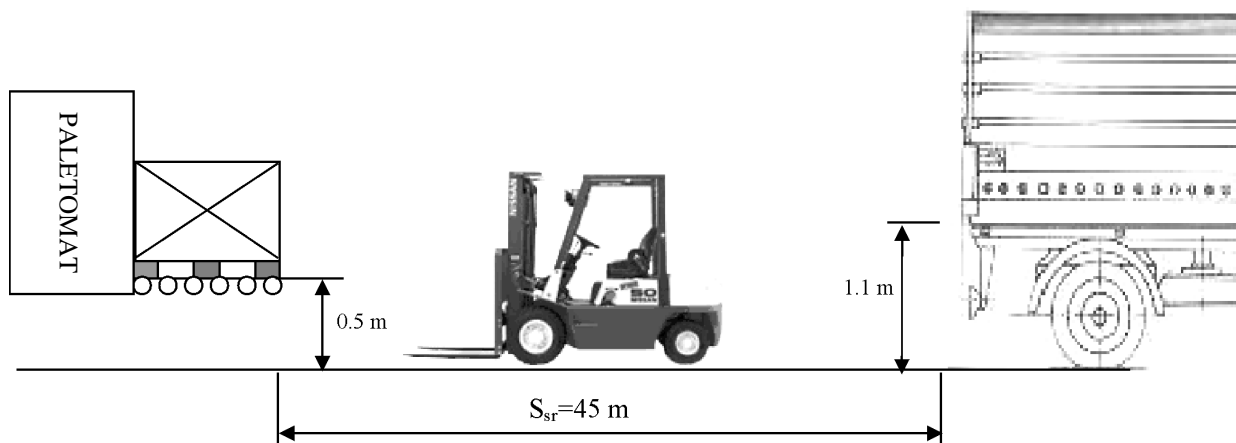


# VILJUŠKARI

1. Viljuškari se koristi za utovar standardnih euro-pool paleta na drumsko vozilo u sistemu prikazanom na slici.



- a) Koliko treba viljuškara da bi vreme utovara kamiona u koji staje 10 paleta bilo manje od 6 min, ako su poznate
- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| $v_{do} = 0,2 \text{ m/s}$ | $v_{dn} = 0,25 \text{ m/s}$ |
| $v_{so} = 0,3 \text{ m/s}$ | $v_{sn} = 0,25 \text{ m/s}$ |
| $v_{ko} = 8 \text{ km/h}$  | $v_{kn} = 10 \text{ km/h}$  |
| $\rho = 0,85$              |                             |
- b) Koliki je potreban broj viljuškara ako se brzina kretanja viljuškara poveća za 50 %
- c) Izračunati iskorišćenje viljuškara u oba slučaja

## REŠENJE

a) Kapacitet jednog viljuškara u vremenskom periodu od 6 minuta se računa prema formuli:

$$Q_{K6'} = \frac{360}{T_C} \left[ \frac{pal}{6'} \right]$$

gde je  $T_C$  vreme ciklusa viljuškara

$$T_C = \rho \sum_i t_i$$

a pri čemu su  $t_i$  vremena pojedinih aktivnosti u ciklusu:

$t_1$  – vreme zahvatanja – Bazirano je na iskustvenim vrednostima (strana 370. knjige prof. Sretenovića – 10 do 15s), a u ovom slučaju usvajamo 10s

$t_2$  – vreme spuštanja opterećenih viljuški

Računa se na osnovu načina kretanja viljuški viljuškara, tj. uopšte načina kretanja. Naime, da bi viljuškari dostigao maksimalnu brzinu potrebno je da bude zadovoljen uslov

$$S \geq \frac{v_{\max}^2}{b'} \quad (1)$$

Ukoliko je uslov zadovoljen (slučaj I na donjoj slici) vreme kretanja viljuškara

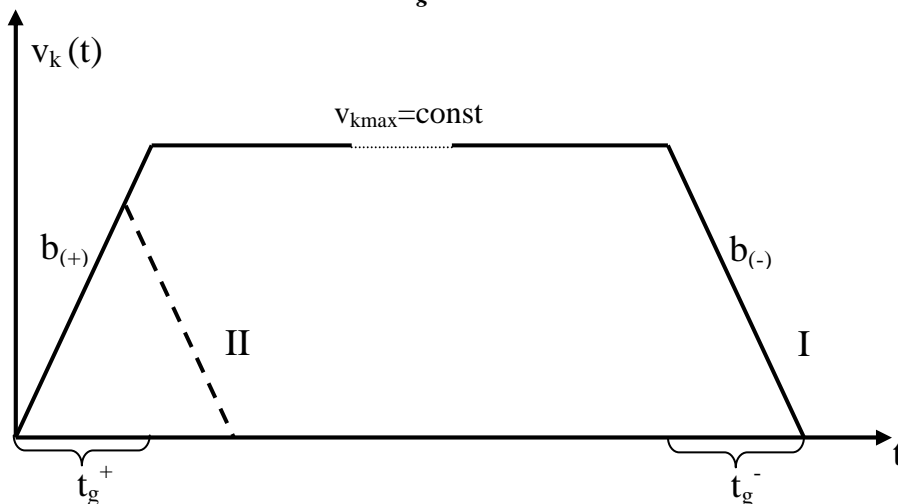
je  $t_k = \frac{S}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{b'}$ , tj.  $t_k = \frac{S}{v_{\max}} + t_g$  a u suprotnom (slučaj II na donjoj slici) važi da je

$$t_k = 2\sqrt{\frac{S}{b'}}$$

$$t_2 = t_{so} = \frac{H_1}{v_{\max}} + t_g$$

pri čemu je  $t_g$  vreme koje se dodaje zbog gubitaka pri ubrzanju i usporenju i za njegovu vrednost usvajamo vrednost od 1 do 1.5s. U konkretnom slučaju će biti usvojeno 1s.

**DA LI VILJUŠKAR ZA VREME  $t_g$  DOSTIŽE MAKSIMALNU BRZINU?**



$b'$  je harmonijsko ubrzanje i dobija se iz formule

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}}$$

Kako je u našem slučaju  $b_{(+)}$  jednako  $b_{(-)}$ , jer je  $t_g^+ = t_g^- = t_g$ , to se za  $b_{(+)}$  i  $b_{(-)}$  dobija

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.3 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 0.3 \text{ m/s}^2$$

a harmonijsko ubrzanje je

$$b' = 2 \cdot \frac{0.3 \cdot 0.3}{0.3 + 0.3} = 0.3 \text{ m/s}^2$$

Sada uslov  $H_1 \geq \frac{v_{\max}^2}{b'}$  ima oblik

$$H_1 \geq \frac{(0.3 \text{ m/s})^2}{0.3 \text{ m/s}^2} = \frac{0.09 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0.3 \text{ m/s}^2} = 0.3 \text{ m} \quad \Rightarrow \text{ uslov je zadovoljen pa je}$$

$$t_2 = \frac{H_1}{v_{\max}} + t_g = \frac{0.5 \text{ m}}{0.3 \text{ m/s}} + 1 \text{ s} = 1.67 + 1 = 2.67 \text{ s}$$

**$t_3$  - vreme okretanja za  $180^\circ$**

Vreme potrebno za izvršavanje ove aktivnosti se bazira na iskustvenim vrednostima i kreće se u sledećim granicama.

Okretanje za 90° - **6 do 8s**

Okretanje za 180° - **10 do 15s**

U ovom slučaju usvajamo 10s.

#### **t<sub>4</sub> – vreme kretanja opterećenog viljuškara**

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{8000m/3600s}{1s} = 2.22m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2.22 \cdot 2.22}{2.22 + 2.22} = 2.22m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(8000m/3600s)^2}{2.22m/s^2} = 2.22m \leq S_{sr} \Rightarrow \text{uslov je ispunjen, pa je}$$

$$t_4 = t_{ko} = \frac{S_{sr}}{v_{ko}} + t_g = \frac{45m}{8000m/3600s} + t_g = 20,25 + t_g \text{ gde je } t_g \text{ 1s.}$$

$$t_4 = 20,25s + 1s = 21,25s$$

#### **t<sub>5</sub> – vreme podizanja opterećenih viljuški**

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.2m/s}{1s} = 0.2m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.2 \cdot 0.2}{0.2 + 0.2} = 0.2m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.2m/s)^2}{0.2m/s^2} = 0.2m \leq H \Rightarrow \text{uslov je ispunjen, pa je}$$

$$t_5 = t_{do} = \frac{H}{v_{\max}} + t_g = \frac{1.1m}{0.2m/s} + t_g = 5.5s + t_g, \quad t_g = 1s$$

$$t_5 = 5.5s + 1s = 6.5s$$

#### **t<sub>6</sub> – vreme odlaganja palete na vozilo**

Takođe se bazira na iskustvenim vrednostima, i kreće se u granicama od 5 do 8s, a u ovom slučaju usvajamo 5s.

#### **t<sub>7</sub> – vreme spuštanja neopterećenih viljuški**

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{0.25m/s}{1s} = 0.25m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0.25 \cdot 0.25}{0.25 + 0.25} = 0.25m/s^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(0.25m/s)^2}{0.25m/s^2} = 0.25m \leq H \Rightarrow \text{uslov je ispunjen, pa je}$$

$$t_7 = t_{sn} = \frac{H}{v_{sn}} + t_g = \frac{1,1m}{0,25m/s} + t_g = 4,4s + t_g \quad t_g = 1s$$

$$t_7 = 4,4s + 1s = 5,4s$$

**t<sub>8</sub> – vreme okretanja za 90° (usvajamo 6s)**

**t<sub>9</sub> – vreme kretanja neopterećenog viljuškara**

Ako kao u slučaju t<sub>2</sub> usvojimo da je t<sub>g</sub> 1s, tada provera dostizanja maksimalne brzine izgleda

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{max}}{t_g} = \frac{10000m/3600s}{1s} = 2,77m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2,77 \cdot 2,77}{2,77 + 2,77} = 2,77m/s^2$$

$$\frac{v_{max}^2}{b'} = \frac{(10000m/3600s)^2}{2,77m/s^2} = 2,77m \leq S_{sr} \quad \Rightarrow \quad \text{uslov je ispunjen i } t_9 \text{ je}$$

$$t_9 = \frac{S_{sr}}{v_{kn}} + \frac{v_{kn}}{b'} = \frac{45m}{10000m/3600s} + \frac{10000m/3600s}{2,77m/s^2} = 16,2 + 1 = 17,2s$$

**t<sub>10</sub> – vreme podizanja neopterećenih viljuški**

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{max}}{t_g} = \frac{0,25m/s}{1s} = 0,25m/s^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{0,25 \cdot 0,25}{0,25 + 0,25} = 0,25m/s^2$$

$$\frac{v_{max}^2}{b'} = \frac{(0,25m/s)^2}{0,25m/s^2} = 0,25m \leq H_1 \quad \Rightarrow \quad \text{uslov je ispunjen i } t_{10} \text{ je}$$

$$t_{10} = \frac{H_1}{v_{dn}} + t_g = \frac{0,5m}{0,25m/s} + t_g = 2s + t_g \quad t_g = 1s$$

$$t_{10} = 2s + 1s = 3s$$

$$T_C = \rho \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i = 0,85 \cdot (10 + 2,67 + 10 + 21,25 + 6,5 + 5 + 5,4 + 6 + 17,2 + 3) =$$

$$0,85 \cdot 87,02 = 73,967s$$

$$Q_{K6'} = \frac{360}{73,967} = 4,87 \quad \left[ \frac{pal}{6'} \right]$$

Potreban broj viljuškara za utovar 10 paleta u periodu od šest minuta je

$$N = \frac{Q_{potr}}{Q_{K6'}} = \frac{10}{4,87} = 2,06 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{potrebno je tri viljuškara.}}$$

b)U slučaju povećanja brzine kretanja viljuškara za 50%, odgovarajuće brzine će iznositi

$$v_{ko} = 12 \text{ km/h} = 3,33 \text{ m/s}$$

$$v_{kn}=15 \text{ km/h}=4,17 \text{ m/s}$$

tj., u odnosu na ciklus viljuškara iz prethodnog dela zadatka promeniće se samo  $t_4$  i  $t_9$ .

### **$T_{4b}$ – vreme kretanja opterećenog viljuškara**

Za  $t_g$  usvajamo 1s, tako da proverom dostizanja maksimalne brzine

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{3.33 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 3.33 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{3.33 \cdot 3.33}{3.33 + 3.33} = 3.33 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.33)^2}{3.33 \text{ m/s}^2} = 3.33 \text{ m} \leq S_{sr}$$

dobijamo da je

$$t_{4b} = t_{ko} = \frac{S_{sr}}{v_{ko}} + t_g = \frac{45 \text{ m}}{3.33 \text{ m/s}} + 1 = 13.5 + 1 = 14.5 \text{ s}$$

$$\Delta t_4 = t_4 - t_{4b} = 21.25 - 14.5 = 6.75 \text{ s}$$

### **$t_{9b}$ – vreme kretanja neopterećenog viljuškara**

Isto kao i u slučaju  $t_{4b}$ :

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{4.17 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 4.17 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{4.17 \cdot 4.17}{4.17 + 4.17} = 4.17 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(4.17)^2}{4.17 \text{ m/s}^2} = 4.17 \text{ m} \leq S_{sr} \quad \Rightarrow \quad \text{uslov je ispunjen i } t_{9b} \text{ je}$$

$$t_{9b} = \frac{S_{sr}}{v_{kn}} + \frac{v_{kn}}{b'} = \frac{45 \text{ m}}{4.17 \text{ m/s}} + \frac{4.17 \text{ m/s}}{4.17 \text{ m/s}^2} = 10.8 + 1 = 11.8 \text{ s}$$

$$\Delta t_9 = t_9 - t_{9b} = 17.2 - 11.8 = 5.4 \text{ s}$$

Razlika između ciklusa u prvom i drugom slučaju je

$$T_{Cb} = T_C - \rho \cdot (\Delta t_3 + \Delta t_8) = 73.967 - 0.85(6.75 + 5.4) = 77.37 - 10.33 = 63.637 \text{ s}$$

Kapacitet viljuškara je

$$Q_{K6'}^b = \frac{360}{63.637} = 5.65 \quad \left[ \frac{\text{pal}}{6'} \right]$$

a potreban broj viljuškara je

$$N^b = \frac{10}{5.65} = 1.77 \quad \Rightarrow \quad N^b = 2$$

c) Iskorišćenje viljuškara se dobija iz

$$\eta = \frac{Q_{potr}}{N \cdot Q_{vilj}}$$

tako da su iskorišćenja viljuškara

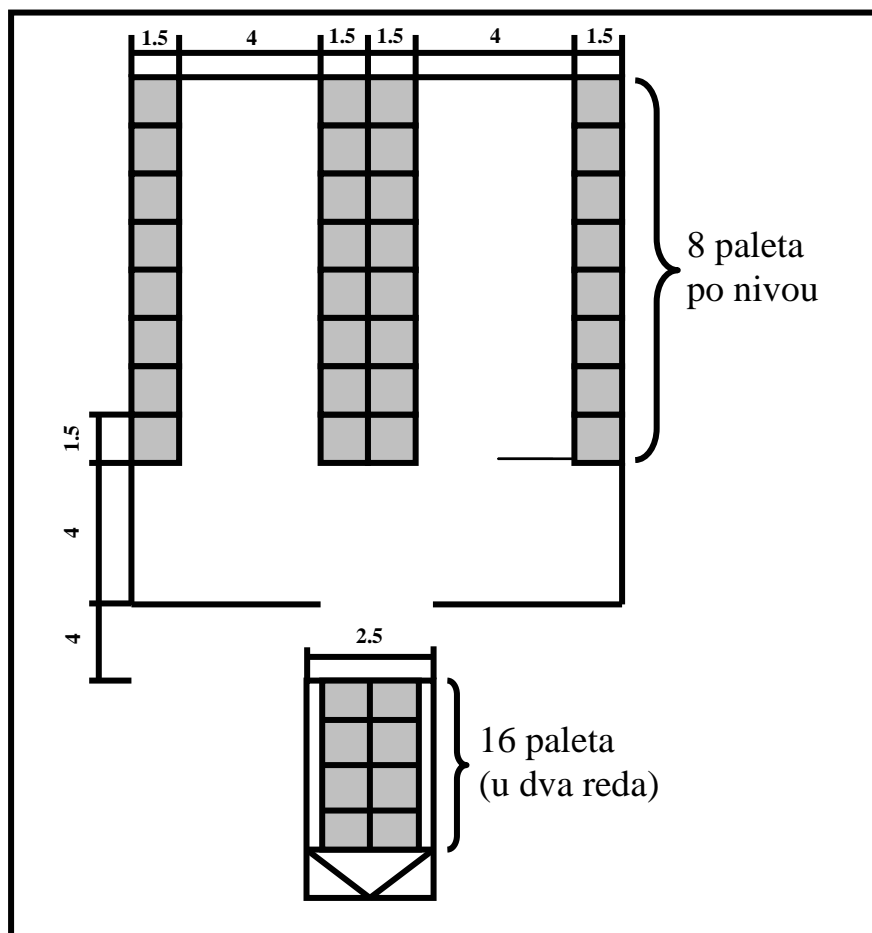
$$\eta_a = \frac{10}{3 \cdot 4.87} = \frac{10}{14.61} = 0.6845$$

$$\eta_b = \frac{10}{2 \cdot 5.65} = \frac{10}{11.3} = 0.8849$$

2. Izračunati očekivano vreme utovara vozila koje dolazi na pretovarni front regalskog paletnog skladišta, prikazanog na situacionom planu na slici, ukoliko se utovar realizuje viljuškarom, a palete se zahvataju sa podjednakom verovatnoćom sa svake pozicije.

Elementi potrebni za proračun ciklusa su:

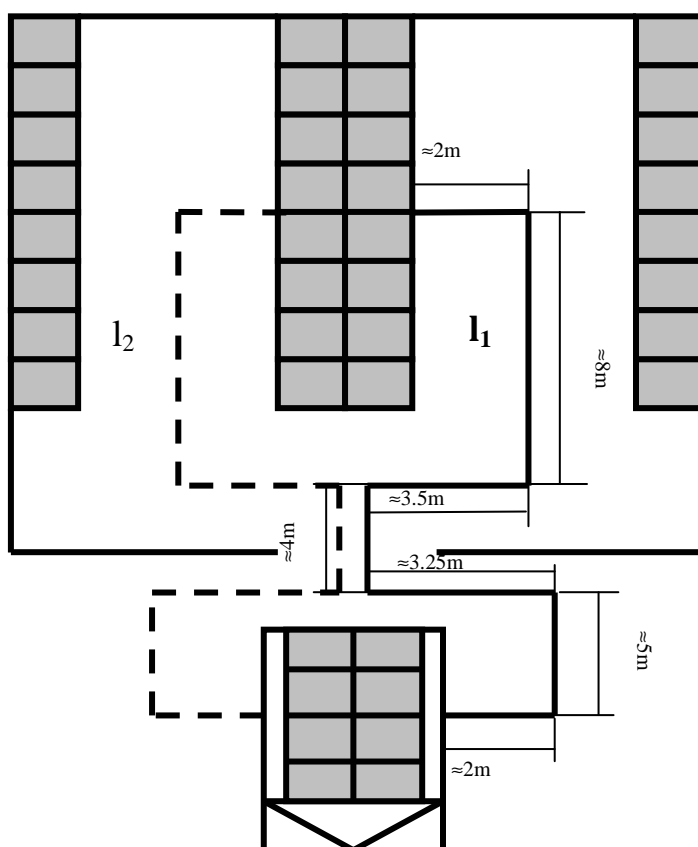
- Brzina kretanja viljuškara u opterećenom/neopterećenom smeru je 8,2/13,2 km/h
- Brzina podizanja opterećenih/neopterećenih viljuški je 0,28/0,33 m/s
- Brzina spuštanja opterećenih/neopterećenih viljuški je 0,43/0,33 m/s
- Vreme zahvatanja paleta – 20s
- Vreme odlaganja paleta – 16s
- Okretanje viljuškara za  $90^\circ$  - 3s
- Palete su uskladištene u 5 redova po visini, visina regalske ćelije je 1,2m, a paletnog sloga 1m
- Vozila nose 16 paleta utovarenih u dva reda po visini
- Visina poda tovarnog sanduka je 1,1m.



## REŠENJE

Utvrđivanje vremena utovara vozila –  $T_{ut}$ , odnosno ciklusa viljuškara –  $T_C$  ( $T_{ut}=16 \cdot T_C$ ) podrazumeva da se, zbog postojanja uslova da se palete sa jednakom verovatnoćom zahvataju sa proizvoljnih pozicija u skladištu, u prvom koraku definišu srednja rastojanja i visine.

Ako se razmatra putanja viljuškara od regala do vozila činjenica da je ista verovatnoća zahvatanja (uzimanja) palete sa bilo koje pozicije govori da će viljuškar približno isti broj puta ići do svakog polja u regalu. To dalje znači da je srednji put moguće približno oceniti na način prikazan na slici u nastavku.



$$\bar{l}_1 \cong \bar{l}_2$$

$$\bar{l}_1 = \sum_{i=1}^7 l_1^i$$

Imajući u vidu geometriju sistema i date dimenzije zaključuje se da je srednje rastojanje  $\bar{l}_1 \cong 27.75m \cong 30m$ .

S obzirom da se palete skladište u regalska polja u 5 redova po visini, to je srednja visina sa koje se paleta zahvata

$$H_R = \frac{0 + 1.2 + 2.4 + 3.6 + 4.8}{5} = \frac{12}{5} = 2.4m$$

S obzirom da se palete u vozilu slažu u dva reda, srednja visina na koju se palete odlažu (imajući u vidu visinu tovarnog sanduka) iznosi

$$H_V = \frac{1.1 + (1.1 + 1)}{2} = 1.6m$$



## PRORAČUN DUŽINE PRETOVARNOG CIKLUSA

**t<sub>1</sub> – vreme zahvatanja palete iz regala**

$$t_1 = 20s$$

**t<sub>2</sub> – vreme spuštanja palete sa visine H<sub>r</sub>**

$$t_g = 1.5s$$

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

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

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

$$t_2 = \frac{H_R}{v_{so}} + t_g = \frac{2.4m}{0.43m/s} + 1.5s = 7.1s$$

**t<sub>3</sub> – vreme okretanja viljuškara za 90°**

$$t_3 = 3s$$

**t<sub>4</sub> – vreme vožnje opterećenog viljuškara na rastojanju  $\bar{l}_1$**

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

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

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(2.28m/s)^2}{1.52m/s^2} = 3.42m \leq \bar{l}_1$$

$$t_4 = \frac{\bar{l}_1}{v_{ko}} + t_g = \frac{30m}{2.28m/s} + 1.5s = 14.66s$$

**t<sub>5</sub> – vreme podizanja opterećenih viljuški na visinu H<sub>v</sub>**

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

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

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

$$t_5 = \frac{H_V}{v_{do}} + t_g = \frac{1.6m}{0.28m/s} + 1.5s = 7.2s$$

**t<sub>6</sub> – vreme odlaganja palete na vozilo**

$$t_6 = 16s$$

**$t_7$  – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine  $H_V$**

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

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

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

$$t_7 = \frac{H_V}{v_{sn}} + t_g = \frac{1.6 \text{ m}}{0.33 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 6.35 \text{ s}$$

**$t_8$  – vreme okretanja viljuškara za  $90^\circ$**

$$t_8 = 3 \text{ s}$$

**$t_9$  - vreme vožnje neopterećenog viljuškara na rastojanju  $\bar{l}_1$**

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

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

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.67 \text{ m/s})^2}{2.44 \text{ m/s}^2} = 5.52 \text{ m} \leq \bar{l}_1$$

$$t_9 = \frac{\bar{l}_1}{v_{kn}} + t_g = \frac{30 \text{ m}}{3.67 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 9.67 \text{ s}$$

**$t_{10}$  – vreme podizanja neopterećenih viljuški na visinu  $H_R$**

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

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

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

$$t_{10} = \frac{H_R}{v_{dn}} + t_g = \frac{2.4 \text{ m}}{0.33 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 8.77 \text{ s}$$

Ukoliko je koeficijent dvojnih operacija 0,85

$$T_C = 0.85 \cdot (20 + 7.1 + 3 + 14.66 + 7.2 + 16 + 6.35 + 3 + 9.67 + 8.77) = 0.85 \cdot 95.75 \cong 81.4 \text{ s}$$

Vreme utovara je

$$T_{ut} = 16 \cdot T_C = 16 \cdot 81.4 = 1302.4 \text{ s} \cong 22 \text{ min}$$

### 3. Prema postavci prethodnog zadatka izračunati vreme istovara vozila za slučaj da viljuškar u jednom ciklusu nosi dve palete.

#### REŠENJE

U ovom slučaju menja se visina  $H_V$ , jer se pri jednovremenom zahvatanju dve palete viljuške podižu do nivoa (odnosno nešto iznad) tovarnog sanduka.

$$H_V = 1.1m$$

Srednje rastojanje ( $\bar{l}_1$ ) ostaje isto, kao i visina na koju se palete odlažu u regal ( $H_V$ ).

Ono što, međutim, treba imati u vidu pri ovoj koncepciji realizacije procesa jeste to da u regalsku ćeliju nije moguće jednovremeno uskladištiti dve palete, već se one prethodno moraju odložiti u regalski prolaz, a zatim jedna po jedna uskladištiti.

#### PRORAČUN DUŽINE PRETOVARNOG CIKLUSA

**$t_1$  – vreme zahvatanja paleta sa vozila**

$$t_1 = 20s$$

**$t_2$  – vreme spuštanja palete sa visine  $H_V$**

$$t_g = 1.5s$$

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

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

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

$$t_2 = \frac{H_V}{v_{so}} + t_g = \frac{1.1m}{0.43m/s} + 1.5s = 4.06s$$

**$t_3$  – vreme okretanja viljuškara za  $90^\circ$**

$$t_3 = 3s$$

**$t_4$  – vreme vožnje opterećenog viljuškara na rastojanju  $\bar{l}_1$**

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

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

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(2.28m/s)^2}{1.52m/s^2} = 3.42m \leq \bar{l}_1$$

$$t_4 = \frac{\bar{l}_1}{v_{ko}} + t_g = \frac{30m}{2.28m/s} + 1.5s = 14.66s$$

**t<sub>5</sub> – vreme odlaganja paleta u regalski prolaz**

$$t_5 = 16s$$

**t<sub>6</sub> – vreme zahvatanja "gornje" palete**

t<sub>6</sub>=20s (ukoliko pretpostavimo da je u ovo vreme uključeno i manevrisanje)

**t<sub>7</sub> – vreme podizanja "gornje" palete na visinu H<sub>R</sub>**

(radi jednostavnijeg proračuna pretpostavljeno je da je brzina podizanja neopterećenih viljuški jednaka brzini podizanja opterećenih viljuški)

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

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

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

$$t_7 = \frac{H_R}{v_{do}} + t_g = \frac{2.4m}{0.28m/s} + 1.5s = 10.07s$$

**t<sub>8</sub> – vreme odlaganja palete u regalsku ćeliju**

$$t_8 = 16s$$

**t<sub>9</sub> – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine H<sub>R</sub>**

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

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

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

$$t_9 = \frac{H_R}{v_{sn}} + t_g = \frac{2.4m}{0.33m/s} + 1.5s = 8.77s$$

**t<sub>10</sub> – vreme zahvatanja "donje" palete**

$$t_{10} = 20s$$

**t<sub>11</sub> – vreme podizanja "donje" palete na visinu H<sub>R</sub>**

$$t_{11} = \frac{H_R}{v_{do}} + t_g = \frac{2.4m}{0.28m/s} + 1.5s = 10.07s$$

**t<sub>12</sub> – vreme odlaganja palete u regalsku ćeliju**

$$t_{12} = 16s$$

**t<sub>13</sub> – vreme spuštanja neopterećenih viljuški sa visine H<sub>R</sub>**

$$t_{13} = \frac{H_R}{v_{sn}} + t_g = \frac{2.4m}{0.33m/s} + 1.5s = 8.77s$$

**$t_{14}$  – vreme okretanja viljuškara za  $90^\circ$**

$$t_{14} = 3s$$

**$t_{15}$  - vreme vožnje neopterećenog viljuškara na rastojanju  $\bar{l}_1$**

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

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

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.67 m/s)^2}{2.44 m/s^2} = 5.52m \leq \bar{l}_1$$

$$t_{15} = \frac{\bar{l}_1}{v_{kn}} + t_g = \frac{30m}{3.67 m/s} + 1.5s = 9.67s$$

**$t_{16}$  – vreme podizanja neopterećenih viljuški na visinu  $H_V$**

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

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

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

$$t_{16} = \frac{H_V}{v_{dn}} + t_g = \frac{1.1m}{0.33 m/s} + 1.5s = 4.83s$$

$$T_C = 0.85 \cdot \sum_{i=1}^{16} t_i = 0.85 \cdot 184.9 = 157.16s$$

$$T_{ist} = 8 \cdot T_C = 1257.32s \cong 21 \text{ min}$$

## PRIMER PRORAČUNA CIKLUSA PO DIN STANDARDU

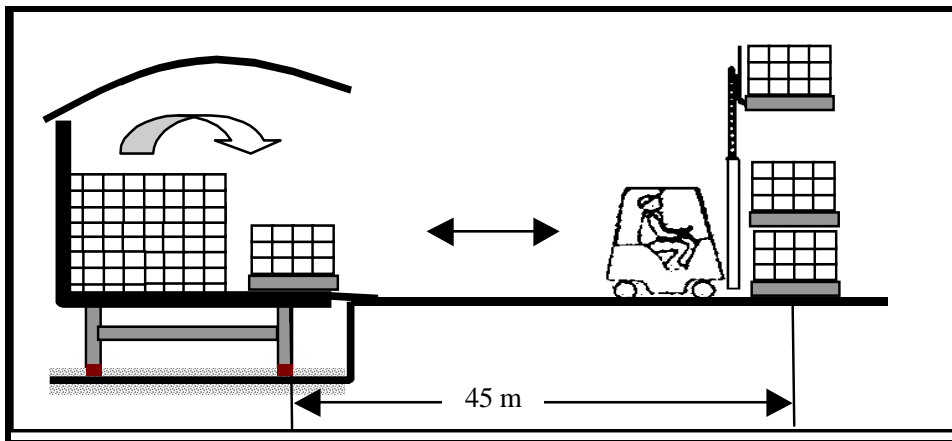
4. Kutije dimenzija 0,4x0,3x0,3m, težine 300 N, dopremaju se vagonima u skladište. Radi efikasnijeg manipulisanja koriste se PUL palete i vagonski viljuškara nosivosti 6kN, pri čemu se paletizacija obavlja u samom vagonu ručno. U skladištu se palete odlažu jedna na drugu.

a) Odrediti potrebno vreme rada jednog viljuškara za istovar jednog vagona, ukoliko je maksimalna visina dizanja viljuškara 2.5 m, prosečno opterećenje vagona

$$\max h_d = 2,5 \text{ m}$$

Prosečno opterećenje vagona je 150 kN.

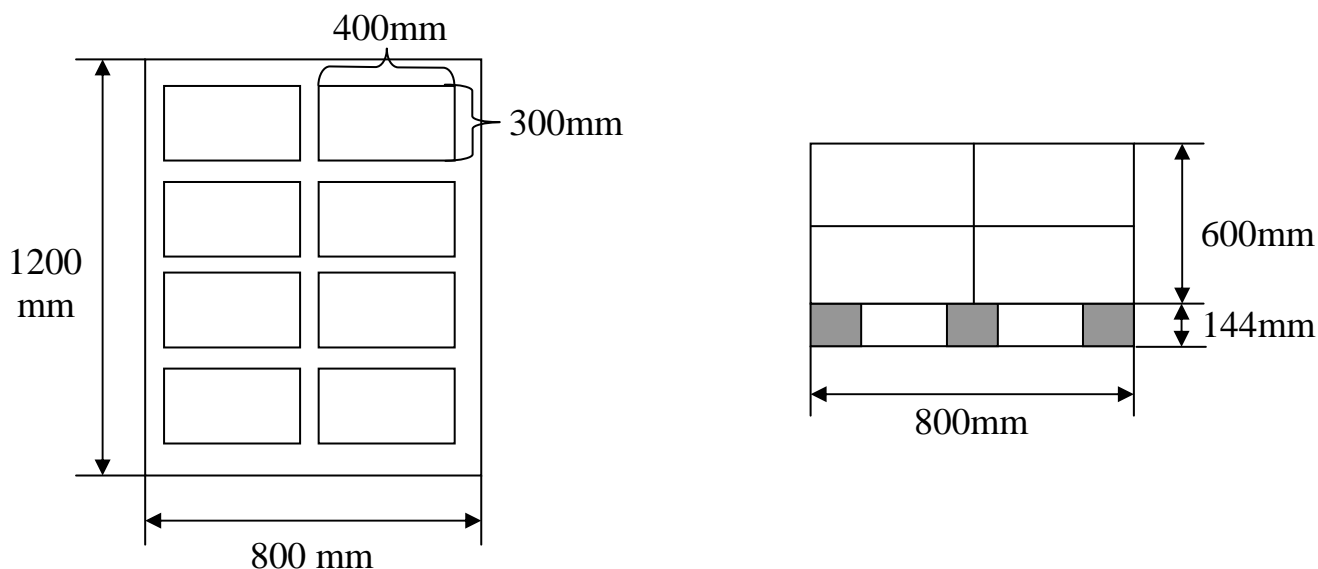
b) Koliko je viljuškara potrebno da se postava od 5 vagona istovari za manje od 3 časa.



## REŠENJE

a) Najpre je neophodno da odredimo način formiranja palete.

Uzimajući u obzir uslove da je nosivost viljuškara 6kN i da se palete u skladištu slažu jedna na drugu, tj. da gornja površina ukupljenog tereta mora da bude ravna, uz date dimenzije kutija, **formiranje paleta** će biti kao na slici.



U jedan red palete staje osam kutija raspoređenih u dve kolone i četiri vrste. Zbog ograničenja nosivosti viljuškara na paleti se mogu formirati dva reda i tada je težina tereta na paleti

$$G = 2 \cdot 8 \cdot 300N = 4800N = 4.8kN$$

**Potreban broj ciklusa** viljuškara je

$$n_c = \frac{G_{voz}}{G_{pal}} = \frac{150kN}{4.8kN} = 31.25 = 32 \text{ ciklusa.}$$

Obzirom da je maksimalna visina dizanja viljuškara 2,5m **formiranje sloga u skladištu** će biti u četiri reda, pri čemu je zadovoljena i statička nosivost palete ( $4 \times 4,8 \text{ kN} < 40 \text{ kN}$ ).

Na osnovu ovoga se računa i **srednja visina dizanja**

$$\bar{H}_d = \frac{n \cdot 72 + n \cdot 816 + n \cdot 1560 + n \cdot 2304}{4 \cdot n} = \frac{4752}{4} = 1188mm$$

**PRORAČUN DIN CIKLUSA**

**t<sub>1</sub> – opterećena paleta zahvaćena sa poda i odlazak viljuškara**

$$t_1 = 15,8s \text{ (tabela 3.1.14)}$$

**t<sub>2</sub> – okretanje**

$$t_2 = 3s$$

**t<sub>3</sub> – vožnja opterećenog viljuškara**

$$t_3 = t_{ko}$$

Ako za  $t_g$  usvojimo 1,5s proverom

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

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

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

dobijamo da je

$$t_3 = \frac{S_{sr}}{v_{\max}} + t_g = \frac{45 \text{ m}}{2.28 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 21.24 \text{ s}$$

**t<sub>4</sub> – odlaganje i odlazak**

$$t_4 = 20,3 \text{ s}$$

**t<sub>5</sub> – okretanje**

$$t_5 = t_2 = 3 \text{ s}$$

**t<sub>6</sub> – vožnja neopterećenog viljuškara**

$$t_g = 1,5 \text{ s}$$

$$b_{(+)} = b_{(-)} = b = \frac{v_{\max}}{t_g} = \frac{3.61 \text{ m/s}}{1.5 \text{ s}} = 2.41 \text{ m/s}^2$$

$$b' = 2 \cdot \frac{b_{(+)} \cdot b_{(-)}}{b_{(+)} + b_{(-)}} = 2 \cdot \frac{2.41 \cdot 2.41}{2.41 + 2.41} = 2.41 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{v_{\max}^2}{b'} = \frac{(3.61)^2}{2.41 \text{ m/s}^2} = 5.4 \text{ m} \leq S_{sr}, \text{ pa je}$$

$$t_6 = \frac{S_{sr}}{v_{\max}} + t_g = \frac{45 \text{ m}}{3.61 \text{ m/s}} + 1.5 \text{ s} = 13.96 \text{ s}$$

$$T_C = \rho \cdot \sum_{i=1}^6 t_i = 0.9 \cdot (15.8 + 3 + 21.24 + 20.3 + 3 + 13.96) = 0.9 \cdot 77.3 = 69.57 \text{ s}$$

Vreme istovara vagona jednim viljuškarom je

$$T_{ist} = T_C \cdot n_c = 69.57 \cdot 32 = 2226.24 \text{ s} = 37'6''$$

b) Kako je vreme istovara jednog vagona jednim viljuškarom 37 minuta i 6 sekundi, vreme istovara pet vagona je 185 minuta i 30 sekundi. Odavde izvodimo zaključak da je uslov da se pet vagona istovari za manje od 3h postojanje najmanje dva viljuškara.