAJ PREZENTACIJE:

- ❑ **Opis problema**
- ❑ **Formulacija problema matematičkog programiranja**
- ❑ **Opis metode rješavanja**
- ❑ **Numerički rezultati**
- ❑ **Zaključak**



Motivacija:



Program koji izrađuje dnevni raspored medicinskih tretmana pacijenata u bolnici:

- ❑ **raspoloživi resursi u vidu strojeva i medicinskog osoblja**
- ❑ **dodjela osoblja tretmanima koji se izvršavaju**
- ❑ **efikasno iskorištenje kapaciteta**



Pacijenti:

- Tretman koji se treba obaviti
- Različiti prioriteti
- Tretman se sastoji iz različitog broja procedura
- Procedure se trebaju obaviti u određenom redoslijedu
- Procedura se obavlja na određenoj vrsti stroja
- Procedura traje određeni broj vremenskih jedinica

Tretman i

Procedura 1

Procedura 3

Procedura 2

Procedura 5

trajanje p_1

trajanje p_3

trajanje p_2

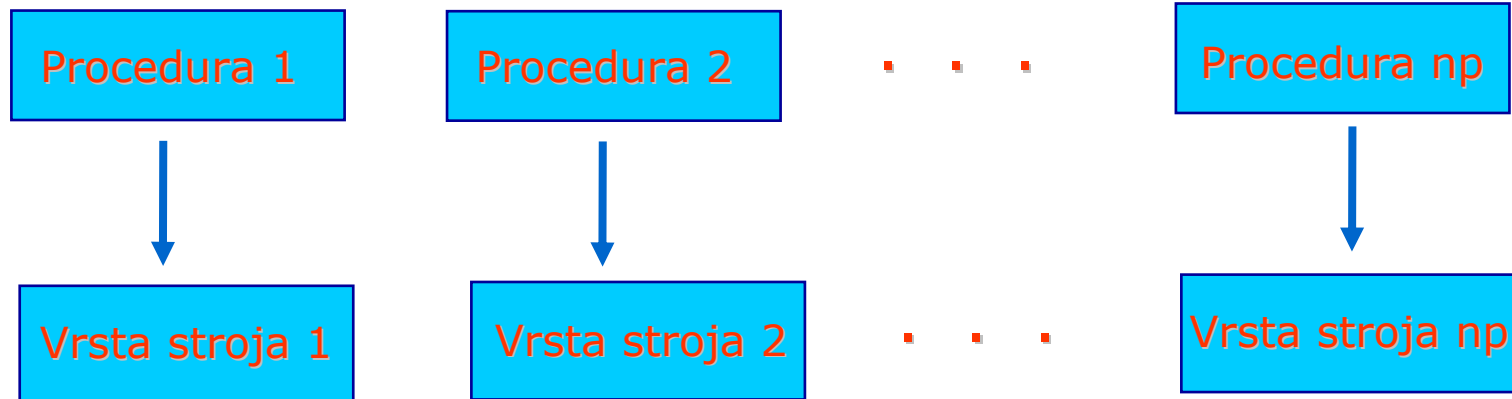
trajanje p_5



Srojevi:



- Svaka procedura zahtijeva upotrebu određene vrste stroja

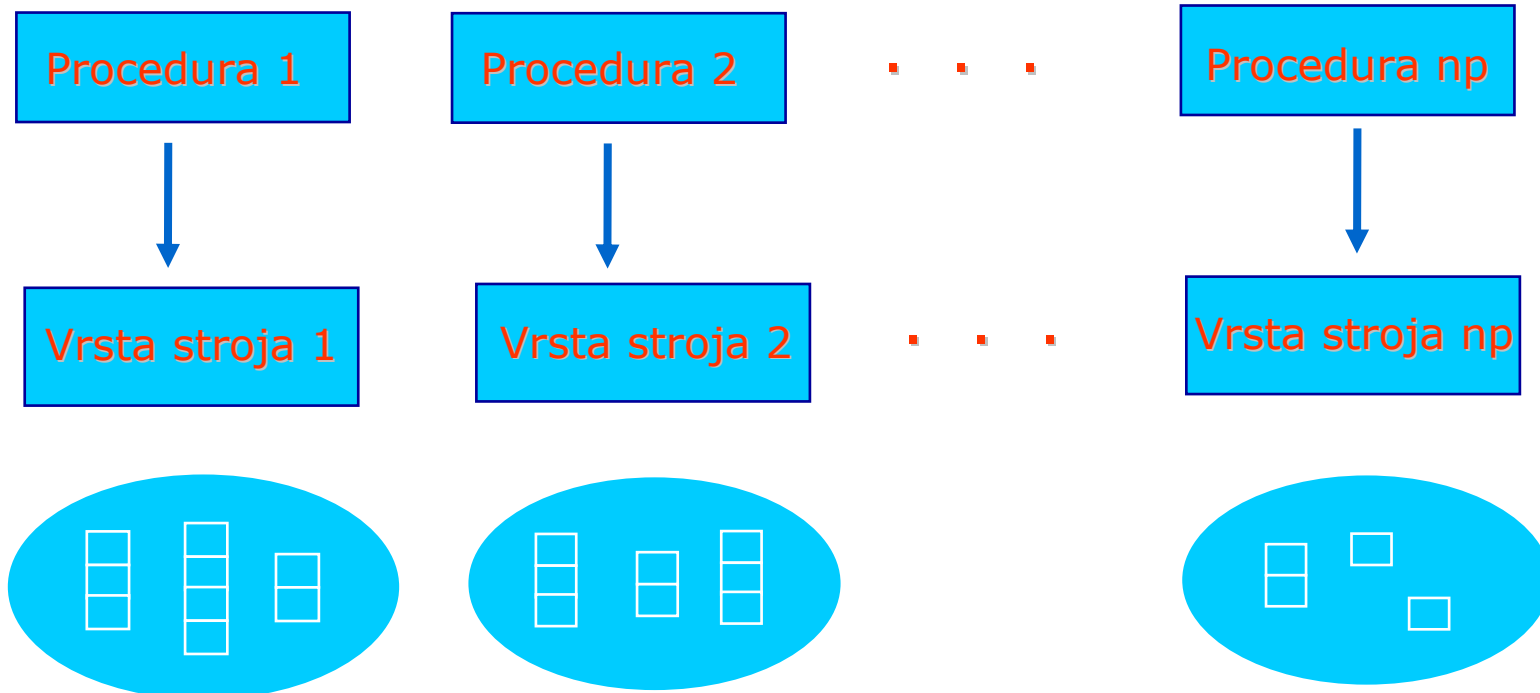




Strojevi:



- Postoji različit broj strojeva svake vrste (strojevi mogu predstavljati sobe, aparaturu i slično)
- Svaki stroj ima kapacitet - broj pacijenata koji se istovremeno na njemu mogu tretirati



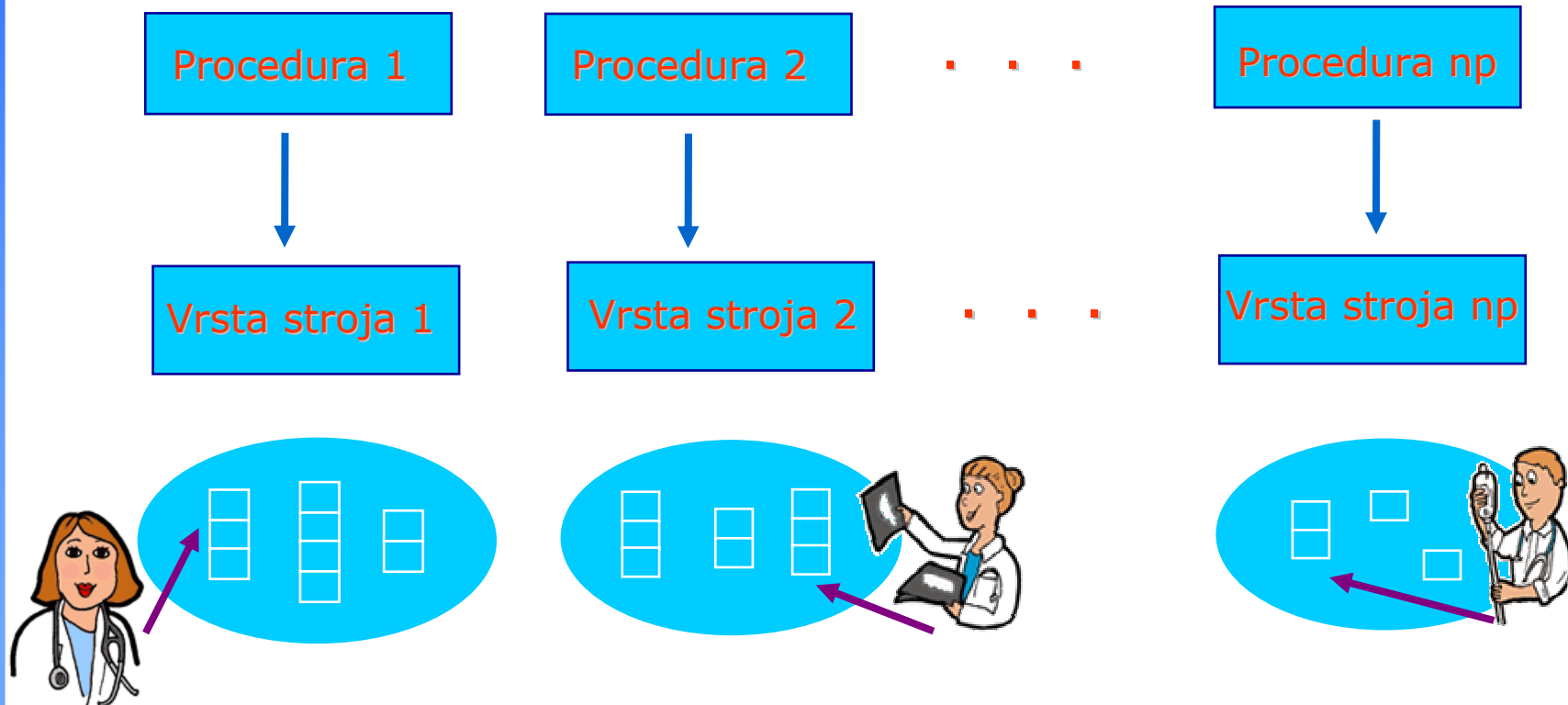


KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA

Strojevi:



- Svakim strojem operira član medicinskog osoblja

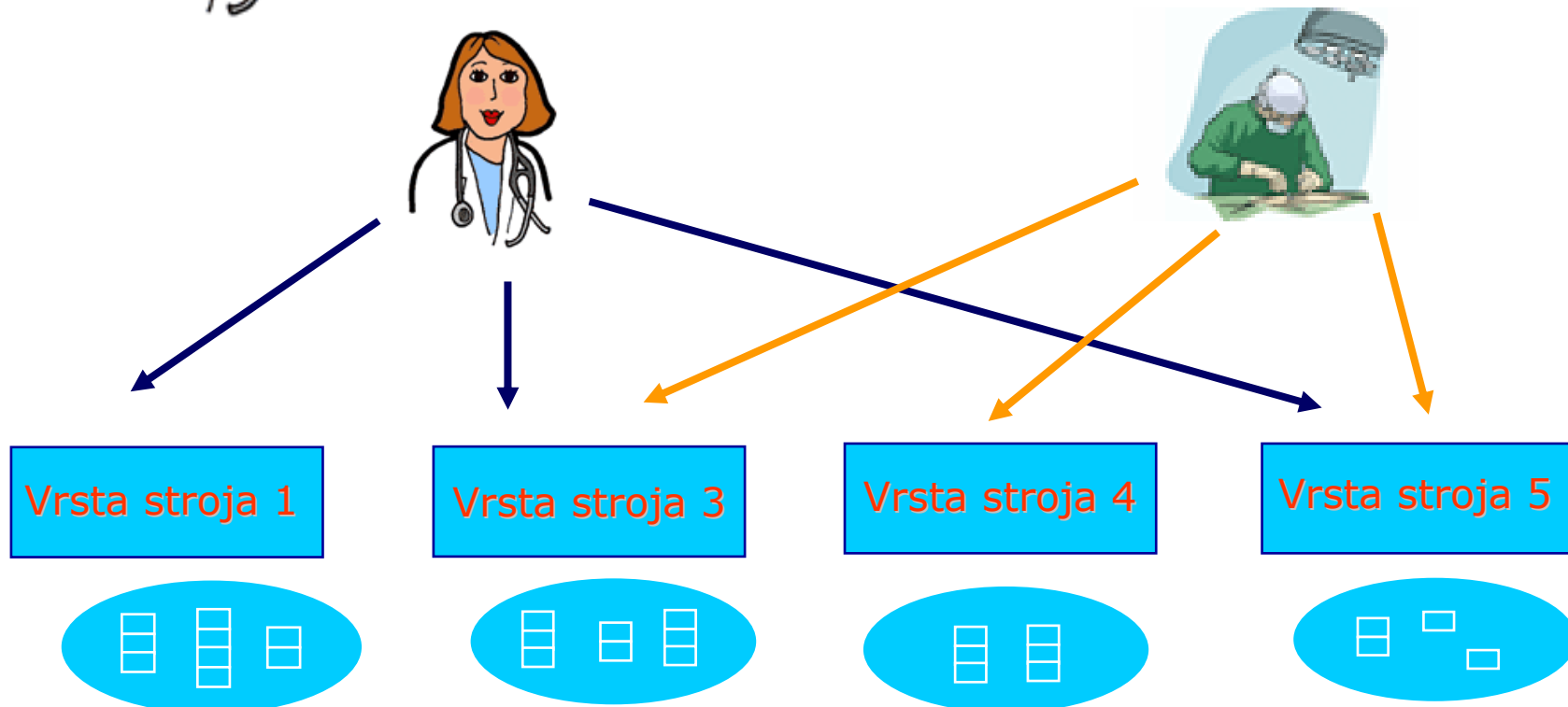




Medicinsko osoblje:



- Medicinsko osoblje je specijalizirano za rad na određenoj vrsti strojeva
- Skupovi njihovih specijalnosti nisu disjunktni

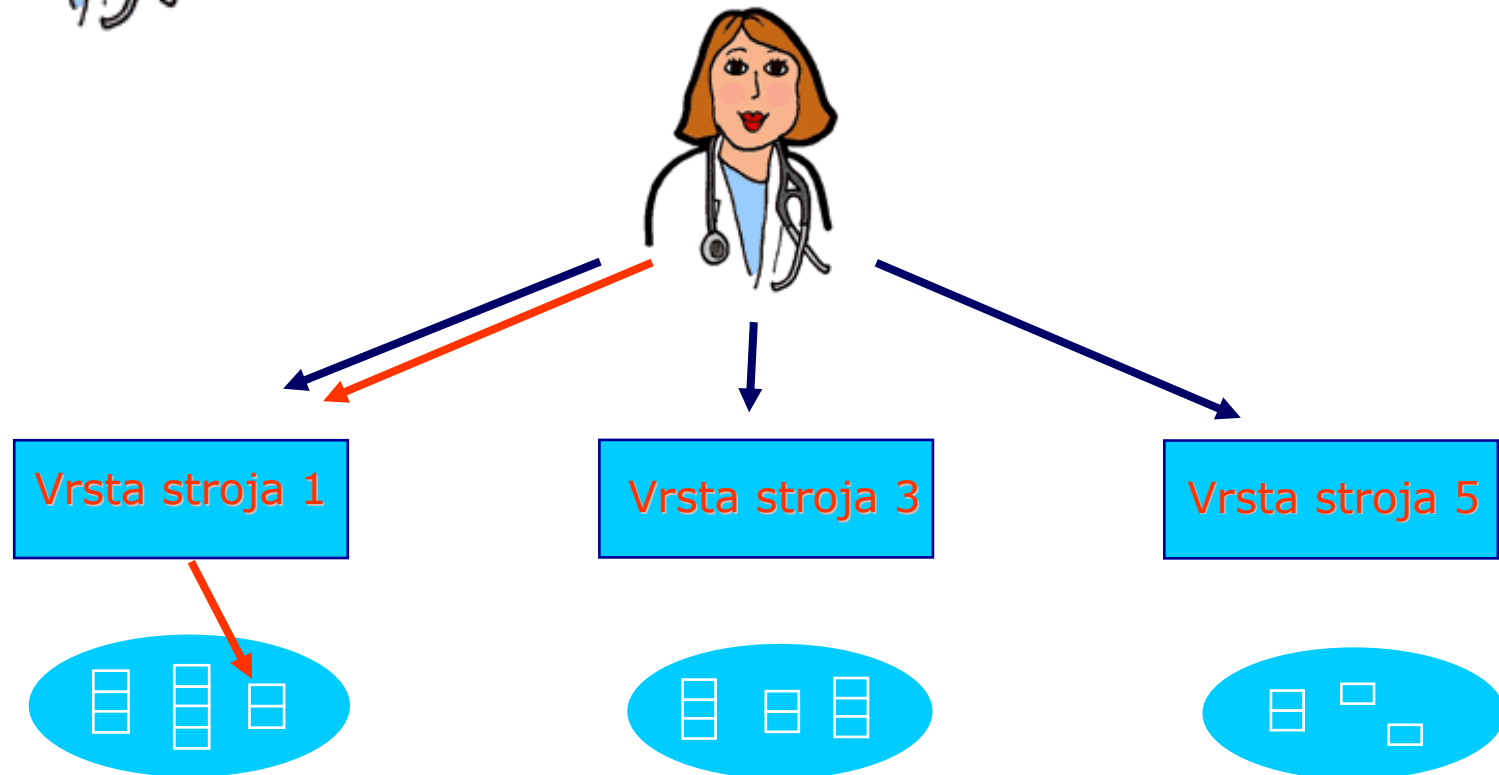




Medicinsko osoblje:

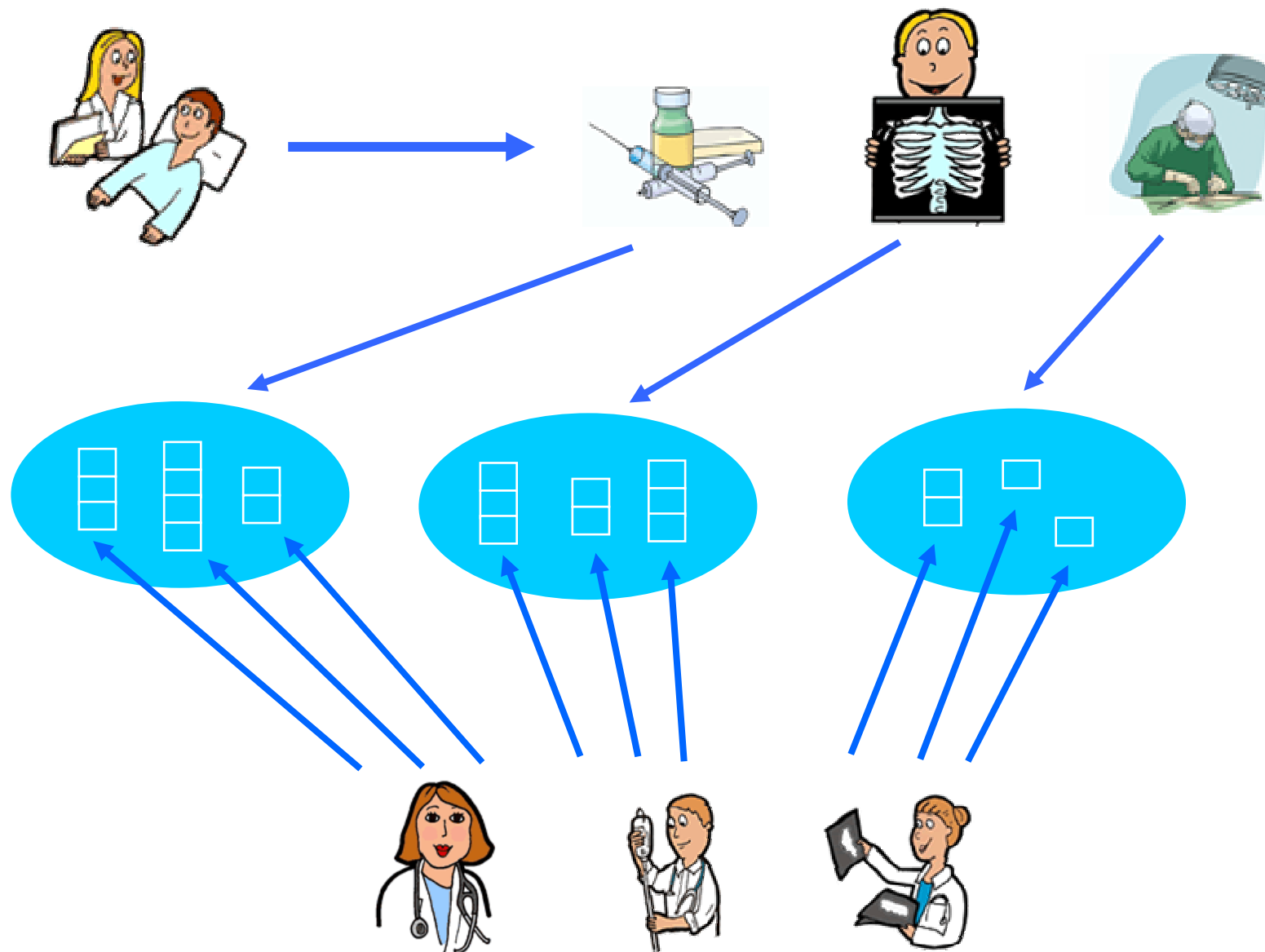


- Osoba može raditi samo na jednom stroju u jednom trenutku





KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA





Matematički model:

Indeksi:

i - vrsta procedure,

$$i = 1, \dots, np$$

j - tretman, $j = 1, \dots, n$

l - vrsta stroja

s - stroj unutar jedne vrste
strojeva

t - vremenski trenutak,

$$t = 1, \dots, HT$$

Parametri:

g - broj vrsta procedura

n - broj tretmana

HT - vremenski horizont

nm_j - broj strojeva vrste stroja j

cmt_j - zbroj kapaciteta strojeva vrste j

$treatment[i]$ - niz procedura tretmana i

$last_i$ - posljednja procedura tretmana i

dur_last_i - trajanje posljednje procedure tretmana i

$next_{ij}$ - sljedbenik procedure j u tretmanu i

dur_j - trajanje procedure j

M - veliki broj

$capac_{jl}$ - kapacitet stroja l unutar vrste j

$doctor[j]$ - niz doktora koji mogu obavljati proceduru j



Matematički model:

Varijable odlučivanja:

$$Y_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{ako procedura } j \text{ tretmana } i \text{ počinje u trenutku } t \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

$$W_{jst} = \begin{cases} 1 & \text{ako procedura } j \text{ počinje na mjestu } s \text{ u trenutku } t \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

$$D_{djlt} = \begin{cases} 1 & \text{ako doktor } d \text{ počinje izvršavati proceduru } j \text{ na} \\ & \text{stroju } l \text{ (vrste } j \text{) u trenutku } t \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

$$NI_i = \begin{cases} 1 & \text{ako se tretman } i \text{ neće obaviti taj dan} \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

pomoćna varijabla koja se koristi za
brojanje tretmana koji će se taj dan izvršiti



Matematički model:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{HT} Y_{ijt} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^n Y_{ijt} \leq \sum_{s=1}^{cmt_j} W_{jst} \quad \forall t, \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^{HT-dur_last_i} Y_{ijt} + NI_i = 1 \quad \forall i, \forall j \in treatment[i] \quad (3)$$

$$\sum_{t=HT-dur_last_i+1}^{HT} Y_{ijt} = 0 \quad \forall i, \forall j \in treatment[i] \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^{HT} Y_{ijt} = 0 \quad \forall i, \forall j \notin treatment[i] \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{HT} t \cdot Y_{i,next_{ij},t} - \sum_{t=1}^{HT} t \cdot Y_{ijt} = dur_j \cdot (1 - NI_i) \quad \forall j \in treatment[i] \setminus last_i \quad (6)$$



Matematički model:

$$\sum_{t_1=t}^{t+dur_j-1} W_{jst_1} \leq 1 \quad \forall j, \forall s = 1, \dots, cmt_j, \forall t = 1, \dots, (HT - dur_j + 1) \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^{cmt_j} \sum_{t=HT-dur_j+1}^{HT} W_{jst} = 0 \quad \forall j \quad (8)$$

$$capac_{jl} \cdot \sum_{d \in doctor[j]} D_{djlt} \geq \sum_{s=K_{j,l-1}+1}^{K_{jl}} W_{jst} \quad \forall j, \forall l = 1, \dots, nm_j, \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{j_1=1}^g \sum_{l=1}^{nm_{j_1}} \sum_{t_1=t}^{t+dur_{j_1}-1} D_{d,j_1,l,t_1} \leq 1 \quad \forall j, \forall t = 1, \dots, (HT - dur_j + 1), \forall d \in doctor[j] \quad (10)$$

$$Y_{ijt}, W_{jst}, D_{djlt}, NI_i \in \{0,1\} \quad (11)$$

Puno 0-1 varijabli!



Metoda pretraživanja promjenjivih okolina

- ❑ Lokalni minimum u jednoj okolini nije nužno lokalni minimum druge okoline
- ❑ Globalni minimum je lokalni minimum obzirom na sve moguće okoline

Osnovna ideja: sistematično pretraživanje različitih okolina u cilju “bijega” iz lokalnog optimuma

eng. variable neighborhood search – VNS
(N. Mladenović, P. Hansen, 1997.)



Metoda pretraživanja promjenjivih okolina

Inicijalizacija

Odaberi strukturu okolina N_k

Nađi početno rješenje x

Ponavljaj dok se ne zadovolji kriterij zaustavljanja

- Postavi $k = 1$
- **Ponavljaj** dok ne bude $k = k_{\max}$
 - Shaking: Odaberi slučajnu točku x' u $N_k(x)$
 - Local search: x'' je dobiveno rješenje
 - Move or not:
 - Ako je** x'' bolje od x onda postavi $x = x''$ i $k = 1$
 - Inače** $k = k + 1$



DVIJE RELAKSACIJE

- Dozvoljava se prekoračenje kapaciteta stroja
- Dozvoljava se osoblju da radi na dva ili više strojeva istovremeno

CILJ

- Maksimiziraj broj tretmana koji će se obaviti (obzirom na prioritet)
- Minimiziraj kazne za prekoračene kapacitete strojeva
- Minimiziraj kazne za rad osobe na dva ili više strojeva istovremeno



Rješenje S je bolje od rješenja S' ako donosi redom:

- Manje kazne za narušena ograničenja osoblja
- Manje kazne za narušena ograničenja kapaciteta strojeva
- Više raspoređenih pacijenata prve razine prioriteta
- Više raspoređenih pacijenata druge razine prioriteta
- ...
- Manji broj vremenskih perioda u kojima svi strojevi rade
- Manji broj vrem. perioda u kojima svaki član osoblja radi
- može biti i drugih kriterija...



Osnovni postupci

(određuju strukturu okolina):

- ❑ **Brisanje tretmana iz dnevnog rasporeda**
- ❑ **Ubacivanje tretmana u dnevni raspored**

Napomena: koristi se verzija VNS-a bez
lokalnog pretraživanja sa navođenjem
(ne potpuno skroz slučajni odabiri)



RVNS (*rmax*, *max_iter*)

Konstruiraj početno rješenje *S* u kojem se svi tretmani obavljaju

Generiraj rješenje *Sbest* iz *S* projicirajući na dopustivo rješenje

Ako su svi tretmani raspoređeni, završi

postavi *niter:=0* i *iter_best:=0*

Ponavljaj dok nije *niter = max_iter* // ili neki drugi kriterij zaustavljanja

niter:= niter+1; k:=0

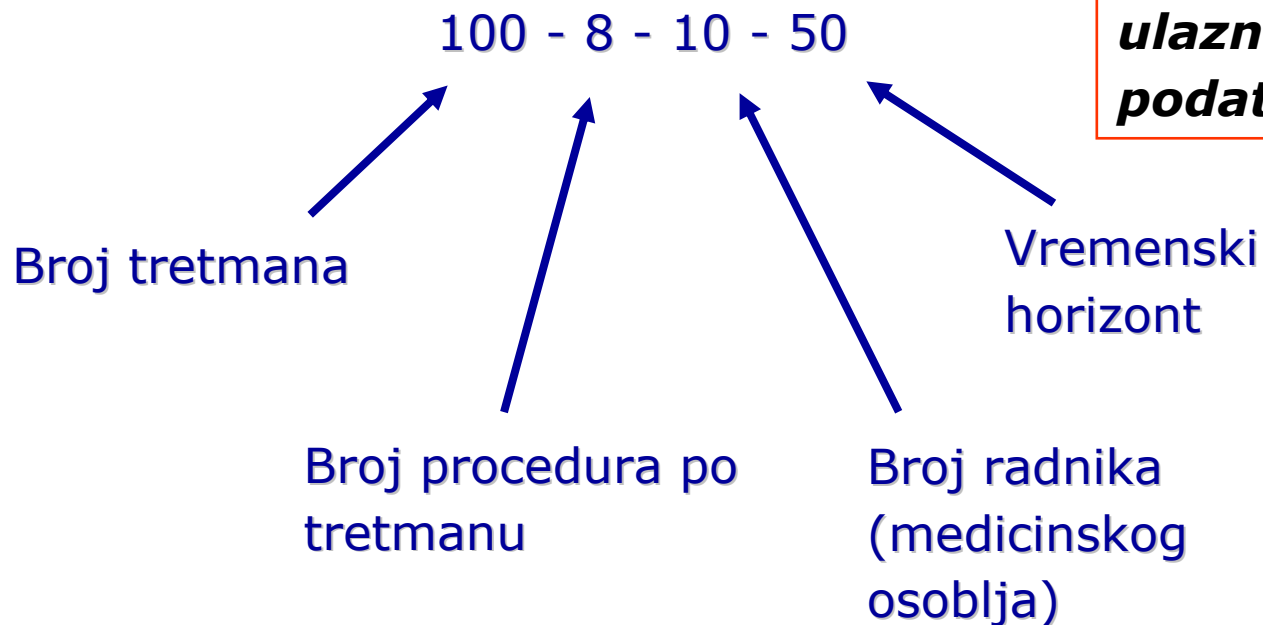
Ponavljaj dok nije *k = kmax*

- *k:=k+1;*
- generiraj *S1* iz *S* izvršavajući *Shaking(k, S, S1)*
- projiciraj *S1* na dopustivo rješenje *S2*
- **ako je** *S1* bolje od *S* onda: *S := S1* i *k:=0*
- **ako je** *S2* bolje od *Sbest* onda: *Sbest:=S2*
- **ako su** svi tretmani raspoređeni u *Sbest*, završi



Numerički rezultati

Radi lakše usporedbe rezultata promatrat će se slučaj sa
jednakim prioritetima svih tretmana

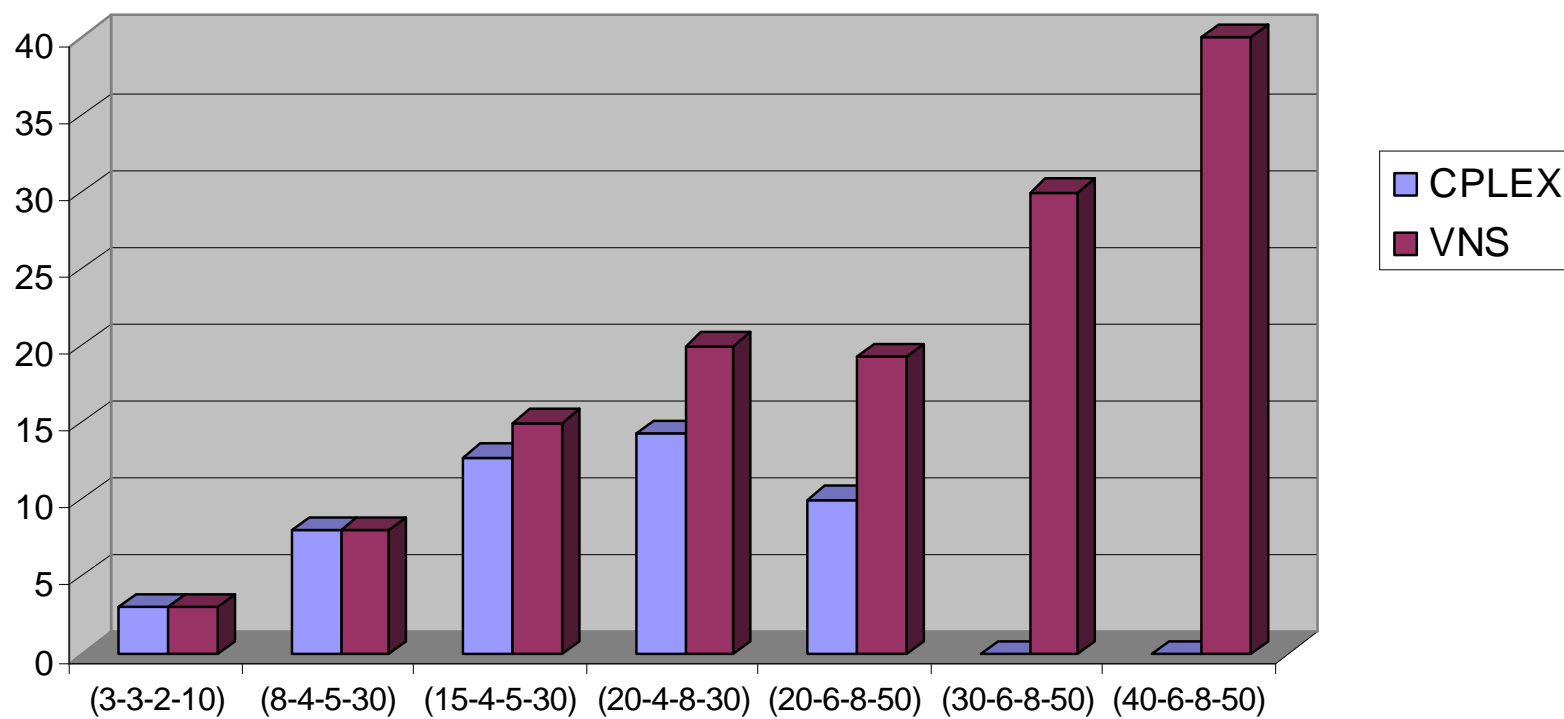


***Vremena ovise
i o "težini"
ulaznih
podataka***



KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA

Broj raspoređenih tretmana

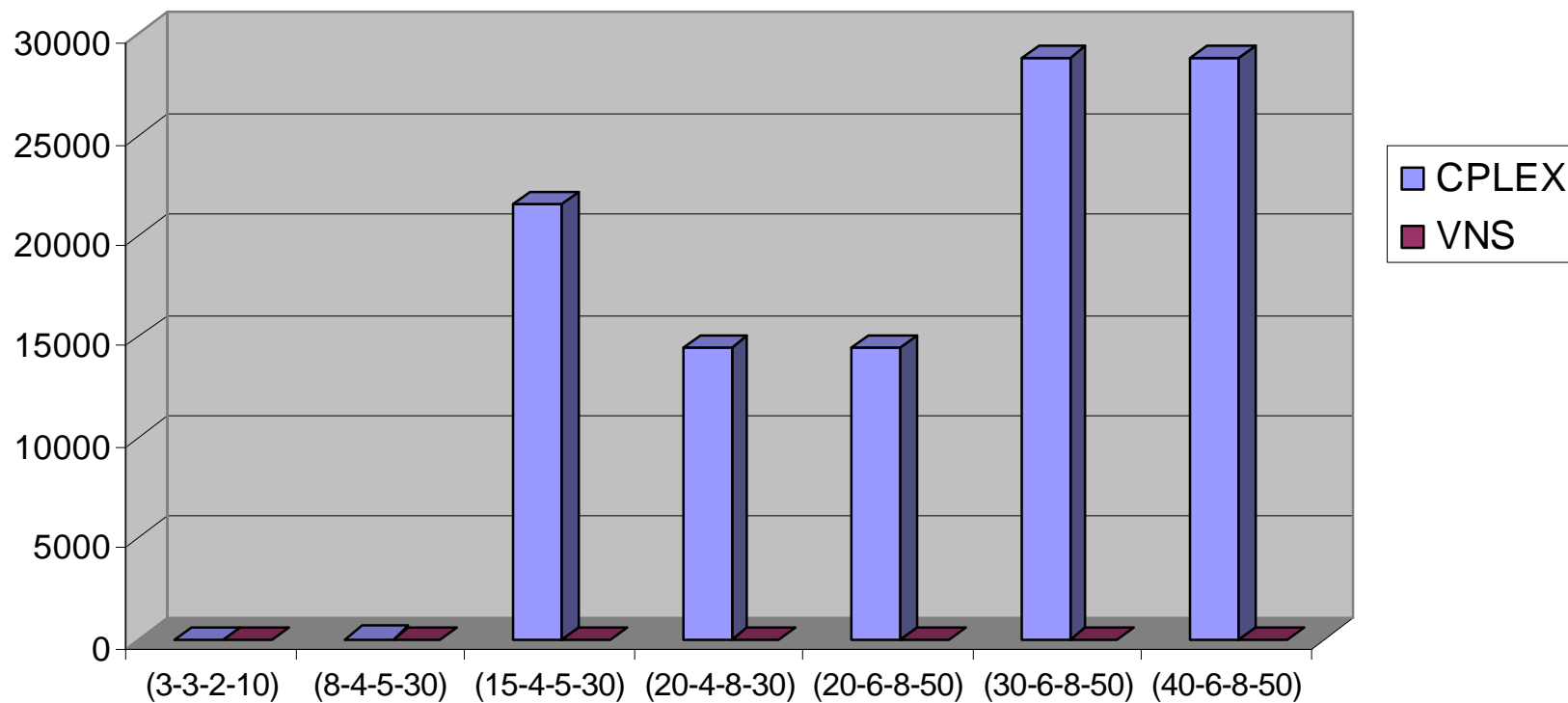


CPLEX ograničen na 8h



KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA

Vrijeme izvršavanja (u sekundama)



CPLEX ograničen na 8h



Broj raspoređenih tretmana

Instance	HT = 50	HT = 60	HT = 70
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-1.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-2.dat</i>	97	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-3.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-4.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-5.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-6.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-7.dat</i>	100	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-8.dat</i>	94	100	100
<i>data-large\isdata-100-8-10-50-9.dat</i>	98	100	100

Možda svi niti ne stanu...



Broj raspoređenih tretmana

Instance	HT = 50	HT = 60	HT = 70
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-1.dat</i>	111	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-2.dat</i>	120	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-3.dat</i>	120	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-4.dat</i>	115	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-5.dat</i>	110	117	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-6.dat</i>	120	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-7.dat</i>	118	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-8.dat</i>	109	120	120
<i>data-large\isdata-120-8-10-50-9.dat</i>	113	120	120



Broj raspoređenih tretmana

Instance	HT = 50	HT = 60	HT = 70
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-1.dat</i>	129	148	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-2.dat</i>	121	137	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-3.dat</i>	132	149	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-4.dat</i>	143	149	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-5.dat</i>	124	144	149
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-6.dat</i>	132	149	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-7.dat</i>	130	143	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-8.dat</i>	126	148	150
<i>data-large\isdata-150-8-10-50-9.dat</i>	116	131	139



Broj raspoređenih tretmana

Instance	HT = 50	HT = 60	HT = 70
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-1.dat</i>	136	151	164
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-2.dat</i>	131	145	163
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-3.dat</i>	123	141	161
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-4.dat</i>	126	135	152
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-5.dat</i>	129	150	164
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-6.dat</i>	123	143	163
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-7.dat</i>	108	129	142
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-8.dat</i>	117	136	151
<i>data-large\isdata-170-8-10-50-9.dat</i>	121	136	153



Broj raspoređenih tretmana

Instance	HT = 50	HT = 60	HT = 70
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-1.dat</i>	131	151	169
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-2.dat</i>	152	175	196
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-3.dat</i>	140	163	185
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-4.dat</i>	165	190	200
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-5.dat</i>	129	146	168
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-6.dat</i>	141	165	187
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-7.dat</i>	139	159	176
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-8.dat</i>	154	179	200
<i>data-large\isdata-200-8-10-50-9.dat</i>	158	179	188



Broj raspoređenih tretmana i vrijeme izvršavanja

Instances	Complete	<i>Time</i>	No GRASP	No Local Search	Stripped	ReStarted	Iterated L. Search	
100	1	100	<i>1.673</i>	100	99	100	89	87
	2	97	<i>7.040</i>	99	96	99	90	86
	3	100	<i>0.591</i>	100	100	100	90	90
	4	100	<i>0.220</i>	100	100	100	92	90
	5	100	<i>0.220</i>	100	100	100	93	93
	6	100	<i>1.522</i>	100	100	100	98	91
	7	100	<i>0.211</i>	100	100	100	93	93
	8	94	<i>6.099</i>	99	97	99	91	84
	9	98	<i>5.618</i>	99	100	98	95	90



Broj raspoređenih tretmana i vrijeme izvršavanja

Instances	Complete	<i>Time</i>	No GRASP	No Local Search	Stripped	ReStarted	Iterated L. Search	
120	1	111	7.500	113	113	113	101	97
	2	120	0.441	120	120	120	115	115
	3	120	0.441	120	120	120	110	108
	4	115	13.199	118	114	118	106	101
	5	110	8.522	112	109	110	99	96
	6	120	1.302	120	120	120	119	111
	7	118	14.571	120	117	120	106	104
	8	109	7.801	111	110	113	98	97
	9	113	7.220	120	114	120	103	101



Broj raspoređenih tretmana i vrijeme izvršavanja

Instances	Complete	<i>Time</i>	No GRASP	No Local Search	Stripped	ReStarted	Iterated L. Search	
150	1	129	<i>14.430</i>	130	128	128	114	111
	2	121	<i>12.709</i>	120	119	118	108	103
	3	132	<i>10.064</i>	133	131	135	127	119
	4	143	<i>6.700</i>	145	142	145	134	131
	5	124	<i>11.947</i>	128	121	131	111	111
	6	132	<i>8.833</i>	137	138	136	120	120
	7	130	<i>14.370</i>	127	125	125	113	108
	8	126	<i>9.844</i>	128	125	128	114	115
	9	116	<i>18.577</i>	112	118	114	103	105



Broj raspoređenih tretmana i vrijeme izvršavanja

Instances	Complete	<i>Time</i>	No GRASP	No Local Search	Stripped	ReStarted	Iterated L. Search	
170	1	136	29.553	135	134	133	120	119
	2	131	16.944	132	128	132	119	121
	3	123	12.127	126	123	124	113	111
	4	126	13.530	120	121	122	108	108
	5	129	11.687	128	126	127	118	119
	6	123	14.571	127	124	125	114	113
	7	108	12.488	108	109	109	99	98
	8	117	22.542	120	117	117	105	107
	9	121	9.303	120	122	120	115	112



Broj raspoređenih tretmana i vrijeme izvršavanja

Instances	Complete	<i>Time</i>	No GRASP	No Local Search	Stripped	ReStarted	Iterated L. Search	
200	1	131	<i>10.715</i>	135	134	141	123	118
	2	152	<i>12.989</i>	154	152	157	138	131
	3	140	<i>13.159</i>	139	144	140	128	128
	4	165	<i>10.274</i>	174	169	174	143	140
	5	129	<i>23.494</i>	128	126	128	122	121
	6	141	<i>11.196</i>	142	144	145	130	129
	7	139	<i>15.332</i>	139	145	141	127	126
	8	154	<i>15.543</i>	157	157	160	146	141
	9	158	<i>18.476</i>	164	162	163	150	147



Broj raspoređenih tretmana sa vremenom izvršavanja kao kriterijem zaustavljanja

Instances		<i>Computational Time</i>				
		$0,2 \cdot n$	$0,4 \cdot n$	$0,6 \cdot n$	$0,8 \cdot n$	n
100	1	100	100	100	100	100
	2	99	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	100
	4	100	100	100	100	100
	5	100	100	100	100	100
	6	100	100	100	100	100
	7	100	100	100	100	100
	8	99	99	99	99	99
	9	99	99	99	99	99



Broj raspoređenih tretmana sa vremenom izvršavanja kao kriterijem zaustavljanja

Instances		<i>Computational Time</i>				
		$0,2 \cdot n$	$0,4 \cdot n$	$0,6 \cdot n$	$0,8 \cdot n$	n
120	1	114	114	116	116	116
	2	120	120	120	120	120
	3	120	120	120	120	120
	4	118	118	118	118	118
	5	110	110	110	110	110
	6	120	120	120	120	120
	7	120	120	120	120	120
	8	113	113	113	113	113
	9	120	120	120	120	120



Broj raspoređenih tretmana sa vremenom izvršavanja kao kriterijem zaustavljanja

Instances		<i>Computational Time</i>				
		$0,2 \cdot n$	$0,4 \cdot n$	$0,6 \cdot n$	$0,8 \cdot n$	n
150	1	129	133	133	133	133
	2	118	122	122	124	124
	3	135	135	135	135	135
	4	145	145	145	145	145
	5	131	131	131	131	131
	6	136	136	138	138	138
	7	126	127	127	127	127
	8	128	129	129	129	129
	9	114	115	115	115	115



Broj raspoređenih tretmana sa vremenom izvršavanja kao kriterijem zaustavljanja

Instances		<i>Computational Time</i>				
		$0,2 \cdot n$	$0,4 \cdot n$	$0,6 \cdot n$	$0,8 \cdot n$	n
170	1	133	136	136	136	138
	2	132	132	133	133	133
	3	125	131	131	131	131
	4	122	122	122	122	122
	5	128	128	130	130	130
	6	127	127	127	127	127
	7	109	109	109	109	112
	8	118	119	121	121	121
	9	121	121	122	122	125



Broj raspoređenih tretmana sa vremenom izvršavanja kao kriterijem zaustavljanja

Instances		<i>Computational Time</i>				
		$0,2 \cdot n$	$0,4 \cdot n$	$0,6 \cdot n$	$0,8 \cdot n$	n
200	1	141	141	141	141	141
	2	157	157	157	157	157
	3	145	145	145	145	146
	4	176	176	176	176	176
	5	128	132	132	132	132
	6	145	145	145	145	145
	7	141	141	141	141	141
	8	160	160	160	160	160
	9	163	163	164	164	164



KAKO NAJBOLJE ISKORISTITI RESURSE U BOLNICI I SMANJITI VRIJEME ČEKANJA PACIJENATA

- ❑ Može se primijeniti na slične probleme
 - ❑ procedure nemaju propisani redoslijed izvršavanja
 - ❑ procedure mogu imati "direktne" sljedbenike ili ne
- ❑ Mogu se koristiti dodatni kriteriji (preferirano radna vremena, preferirani radnici i slično)

Hvala na pozornosti!