

PRIMENA TEORIJE MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

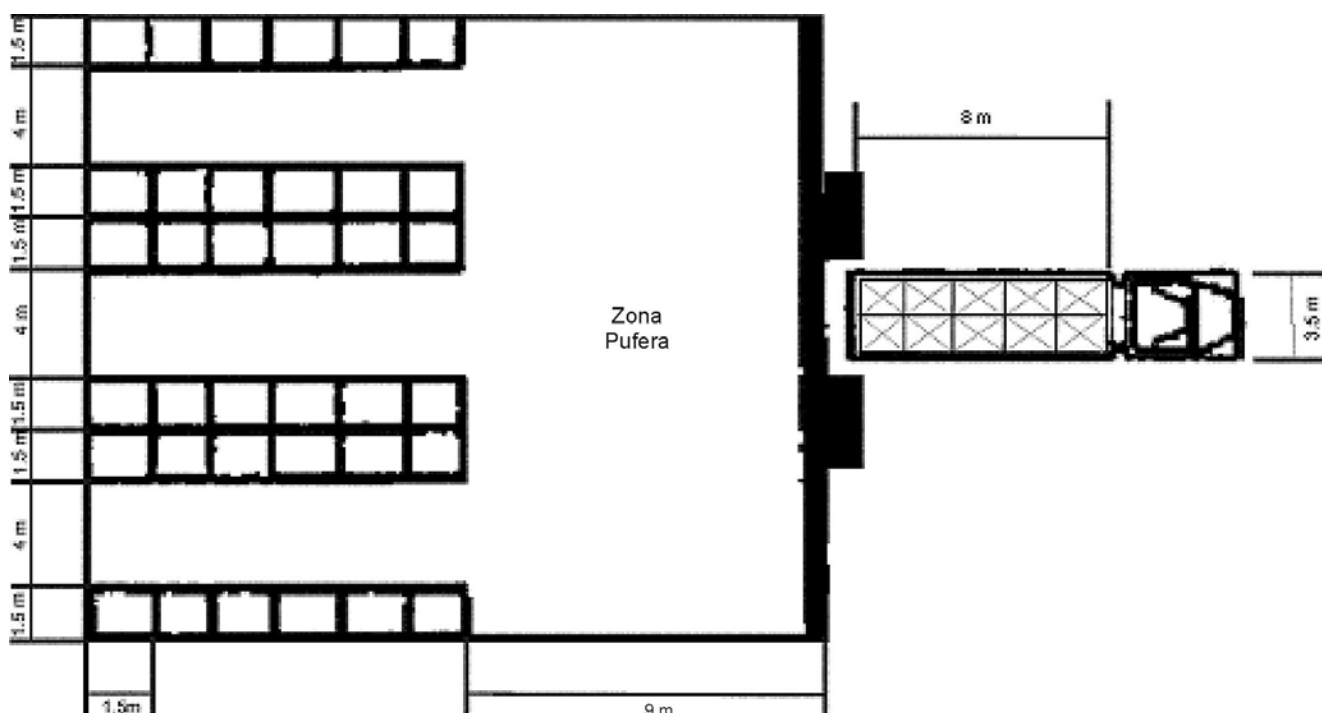
ZADATAK

Na pretovarni front regalskog paletnog skladišta, prikazanog situacionim planom na slici, pristihu vozila prema Puasonovom toku. Broj vozila koji je pristigao u toku 40 jednočasnih intervala je:

3, 4, 2, 5, 4, 5, 6, 3, 5, 5, 3, 4, 4, 6, 1, 5, 4, 3, 5, 6, 3, 1, 2, 4, 5, 4, 5, 3, 4, 5, 5, 6, 4, 3, 1, 4, 5, 3, 6, 5; pri čemu je na prvih 40 kamiona bilo utovareno **21, 23, 18, 20, 22, 19, 22, 21, 16, 20, 22, 22, 20, 21, 19, 22, 18, 20, 23, 19, 21, 18, 19, 22, 23, 20, 21, 15, 22, 20, 21, 21, 16, 19, 21, 22, 18, 23, 22, 20** paleta, složenih u dva nivoa.

Uskladištenje paleta se vrši viljuškama, sa jednakom verovatnoćom odlaganja palete na svaku poziciju. Ako su elementi potrebni za proračun ciklusa viljuškara:

- Brzina kretanja viljuškara u opterećenom/neopterećenom smeru je 8,2/13,2 km/h
 - Brzina podizanja opterećenih/neopterećenih viljuški je 0,28/0,33 m/s
 - Brzina spuštanja opterećenih/neopterećenih viljuški je 0,43/0,33 m/s
 - Vreme zahvatanja paleta – 20s
 - Vreme odlaganja paleta – 16s
 - Okretanje viljuškara za 90° - 3s
 - Okretanje viljuškara za 180° - 5s
 - Palete su uskladištene u 6 redova po visini, visina regalske ćelije je 1,2m, a paletnog sloga 1m
- a) Odrediti intenzitet nailaska vozila na front pretovara, kao i broj paleta koji se prosečno nalazi na vozilu
- b) Optimalan broj viljuškara (u smislu najmanjih troškova) za istovar kamiona, ako su troškovi angažovanja jednog viljuškara 120 N.J., troškovi jednog parking mesta 30 N.J. i troškovi zadržavanja jednog vozila van vremena intervala strpljivosti su 250 N.J./h, a interval strpljivosti vozila iznosi 30 min.
- c) Ukoliko se, pri skladištenju, palete prvo odlažu na pufer (jedna na drugu u dva nivoa), čija je pozicija kao na slici, odrediti minimalno potreban broj viljuškara i za istovar kamiona i za uskladištenje paleta, kao i potrebnu veličinu pufera.



REŠENJE

- a) Frekvencije pojavljivanja određenog broja vozila u toku jednog časa su date u tabeli

Broj vozila u toku jednog časa - n	Frekvencija pojavljivanja - f	Broj paleta na vozilu - n_p	Frekvencija pojavljivanja - f_p
1	3	15	1
2	2	16	2
3	8	17	0
4	10	18	4
5	12	19	5
6	5	20	7
		21	8
		22	9
		23	4

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^6 n_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^6 f_i} = \frac{1 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 8 + 4 \cdot 10 + 5 \cdot 12 + 6 \cdot 5}{3 + 2 + 8 + 10 + 12 + 5} = \frac{161}{40} = 4.025 \approx 4h^{-1}$$

$$\bar{n}_p = \frac{\sum_{i=1}^9 n_{pi} \cdot f_{pi}}{\sum_{i=1}^9 f_{pi}} = \frac{15 \cdot 1 + 16 \cdot 2 + 17 \cdot 0 + 18 \cdot 4 + 19 \cdot 5 + 20 \cdot 7 + 21 \cdot 8 + 22 \cdot 9 + 23 \cdot 4}{1 + 2 + 0 + 4 + 5 + 7 + 8 + 9 + 4} = \frac{812}{40} = 20.3 \approx 20pal$$

- b) Srednja visina dizanja i spuštanja viljuški (opterećenih i neopterećenih) na mestu istovara vozila je

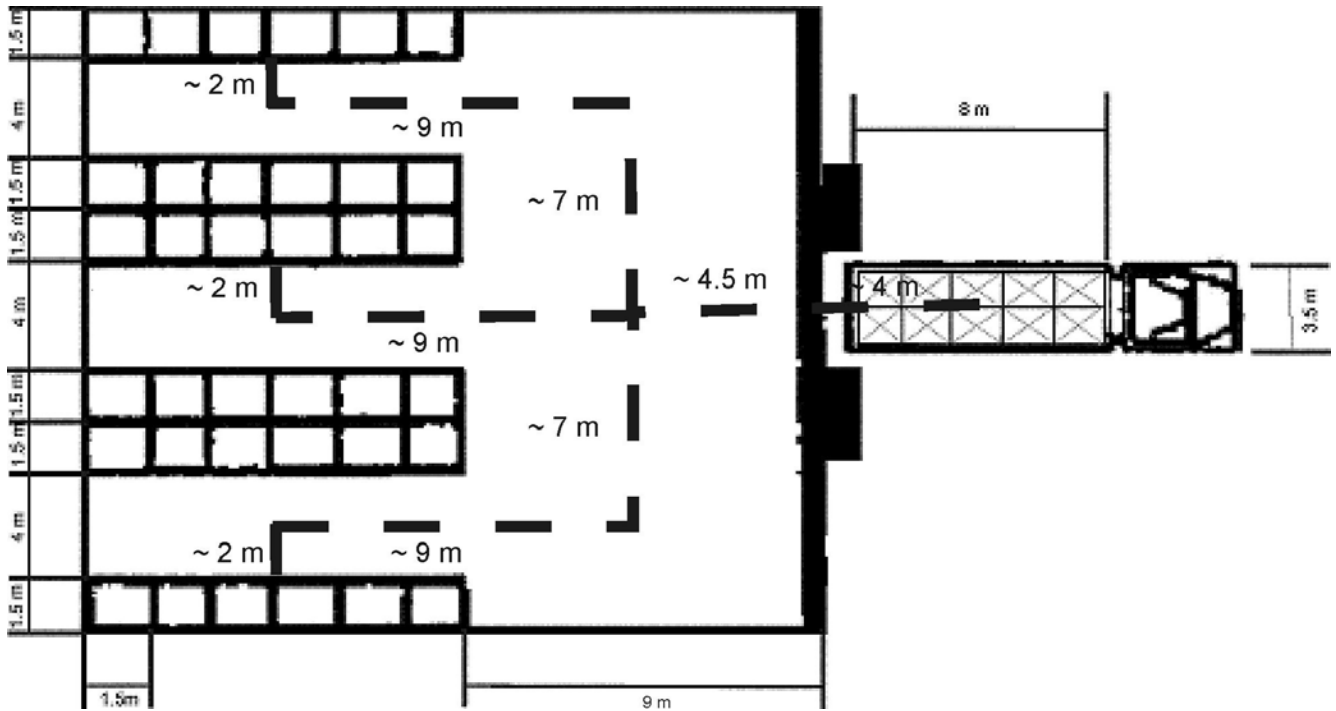
$$H_V = \frac{0 + 1m}{2} = 0.5m$$

a na mestu skladištenja

$$H_R = \frac{0 + 1.2m + 2.4m + 3.6m + 4.8m + 6m}{6} = 3m$$

Kako je verovatnoća odlaganja paleta jednaka za sve pozicije u skladištu srednje rastojanje koje će viljuškari prelaziti pri istovaru (slika) je

$$l = \frac{26.5m + 19.5m + 26.5m}{3} = \frac{72.5m}{3} = 24.16m \approx 24m$$



Proračun ciklusa viljuškara

t_1 – vreme zahvatanja palete u vozilu

$$t_1 = 20s$$

t_2 – vreme spuštanja viljuški sa visine H_v

$$t_g = 1.5s$$

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.43 \frac{m}{s}}{1.5s} = 0.29 \frac{m}{s^2}$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.29 \cdot 0.29}{0.29 + 0.29} = 0.29 \frac{m}{s^2}$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.43 \frac{m}{s})^2}{0.29 \frac{m}{s^2}} = 0.64m > H_v \Rightarrow$$

$$t_2 = 2 \sqrt{\frac{H_v}{b'}} = 2 \sqrt{\frac{0.5m}{0.29 \frac{m}{s^2}}} = 2.6s$$

t_3 – vreme okretanja viljuškara za 180°

$$t_3 = 5s$$

t_4 – vreme vožnje opterećenog viljuškara na rastojanju l

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{2.28 \frac{m}{s}}{1.5s} = 1.52 \frac{m}{s^2}$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{1.52 \cdot 1.52}{1.52 + 1.52} = 1.52 \frac{m}{s^2}$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(2.28 \frac{m}{s})^2}{1.52 \frac{m}{s^2}} = 3.42m \leq l$$

$$t_4 = \frac{l}{v_{ko}} + t_g = \frac{24m}{2.28m/s} + 1.5s = 12s$$

t₅ – vreme podizanja opterećenih viljuški na visinu H_R

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.28m/s}{1.5s} = 0.19m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.19 \cdot 0.19}{0.19 + 0.19} = 0.19m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.28m/s)^2}{0.19m/s^2} = 0.42m \leq H_R$$

$$t_5 = \frac{H_R}{v_{do}} + t_g = \frac{3m}{0.28m/s} + 1.5s = 12.2s$$

t₆ – vreme odlaganja palete

$$t_6 = 16s$$

t₇ – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine H_R

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33m/s}{1.5s} = 0.22m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33m/s)^2}{0.22m/s^2} = 0.495m \leq H_R$$

$$t_7 = \frac{H_R}{v_{sn}} + t_g = \frac{3m}{0.33m/s} + 1.5s = 10.6s$$

t₈ – vreme okretanja viljuškara za 90°

$$t_8 = 3s$$

t₉ – vreme vožnje neopterećenog viljuškara na rastojanju /

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{3.67m/s}{1.5s} = 2.44m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2.44 \cdot 2.44}{2.44 + 2.44} = 2.44m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.67m/s)^2}{2.44m/s^2} = 5.52m \leq l$$

$$t_9 = \frac{l}{v_{kn}} + t_g = \frac{24m}{3.67m/s} + 1.5s = 8s$$

t₁₀ – vreme podizanja neopterećenih viljuški na visinu H_V

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 0.22 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33 \text{ m/s})^2}{0.22 \text{ m/s}^2} = 0.495 \text{ m} \leq H_v$$

$$t_{10} = \frac{H_v}{v_{dn}} + t_g = \frac{0.5 \text{ m}}{0.33 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 3 \text{ s}$$

Ukoliko je koeficijent smanjenja dužine ciklusa 0,85

$$T_c = 0.85 \cdot (20 + 2.6 + 5 + 12 + 12.2 + 16 + 10.6 + 3 + 8 + 3) = 0.85 \cdot 92.4 = 78.54 \text{ s}$$

Vreme potrebno za opslugu jednog kamiona je

$$T_i = 20 \cdot T_c = 1570.8 \text{ s} \approx 0.44 \text{ h}$$

Intenzitet opsluge kamiona je

$$\mu = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{0.44 \text{ h}} = 2.25 \text{ h}^{-1}$$

Optimalan broj viljuškara se dobija preko funkcije cilja

$$T(S) = \begin{cases} C_1 \cdot S + L_q \cdot C_2 + L \cdot (W - IS) \cdot C_3, & W > IS \\ C_1 \cdot S + L_q \cdot C_2, & W \leq IS \end{cases}$$

gde su: S – broj angažovanih viljuškara

L_q – srednji broj kamiona na parkingu

L – srednji broj kamiona u sistemu

W – srednje vreme zadržavanja kamiona u sistemu

C_1 – troškovi angažovanja jednog viljuškara

C_2 – troškovi jednog parking mesta

C_3 – troškovi zadržavanja jednog kamiona duže od intervala strpljivosti

IS – interval strpljivosti vozila

Minimalno potreban broj viljuškara se dobija iz graničnog uslova

$$\rho = \frac{\lambda}{S \cdot \mu} \leq 1 \Rightarrow S \geq \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\text{tj. } S \geq \frac{4}{2.25} = 1.78 \Rightarrow S \geq 2$$

Sada se računaju vrednosti ciljne funkcije za različite vrednosti S, pri čemu se za L, L_q i W uzimaju vrednosti dobijene na osnovu sledeće tabele

MODEL	M/M/1/GD/ ∞/∞	M/M/S/GD/ ∞/∞
P₀	$1 - \rho$	$\frac{1}{\frac{(\rho S)^S}{S!(1-\rho)} + \sum_{n=0}^{S-1} \frac{(\rho S)^n}{n!}}$
L	$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L_q + \frac{\lambda}{\mu}$
L_q	$L - \rho$	$\frac{(\rho S)^S P_0 \rho}{S!(1-\rho)^2}$
W	$\frac{1}{\mu - \lambda}$	$W_q + \frac{1}{\mu}$
W_q	$\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	$\frac{L_q}{\lambda}$

Vrednosti ciljne funkcije za različit broj angažovanih viljuškara, kao i karakteristike sistema date su u sledećoj tabeli

	S=2	S=3	S=4	S=5
P ₀	0,06	0,15	0,16	0,17
L	8,47	2,28	1,88	1,8
L _q	6,69	0,5	0,1	0,02
W	2,11	0,57	0,46	0,44
W _q	1,67	0,13	0,02	0,005
ρ	0,89	0,59	0,44	0,35
T(S)	3866,39	414,97	482,98	600

Iz tabele se vidi da je najbolje rešenje koje podrazumeva angažovanje **3 viljuškara**.

- c) Tok istovara vozila se može podeliti na dve faze. U prvoj fazi se palete istovaruju sa vozila i odlažu na pufer, a u drugoj se zahvataju sa pufera, prevoze i skladište.

Prva faza

Vreme jednog ciklusa viljuškara se određuje kao u prvom delu zadatka, pri čemu je visina dizanja (spuštanja) viljuški u vozilu jednaka visini dizanja (spuštanja) viljuški na puferu, jer se palete na puferu slažu jedna na drugu

$$H_V = H_P = 0.5m$$

a srednji put koji vozilo prelazi je

$$l_1 = 4m + 4.5m = 8.5m$$

Na taj način se dobijaju vremena aktivnosti u ciklusu

t₁ – vreme zahvatanja palete u vozilu

$$t_1 = 20s$$

t₂ – vreme spuštanja opterećenih viljuški sa visine H_V

$$t_g = 1.5s$$

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.43 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 0.29 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.29 \cdot 0.29}{0.29 + 0.29} = 0.29 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.43 \text{ m/s})^2}{0.29 \text{ m/s}^2} = 0.64 \text{ m} > H_v \quad \Rightarrow$$

$$t_2 = 2 \sqrt{\frac{H_v}{b'}} = 2 \sqrt{\frac{0.5 \text{ m}}{0.29 \text{ m/s}^2}} = 2.6 \text{ s}$$

t₃ – vreme okretanja viljuškara za 180°

$$t_3 = 5 \text{ s}$$

t₄ – vreme vožnje opterećenog viljuškara na rastojanju l₁

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{2.28 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 1.52 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{1.52 \cdot 1.52}{1.52 + 1.52} = 1.52 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(2.28 \text{ m/s})^2}{1.52 \text{ m/s}^2} = 3.42 \text{ m} \leq l_1$$

$$t_4 = \frac{l_1}{v_{ko}} + t_g = \frac{8.5 \text{ m}}{2.28 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 5.2 \text{ s}$$

t₅ – vreme podizanja opterećenih viljuški na visinu H_p

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.28 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 0.19 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.19 \cdot 0.19}{0.19 + 0.19} = 0.19 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.28 \text{ m/s})^2}{0.19 \text{ m/s}^2} = 0.42 \text{ m} \leq H_p$$

$$t_5 = \frac{H_p}{v_{do}} + t_g = \frac{0.5 \text{ m}}{0.28 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 3.3 \text{ s}$$

t₆ – vreme odlaganja palete

$$t_6 = 16 \text{ s}$$

t₇ – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine H_p

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 0.22 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33 \text{ m/s})^2}{0.22 \text{ m/s}^2} = 0.495 \text{ m} \leq H_p$$

$$t_7 = \frac{H_p}{v_{sn}} + t_g = \frac{0.5m}{0.33m/s} + 1.5s = 3s$$

t₈ – vreme okretanja viljuškara za 180°

$$t_8 = 5s$$

t₉ - vreme vožnje neopterećenog viljuškara na rastojanju l₁

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{3.67m/s}{1.5s} = 2.44m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2.44 \cdot 2.44}{2.44 + 2.44} = 2.44m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.67m/s)^2}{2.44m/s^2} = 5.52m \leq l_1$$

$$t_9 = \frac{l_1}{v_{kn}} + t_g = \frac{8.5m}{3.67m/s} + 1.5s = 3.8s$$

t₁₀ – vreme podizanja neopterećenih viljuški na visinu H_v

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33m/s}{1.5s} = 0.22m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33m/s)^2}{0.22m/s^2} = 0.495m \leq H_v$$

$$t_{10} = \frac{H_v}{v_{dn}} + t_g = \frac{0.5m}{0.33m/s} + 1.5s = 3s$$

Ukoliko je koeficijent smanjenja dužine ciklusa 0,85

$$T_c = 0.85 \cdot (20 + 2.6 + 5 + 5.2 + 3.3 + 16 + 3 + 5 + 3.8 + 3) = 0.85 \cdot 66.9s = 57s$$

Vreme potrebno za opslugu jednog kamiona je

$$T_i = 20 \cdot T_c = 1140s \cong 0.32h$$

Intenzitet opsluge kamiona je

$$\mu_1 = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{0.32h} = 3.125h^{-1}$$

Iz graničnog uslova

$$S \geq \frac{\lambda}{\mu} \Rightarrow S_1 \geq \frac{4}{3.125} = 1.28$$

dobijamo da je, za opslugu kamiona, minimalno potrebno 2 viljuškara.

Druga faza

Srednja visina dizanja(spuštanja) viljuški na puferu i regalu su, H_p=0,5m i H_R=3m.

Srednji put koji viljuškar prelazi je

$$l_2 = \frac{18m + 11m + 18m}{3} = 15.7m$$

Imajući u vidu da se palete jednak broj puta odlažu u svaki od prolaza, srednje vreme koje je viljuškaru potrebno za okretanje na puferu je $\frac{3s + 5s + 3s}{3} = 3.7s$, jer se dva puta okreće za 90° , a jednom za 180° . Uzimajući sve ovo u obzir vremena pojedinih aktivnosti viljuškara su

t_1 – vreme zahvatanja palete na puferu

$$t_1 = 20s$$

t_2 – vreme spuštanja opterećenih viljuški sa visine H_v

$$t_g = 1.5s$$

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.43m/s}{1.5s} = 0.29m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.29 \cdot 0.29}{0.29 + 0.29} = 0.29m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.43m/s)^2}{0.29m/s^2} = 0.64m > H_v \Rightarrow$$

$$t_2 = 2\sqrt{\frac{H_v}{b'}} = 2\sqrt{\frac{0.5m}{0.29m/s^2}} = 2.6s$$

t_3 – vreme okretanja viljuškara

$$t_3 = 3.7s$$

t_4 – vreme vožnje opterećenog viljuškara na rastojanju l_2

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{2.28m/s}{1.5s} = 1.52m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{1.52 \cdot 1.52}{1.52 + 1.52} = 1.52m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(2.28m/s)^2}{1.52m/s^2} = 3.42m \leq l_2$$

$$t_4 = \frac{l_2}{v_{ko}} + t_g = \frac{15.7m}{2.28m/s} + 1.5s = 8.4s$$

t_5 – vreme podizanja opterećenih viljuški na visinu H_R

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.28m/s}{1.5s} = 0.19m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.19 \cdot 0.19}{0.19 + 0.19} = 0.19m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.28m/s)^2}{0.19m/s^2} = 0.42m \leq H_R$$

$$t_5 = \frac{H_R}{v_{do}} + t_g = \frac{3m}{0.28m/s} + 1.5s = 12.2s$$

t₆ – vreme odlaganja palete

$$t_6 = 16s$$

t₇ – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine H_R

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33m/s}{1.5s} = 0.22m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33m/s)^2}{0.22m/s^2} = 0.495m \leq H_R$$

$$t_7 = \frac{H_R}{v_{sn}} + t_g = \frac{3m}{0.33m/s} + 1.5s = 10.6s$$

t₈ – vreme okretanja viljuškara za 90°

$$t_8 = 3s$$

t₉ – vreme vožnje neopterećenog viljuškara na rastojanju l₂

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{3.67m/s}{1.5s} = 2.44m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2.44 \cdot 2.44}{2.44 + 2.44} = 2.44m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.67m/s)^2}{2.44m/s^2} = 5.52m \leq l_2$$

$$t_9 = \frac{l_2}{v_{kn}} + t_g = \frac{15.7m}{3.67m/s} + 1.5s = 5.8s$$

t₁₀ – vreme podizanja neopterećenih viljuški na visinu H_P

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.33m/s}{1.5s} = 0.22m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.22 \cdot 0.22}{0.22 + 0.22} = 0.22m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.33m/s)^2}{0.22m/s^2} = 0.495m \leq H_P$$

$$t_{10} = \frac{H_P}{v_{dn}} + t_g = \frac{0.5m}{0.33m/s} + 1.5s = 3s$$

$$T_C = 0.85 \cdot (20 + 2.6 + 3.7 + 8.4 + 12.2 + 16 + 10.6 + 3 + 5.8 + 3) = 0.85 \cdot 85.3 = 72.5s$$

Ovo je vreme potrebno za opslugu jedne palete, pa je intenzitet opsluge paleta

$$\mu_2 = \frac{1}{72.5 / \frac{3600}{h}} \cong 50 \text{ pal/h}$$

Intenzitet kojim palete dolaze na pufer je jednak intenzitetu kojim

viljuškari opslužuju palete sa kamiona u prvoj fazi, tj. kako je trajanje ciklusa viljuškara u prvoj fazi 57s, to je intenzitet opsluge paleta u toj fazi jednak

$\mu_1 = \frac{1}{57/3600} \cong 63 \text{ } \textit{pal/h}$, a kako u prvoj fazi radi dva viljuškara to je intenzitet dolazaka paleta u drugu fazu.

$$\lambda_2 = 2 \cdot \mu_1 = 126 \text{ } \textit{pal/h}$$

Minimalno potreban broj viljuškara se dobija iz graničnog uslova

$$S_2 \geq \frac{\lambda_2}{\mu_2} \Rightarrow S_2 \geq \frac{126}{50} = 2.52 \Rightarrow S_2 = 3$$

Potrebna veličina pufera je srednja dužina reda koji se javlja u drugoj fazi opsluge, i dobija se kao

$$L_{q_2} = \frac{(\rho_2 S_2)^{S_2} P_{02} \rho_2}{S_2! (1 - \rho_2)^2}$$

Zamenom odgovarajućih veličina u prethodnoj jednačini dobija se da je srednja dužina reda 3.74, tj. za pufer treba obezbediti četiri mesta.