

# ANALIZA PROSTOG I SLOŽENOG CIKLUSA VISOKOREGALNE DIZALICE U SKLADIŠNOM SISTEMU

Dušan Petrović<sup>1,\*</sup>, Uglješa Bugarić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35, Srbija

*U radu je prikazana uporedna analiza radnih ciklusa visokoregalne dizalice (VRD) računatih prema FEM propisu i prema posebno razvijenim modelima. Novo razvijeni modeli izračunavaju prosečni radni ciklus VRD za projektovano ili dato skladište uzimajući u obzir sve moguće cikluse. Model po FEM propisu izračunava prosečne vrednosti ciklusa VRD za projektovano ili dato skladište uzimajući u obzir samo dva (prosti ciklus) odnosno tri (složeni ciklus) reprezentativna ciklusa u zavisnosti od dužine i visine skladišta. Rezultati analize za jednostruki i dvostruki ciklus kretanja VRD su prikazani na uporednim dijagramima za tri različite konfiguracije skladišnog sistema.*

**Ključne reči:** visokoregalna dizalica VRD, prost ciklus rada, složeni ciklus rada, visokoregalno skladište.

## 0. UVOD

Projektovanje visokoregalnih skladišta zahteva implementaciju visokoregalnih dizalica (VRD) kao najboljeg i najsofisticiranijeg rešenja. Generalno obrt i kapacitet takvog skladišnog sistema u mnogome zavisi od tehničkog i radnog kapaciteta najznačajnijeg elementa tj. VRD. Glavna karakteristika tih mašina je radni ciklus. Analiza radnog ciklusa korišćenjem uticajnih parametara na osnovu postojećih FEM (Federation Europeenne de la Manutention - FEM, No. 9.851) je data.

Uporedna analiza radnih ciklusa prema FEM propisima i prema specijalno razvijenim analitičkim modelima je prikazana. Ovakva analiza je rađena zato što u nekim slučajevima projektovanja skladišnih sistema FEM propis o radnom ciklusu ne daje dovoljno dobre rezultate. Prikazani modeli u radu su razvijeni sa ciljem da zadovolje zahteve koji se postavljaju u procesu validacije projektantskih rešenja pri projektovanju skladišnih sistema.

Novi modeli izračunavaju prosečan ciklus rada (prost i složen) za projektovani ili dati layout skladišnog sistema uzimajući u obzir sve moguće cikluse VRD. Model po FEM izračunava prosečan radni ciklus VRD za projektovan ili dati layout skladišnog sistema uzimajući u obzir samo dva (prost ciklus) odnosno tri (složeni ciklus) reprezentativna ciklusa u zavisnosti od dužine i visine skladišta.

### Nomenklatura

$a$  – ubrzanje,  $m/s^2$ ;

$H$  – visina regala u skladištu,  $m$ ;

$H_{I/O}$  – dislocirani ulaz/izlaz u  $y$  pravcu,  $m$ ;

$H_p$  – visina paletnog mesta,  $m$ ;

$I(x,y)$  – pozicija i koordinate ulaza u regal;

$L$  – dužina regala u skladištu,  $m$ ;

$L_{I/O}$  – dislocirani ulaz/izlaz u  $x$  pravcu,  $m$ ;

$L_p$  – dužina paletnog,  $m$ ;

$O(x,y)$  – pozicija i koordinate izlaza iz regala;

$P_i(x_i,y_i)$  – koordinate lokacije paletnog mesta u skladištu;

$S$  – putanja između dve lokacije u  $x$  ili  $y$  pravcu,  $m$ ;

$S_p$  – put pozicioniranja,  $m$ ;

$T$  – vreme kretanja između dve lokacije u  $x$  ili  $y$  pravcu bez vremena pozicioniranja,  $s$ ;

$t$  – vreme,  $s$ ;

$T(P_i,P_j)$  – vreme kretanja VRD između početne ( $P_i$ ) i krajnje ( $P_j$ ) tačke;

$T_{sc}$  – vreme trajanja prostog ciklusa prema FEM,  $s$ ;

$T_{dc}$  – vreme trajanja složenog ciklusa prema FEM,  $s$ ;

$T_{sc}^{i_{I/O},j_{I/O}}$  – vreme trajanja prostog ciklusa prema novo razvijenom modelu,  $s$ ;

$T_{dc}^{i_{I/O},j_{I/O}}$  – vreme trajanja složenog ciklusa prema novo razvijenom modelu,  $s$ ;

$T_t$  – ukupno vreme kretanja između dve lokacije u  $x$  ( $T_{tx}$ ) ili  $y$  ( $T_{ty}$ ) pravcu,  $s$ ;

$t_w$  – dodatno vreme,  $s$ ;

$V_c$  – maksimalna konstantna brzina VRD u  $x$  ( $V_x$ ) ili  $y$  ( $V_y$ ) pravcu,  $m/s$ ;

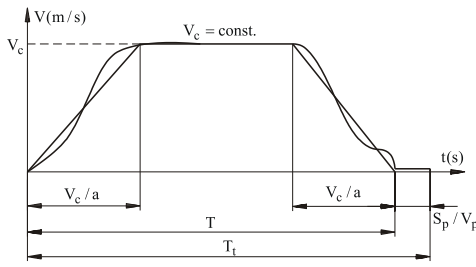
$V_p$  – brzina pozicioniranja,  $m/s$ ;

## 1. MATEMATIČKI MODEL KRETANJA VISOKOREGALNE DIZALICE [1]

Dijagram promene brzine kretanja visokoregalne dizalice u horizontalnom smeru ( $x$ -osa), kao i dijagram promene

\*Kontakt adresa autora: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija, dpetrovic@mas.bg.ac.rs

brzine dizanja/spuštanja kabine sa paletom visokoregalne dizalice u vertikalnom smeru (y-osa) je prikazan na slici 1.



Sl. 1. Promena brzine VRD – stacionarni režim.

Brzina VRD u funkciji vremena je data izrazom (1)

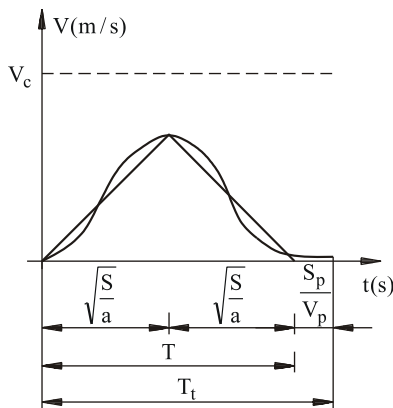
$$V(t) = \begin{cases} a \cdot t, & 0 < t < \frac{V_c}{a} \\ V_c, & \frac{V_c}{a} \leq t \leq T - \frac{V_c}{a} \\ a \cdot (T - t), & T - \frac{V_c}{a} < t < T \\ V_p, & T < t < T_t \end{cases} \quad (1)$$

Pređeni put VRD između dve lokacije u x ili y pravcu za period  $T_t$  je dat izrazima (2) i (3).

$$S(T_t) = V_c \cdot T - \frac{V_c^2}{a} + S_p, \quad T \geq 2 \cdot \frac{V_c}{a} \quad (2)$$

$$S(T_t) = \frac{1}{4} \cdot a \cdot T^2 + S_p, \quad T \leq 2 \cdot \frac{V_c}{a} \quad (3)$$

Izraz (2) koristi se kada regalna dizalica realizuje kretanje prikazano dijagramom na slici 1, dok se izraz (3) koristi kad se zbog bliskosti lokacija ne postiže maksimalna brzina, odnosno kada VRD radi u nestacionarnom režimu (slika 2). Pozicioniranje se koristi pri podešavanju položaja dizalice u odnosu na paletno mesto tako da je uvek prisutno.



Sl. 2. Promena brzine VRD u nestacionarnom režimu kretanja.

Analogni su uslovi i kod proračuna ukupnog vremena kretanja između dve lokacije u vertikalnom ili horizontalnom smeru i definisani su izrazom (4).

$$T_t = \frac{S}{V_c} + \frac{V_c}{a} + \frac{S_p}{V_p}, \quad S \geq \frac{V_c^2}{a} \quad (4)$$

$$2 \cdot \sqrt{\frac{S}{a} + \frac{S_p}{V_p}}, \quad S \leq \frac{V_c^2}{a}$$

Potrebno vreme da VRD pređe put (premesti teret - paletu) od lokacije  $P_1(x_1, y_1)$  do lokacije  $P_2(x_2, y_2)$ , dato je izrazom (5).

$$T(P_1, P_2) = \max\{T_{tx}(P_1, P_2); T_{ty}(P_1, P_2)\} \quad (5)$$

### 1.1 Prosečno vreme trajanja prostog ciklusa VRD prema FEM propisu

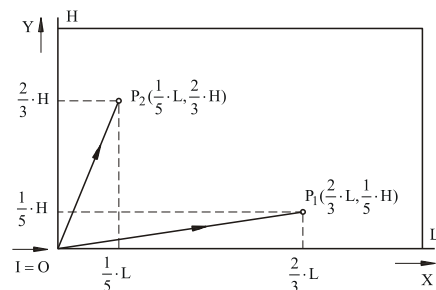
Prosečno vreme trajanja prostog ciklusa VRD prema FEM propisima određuje se na osnovu izraza (6).

$$T_{sc} = \frac{1}{2} \cdot [2 \cdot T(I, P_1) + 2 \cdot T(I, P_2)] + 2 \cdot t_w \quad (6)$$

U izrazu (6) korišćene su sledeće oznake:

- $2 \cdot T(I, P_1)$  - vreme prostog ciklusa VRD pri kretanju od tačke ulaza  $I(0,0)$  do referentne  $P_1(\frac{2}{3} \cdot L, \frac{1}{5} \cdot H)$  i povratka u tačku I, pod uslovom da je mesto ulaza palete u skladište jednako mestu izlaza palete iz skladišta ( $I=O$ ),
- $2 \cdot T(I, P_2)$  - vreme prostog ciklusa VRD pri kretanju od tačke ulaza  $I(0,0)$  do referentne tačke  $P_2(\frac{1}{5} \cdot L, \frac{2}{3} \cdot H)$  i povratka u tačku I, pod uslovom da je mesto ulaza palete u skladište jednako mestu izlaza palete iz skladišta ( $I=O$ ),
- $t_w$  - dodatno vreme, koje obuhvata: vreme potrebno za uključivanje mehanizama, vreme traženja lokacije, vreme pomeranja viljuški, vreme zahvatanja ili odlaganja tereta, vreme potrebno za prigušivanje oscilacija noseće konstrukcije pri zaustavljanju, itd.

Pozicije i koordinate tačaka ulaza/izlaza i referentnih tačaka za proračun vremena trajanja prostog ciklusa su prikazane na slici 3.



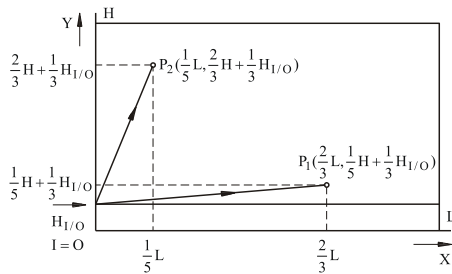
Sl. 3. Referentne tačke,  $I(0,0)=O(0,0)$

U slučaju kada mesto ulaza/izlaza palete odstupa od položaja  $I(0,0)=O(0,0)$ , tj. kada je mesto ulaza/izlaza pomeren po y-osi za veličinu  $H_{I/O}$  prosti ciklus VRD se takođe izračunava prema izrazu (6) stim što referentne

tačke  $P_1$  odnosno  $P_2$  imaju koordinate date izrazima (7) i (8) kao što je prikazano na slici 4.

$$P_1\left(\frac{2}{3} \cdot L, \frac{1}{5} \cdot H + \frac{1}{3} \cdot H_{I/O}\right) \quad (7)$$

$$P_2\left(\frac{1}{5} \cdot L, \frac{2}{3} \cdot H + \frac{1}{3} \cdot H_{I/O}\right) \quad (8)$$

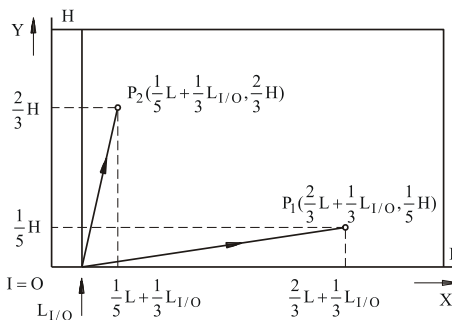


Sl. 4. Referentne tačke,  $I(0, H_{I/O})=O(0, H_{I/O})$

U slučaju kada mesto ulaza/izlaza palete odstupa od položaja  $I(0,0)=O(0,0)$ , tj. kada je mesto ulaza/izlaza pomeren po x-osi za veličinu  $L_{I/O}$  jednostruki ciklus VRD se takođe izračunava prema izrazu (6) stim što referentne tačke  $P_1$  odnosno  $P_2$  imaju koordinate date izrazima (9) i (10) kao što je prikazano na slici 5.

$$P_1\left(\frac{2}{3} \cdot L + \frac{1}{3} \cdot L_{I/O}, \frac{1}{5} \cdot H\right) \quad (9)$$

$$P_2\left(\frac{1}{5} \cdot L + \frac{1}{3} \cdot L_{I/O}, \frac{2}{3} \cdot H\right) \quad (10)$$



Sl. 5. Referentne tačke,  $I(L_{I/O}, 0)=O(L_{I/O}, 0)$

Izraz (6) za izračunavanje prostog ciklusa VRD moguće je primeniti samo ukoliko je zadovoljen uslov dat izrazom (11).

$$0.5 < \frac{H}{L} \times \frac{V_x}{V_y} < 2 \quad (11)$$

## 1.2 Prosečno vreme trajanja složenog ciklusa VRD prema FEM propisu

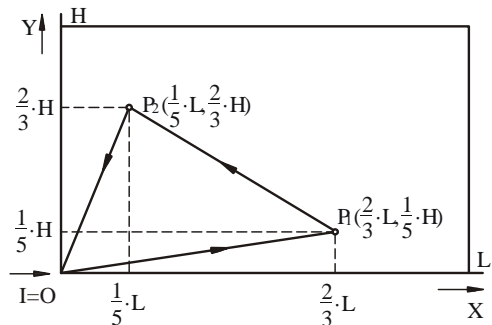
Prosečno vreme trajanja dvostrukog (složenog) ciklusa ( $T_{cs}$ ) VRD prema FEM propisima određuje se na osnovu sledećeg izraza: (slika 6)

$$T_{dc} = T(I, P_1) + T(P_1, P_2) + T(P_2, I) + 4 \cdot t_w, \quad (12)$$

gde su:

–  $T(I, P_1)$ ,  $T(P_1, P_2)$ ,  $T(P_2, I)$  - vremena kretanja VRD između datih lokacija,

Koordinate referentnih tačaka za izračunavanje složenog ciklusa, u zavisnosti od položaja mesta ulaza/izlaza iz regala, dati su na slici 6 i tabeli 1.



Sl. 6. Referentne tačke za složeni ciklus VRD.

Tabela 1. Referentne tačke složeno ciklusa pri pomeranju ulaza/izlaza

I=O		P <sub>1</sub>		P <sub>2</sub>	
x	y	x	y	x	y
0	0	$\frac{2}{3} \cdot L$	$\frac{1}{5} \cdot H$	$\frac{1}{5} \cdot L$	$\frac{2}{3} \cdot H$
0	$H_i$	$\frac{2}{3} \cdot L$	$\frac{1}{5} \cdot H + \frac{1}{3} \cdot H_i$	$\frac{1}{5} \cdot L$	$\frac{2}{3} \cdot H + \frac{1}{3} \cdot H_i$
$L_i$	0	$\frac{2}{3} \cdot L + \frac{1}{3} \cdot L_i$	$\frac{1}{5} \cdot H$	$\frac{1}{5} \cdot L + \frac{1}{3} \cdot L_i$	$\frac{2}{3} \cdot H$

Izraz (12) za izračunavanje dvostrukog (složenog) ciklusa VRD moguće je primeniti samo ukoliko je zadovoljen uslov dat izrazom (11).

## 1.3 Prosečno vreme trajanja prostog ciklusa visokoregalne dizalice – novi model 1 [2]

Prosečno vreme trajanja prostog ciklusa VRD, prema modelu 1, izračunava se kao srednja vrednost vremena svih jednostrukih ciklusa koje VRD može da napravi pri datoj konfiguraciji regala, u zavisnosti od mesta ulaza/izlaza palete u/iz regala. Prednost ovog modela je ta što je moguće da se mesto ulaza/izlaza nalazi bilo gde unutar regala. (slika 7).

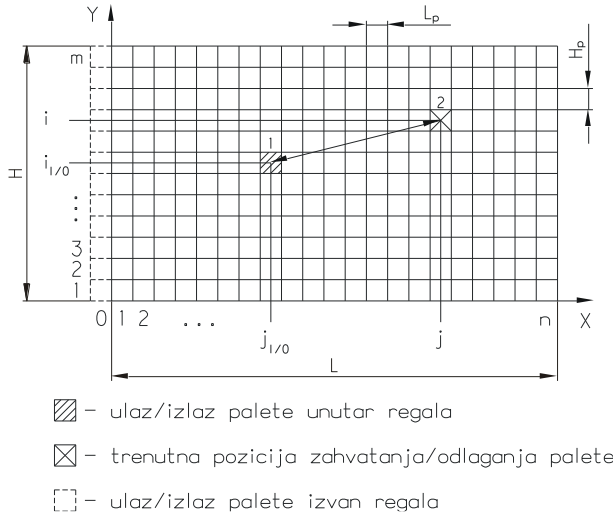
Vreme trajanja prosečnog prostog ciklusa VRD izračunava se preko izrazu (13) kao:

$$T_{sc}^{i_1/O, j_1/O} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 2 \cdot T(P_{i_1/O, j_1/O}, P_{i, j})}{N} + 2 \cdot t_w \quad (13)$$

gde je:

- $i_1/O$  – vertikalna koordinata ulaza/izlaza palete ( $i_1/O=1, 2, \dots, m$ ),
- $j_1/O$  – horizontalna koordinata ulaza/izlaza palete ( $j_1/O=0, 1, 2, \dots, n$ ),
- $i$  – vertikalna koordinata paletnog mesta ( $i=1, 2, \dots, m$ ),
- $j$  – horizontalna koordinata paletnog mesta ( $j=1, 2, \dots, n$ ),

- $T(P_{i_{I/O}, j_{I/O}}, P_{i,j})$  - potrebno vreme da VRD premesti paletu od lokacije  $P_{i_{I/O}, j_{I/O}}$  do lokacije  $P_{i,j}$ ,
- $N = \begin{cases} n \cdot m & \text{za } i_{I/O} = 0 \\ n \cdot m - 1 & \text{za } i_{I/O} \neq 0 \end{cases}$  - ukupan broj izvodljivih prostih ciklusa VRD za datu geometriju regala.



Sl. 7. Koordinate ulaza/izlaza za izračunavanje prostog ciklusa VRD.

Horizontalno rastojanje ( $S_{x_{1-2}}$ ) između ulaza/izlaza palete iz regala i proizvoljnog paletnog mesta računa se korišćenjem izraza (14) a na osnovu dužine paletnog mesta ( $L_p$ ).

$$S_{x_{1-2}} = \begin{cases} |j - j_{I/O}| \cdot L_p & \text{za } j \neq j_{I/O} \\ 0 & \text{za } j = j_{I/O} \end{cases} \quad (14)$$

Vertikalno rastojanje ( $S_{y_{1-2}}$ ) između ulaza/izlaza palete iz regala i proizvoljnog paletnog mesta računa se korišćenjem izraza (15) a na osnovu visine paletnog mesta ( $H_p$ ).

$$S_{y_{1-2}} = \begin{cases} |i - i_{I/O}| \cdot H_p & \text{za } i \neq i_{I/O} \\ 0 & \text{za } i = i_{I/O} \end{cases} \quad (15)$$

#### 1.4 Prosečno vreme trajanja složene ciklusa visokoregalne dizalice – novi model 2 [2]

Prosečno vreme trajanja dvostrukog (složene) ciklusa VRD, prema modelu 2, izračunava se kao srednja vrednost vremena svih dvostrukih ciklusa koje VRD može da napravi pri datoj konfiguraciji regala, u zavisnosti od mesta ulaza/izlaza palete u/iz regala. Prednost ovog modela je ta što je moguće da se mesto ulaza/izlaza nalazi bilo gde unutar regala. (slika 8).

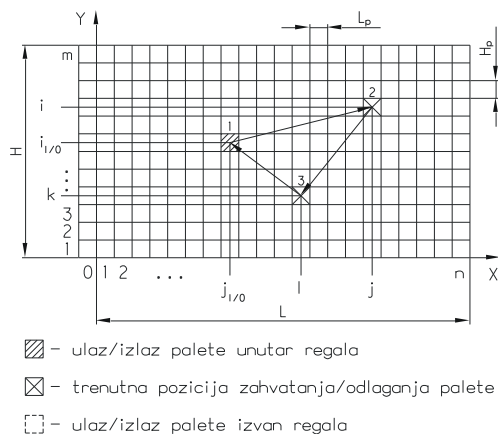
Vreme trajanja prosečnog dvostrukog ciklusa VRD na osnovu ovog modela, za tačku ulaza/izlaza definisanu koordinatama ( $i_{I/O}$ ,  $j_{I/O}$ ), izračunava se kao:

$$T_{dc}^{i_{I/O}, j_{I/O}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n T(P_{i_{I/O}, j_{I/O}}, P_{i,j}) + T(P_{i,j}, P_{k,l})}{N} + (16)$$

$$+ \frac{T(P_{k,l}, P_{i_{I/O}, j_{I/O}})}{N} + 4 \cdot t_w,$$

gde su:

- $i_{I/O}$  - vertikalna koordinata ulaza/izlaza palete iz regala (tačka 1) ( $i_{I/O} = 1, 2, 3, \dots, m$ ),
- $j_{I/O}$  - horizontalna koordinata ulaza/izlaza palete iz regala (tačka 1) ( $j_{I/O} = 0, 1, 2, \dots, n$ ),
- $i$  - vertikalna koordinata prvog mesta, u toku dvostrukog ciklusa, zahvatanja/odlaganja palete (tačka 2) ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ),
- $j$  - horizontalna koordinata prvog mesta, u toku dvostrukog ciklusa, zahvatanja/odlaganja palete (tačka 2) ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ),
- $k$  - vertikalna koordinata drugog mesta, u toku dvostrukog ciklusa, zahvatanja/odlaganja palete (tačka 3) ( $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ),
- $l$  - horizontalna koordinata drugog mesta, u toku dvostrukog ciklusa, zahvatanja/odlaganja palete (tačka 3) ( $l = 1, 2, 3, \dots, n$ ),
- $T(P_{i_{I/O}, j_{I/O}}, P_{i,j})$  - potrebno vreme da VRD pređe put (premesti teret - paletu) od lokacije  $P_{i_{I/O}, j_{I/O}}$  do lokacije  $P_{i,j}$ ,
- $T(P_{i,j}, P_{k,l})$  - potrebno vreme da VRD pređe put (premesti teret - paletu) od lokacije  $P_{i,j}$  do lokacije  $P_{k,l}$ ,
- $T(P_{k,l}, P_{i_{I/O}, j_{I/O}})$  - potrebno vreme da VRD pređe put (premesti teret - paletu) od lokacije  $P_{k,l}$  do lokacije  $P_{i_{I/O}, j_{I/O}}$ ,
- $N = \begin{cases} n \cdot m \cdot (n \cdot m - 1) & \text{za } i_{I/O} = 0 \\ (n \cdot m - 1) \cdot (n \cdot m - 2) & \text{za } i_{I/O} \neq 0 \end{cases}$  - ukupan broj izvodljivih dvostrukih (složene) ciklusa za datu geometriju regala.



Sl. 8. Šematski prikaz koordinata ulaza/izlaza za složeni ciklus VRD

Horizontalno rastojanje ( $S_{x1-2}$ ) između ulaza/izlaza palete iz regala i prvog mesta zahvatanja/odlaganja palete izračunava se koristeći izraz (17) na osnovu dužine paletnog mesta ( $L_p$ ).

$$S_{x1-2} = \begin{cases} |j - j_{1/o}| \cdot L_p & \text{za } j \neq j_{1/o} \\ 0 & \text{za } j = j_{1/o} \end{cases}, \quad (17)$$

Vertikalno rastojanje ( $S_{y1-2}$ ) između ulaza/izlaza palete iz regala i prvog mesta zahvatanja/odlaganja palete izračunava se koristeći izraz (18) na osnovu visine paletnog mesta ( $H_p$ ).

$$S_{y1-2} = \begin{cases} |i - i_{1/o}| \cdot H_p & \text{za } i \neq i_{1/o} \\ 0 & \text{za } i = i_{1/o} \end{cases}, \quad (18)$$

Horizontalno rastojanje ( $S_{x2-3}$ ) između prvog i drugog mesta zahvatanja/odlaganja palete (tačke 2 i 3) izračunava se koristeći izraz (19) a na osnovu dužine paletnog mesta ( $L_p$ ).

$$S_{x2-3} = \begin{cases} |j - l| \cdot L_p & \text{za } j \neq l \\ 0 & \text{za } j = l \end{cases}, \quad (19)$$

Vertikalno rastojanje ( $S_{y2-3}$ ) između prvog i drugog mesta zahvatanja/odlaganja palete (tačke 2 i 3) izračunava se koristeći izraz (20) a na osnovu visine paletnog mesta ( $H_p$ ).

$$S_{y2-3} = \begin{cases} |i - k| \cdot H_p & \text{za } i \neq k \\ 0 & \text{za } i = k \end{cases}, \quad (20)$$

Horizontalno rastojanje ( $S_{x3-1}$ ) između drugog mesta zahvatanja/odlaganja palete i ulaza/izlaza palete iz regala (tačke 3 i 1) izračunava se koristeći izraz (21) a na osnovu dužine paletnog mesta ( $L_p$ ).

$$S_{x3-1} = \begin{cases} |l - j_{1/o}| \cdot L_p & \text{za } l \neq j_{1/o} \\ 0 & \text{za } l = j_{1/o} \end{cases}, \quad (21)$$

Vertikalno rastojanje ( $S_{y3-1}$ ) između drugog mesta zahvatanja/odlaganja palete i ulaza/izlaza palete iz regala (tačke 3 i 1) izračunava se koristeći izraz (22) a na osnovu visine paletnog mesta ( $H_p$ ).

$$S_{y3-1} = \begin{cases} |k - i_{1/o}| \cdot H_p & \text{za } k \neq i_{1/o} \\ 0 & \text{za } k = i_{1/o} \end{cases}, \quad (22)$$

## 2. UTICAJ POLOŽAJA ULAZA/IZLAZA PALETE NA VREME CIKLUSA VRD

Analiza uticaja pozicije i koordinate ulaza/izlaza u skladište za prost i složen ciklus rada VRD prema FEM propisu i prema novo razvijenim modelima (1 i 2) je data.

Novo razvijeni modeli izračunavaju prosečni radni ciklus VRD za projektovano ili dato skladište uzimajući u obzir sve moguće cikluse. Model po FEM propisu izračunava prosečne vrednosti ciklusa VRD za projektovano ili dato skladište uzimajući u obzir samo dva (prosti ciklus) odnosno tri (složeni ciklus) reprezentativna ciklusa u zavisnosti od dužine i visine skladišta.

FEM propis dozvoljava mogućnost promene koordinata ulaza/izlaza u skladište samo duž x i y ose. Razvijeni modeli dozvoljavaju dodatnu mogućnost postavljanja koordinata ulaza/izlaza gde god se zahteva u celom polju skladišta.

Oba pristupa (novo razvijeni modeli i FEM propisi) pokrivaju nestacionarni režim rada VRD pri ubrzanju i usporenju u horizontalnom (x) i vertikalnom (y) pravcu.

Pomeranje ulaza/izlaza pri analizi vremena trajanja ciklusa VRD je rađeno do polovine dužine regala u x pravcu i za celu visinu regala (y pravac) u koracima jednakim dužini odnosno visini paletnog mesta. Ovo je rađeno zbog toga što se pri postavljanju ulaza/izlaza na dužinu veću od polovine regala po x osi dobijaju isti rezultati (efekat ogledala).

Celokupna analiza je rađena za tri karakteristične konfiguracije skladišnih regala a koje su izabrane na osnovu projektantskog iskustva autora. Karakteristični parametri analiziranih skladišnih sistema su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Parametri skladišnih sistema.

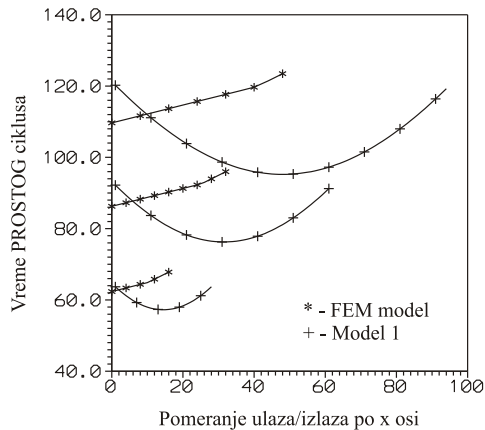
No.	H (paletna mesta)	L (paletna mesta)	$V_x$ (m/min)	$V_y$ (m/min)	$a_x$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_y$ (m/s <sup>2</sup> )
1	7	28	80	40	0.4	0.2
2	14	62				
3	21	95				
$S_p = 0.055 \text{ m}; V_p = 2 \text{ m/min}; t_w = 15 \text{ s};$						

Kada se koristi FEM model za svaku od tri analizirane konfiguracije regala vreme ciklusa rada se povećava i najveće je kada se pozicija ulaza/izlaza nađe na sredini dužine regala (x pravac). Promena je linearna. Isto uvećanje linearnih karakteristika ima ciklus rada VRD kada se ulaz/izlaz dislocira i po y pravcu. Apsolutno uvećanje vremena trajanja ciklusa je veće kada se pozicija ulaza/izlaza dislocira u x pravcu.

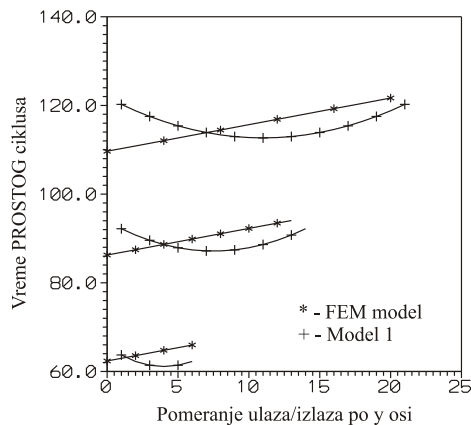
Kada se koriste novo razvijeni modeli svi mogući ciklusi rada VRD za bilo koju poziciju palete se izračunavaju i na osnovu toga se dobijaju vrednosti vremena trajanja prosečnog ciklusa. Promena vremena trajanja ciklusa, za sve tri analizirane konfiguracije regala, kada se pozicija ulaza/izlaza dislocira po x ili y pravcu je nelinearna. Vreme trajanja ciklusa je minimalno kada je pozicija ulaza/izlaza na sredini dužine odnosno visine regala.

Rezultati uporedne analize za prost ciklus VRD kao i uporedni dijagrami za tri različite konfiguracije skladišnog

sistema (regala) su dati na slici 9 (x pravac) i slici 10 (y pravac).

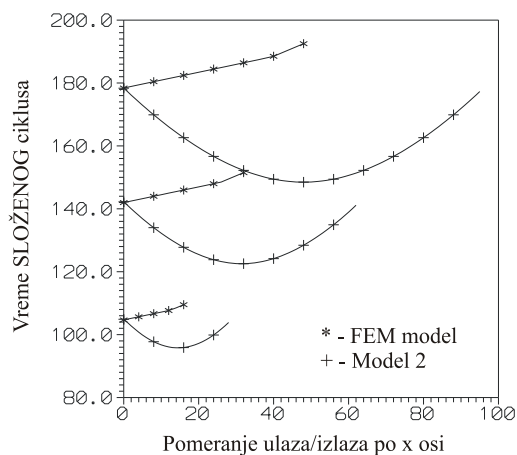


Sl. 9. Prost ciklus VRD, dislokacija ulaza/izlaza u x pravcu.

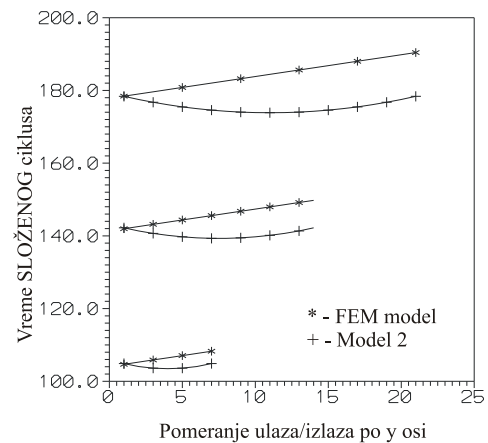


Sl. 10. Prost ciklus VRD, dislokacija ulaza/izlaza u y pravcu.

Rezultati uporedne analize za složeni ciklus VRD kao i uporedni dijagrami za tri različite konfiguracije skladišnog sistema (regala) su dati na slici 11 (x pravac) i slici 12 (y pravac).



Sl. 11. Složeni ciklus VRD, dislokacija ulaza/izlaza u x pravcu.



Sl. 12. Složeni ciklus VRD, dislokacija ulaza/izlaza u y pravcu.

Rezultati prikazani na dijagramima ukazuju da postoji značajna razlika u trajanju prosečnog ciklusa rada VRD računatih prema FEM propisu i prema novo razvijenim modelima. Pošto je izračunavanje vremena trajanja ciklusa VRD početna tačka pri projektovanju visokoregalnih skladišta posebno treba obratiti pažnju na vrednosti ciklusa VRD sa kojima se ulazi u dalji proračun.

### 3. ZAKLJUČAK

Razlika u vrednostima trajanja ciklusa rada VRD koji se izračunavaju korišćenjem FEM propisa i novo razvijenih modela je očigledna. FEM propisi su kreirani na bazi iskustva i to je najbrži da projektant dođe do vremena trajanja prosečnog ciklusa i najčešće se koristi u procesu projektovanja. Za sofisticiranije projektovanje i tamo gde se traže i gde su potrebni precizniji rezultati proračuna novo razvijeni modeli daju bolje rezultate.

Prikazani rezultati su validni i mogu i treba da se koriste u projektantskoj praksi u procesu formiranja novih visokoregalnih skladišnih sistema ili u procesu rekonstrukcije postojećih skladišnih sistema. Validacija dobijenih rezultata korišćenjem novih modela je urađena u procesu projektovanja skladišnih sistema koje su projektovali autori. [3,4]

### 4. LITERATURA

- [1] Bugarić, U., Petrović, D.: Modeliranje sistema opsluživanja, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2011.
- [2] Petrović, D.: Contribution to defining the influence of deterministic and stochastic parameters of material flow in warehouse systems, Ph. D. thesis, Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, University of Belgrade, Belgrade, 2001.
- [3] Petrović, D., Dukanac, D.: Main technological - mechanical project of high bay warehouse for pharmaceutical goods - ZORKA Pharma, ENERGOPROJEKT, Belgrade, 1997.
- [4] Petrović, D., Bugarić, U.: Main technological - mechanical project of high bay warehouse in Siberia, RamOil Holding Co. Ltd. - USA, YOX Engineering Spa, Milano, 1993.