

Kruno Kaurić<sup>1</sup>  
Damir Koščić<sup>2</sup>  
Marko Kršulja<sup>3</sup>

Stručni rad  
UDK 622.619

# PRORAČUN PARAMETARA PRETOVARA U FUNKCIJI ODABIRA POTREBNOG BROJA VILIČARA<sup>4</sup>

## SAŽETAK

Viličari su vozila, prijevozno-prekrcajna sredstva koja imaju vilice koje omogućavaju zahvat tereta te njegov transport, utovar ili istovar. Predstavljaju transportna sredstva koja se koriste u skladištima industrijskih tvornica i slično za slaganje i pretovar tereta. U tehnologiji transporta vrlo je važno poznavati vremena pretovara kako bi se odredio učinak koji služi u procjeni ekonomske isplativosti određenog proizvoda ili usluge. U ovome radu, stoga, prikazan je izračun teorijskog vremena trajanja pretovara uporabom viličara. Osim trajanja pretovara potrebno je odrediti broj viličara koji će se koristiti pri pretovaru zadane količine tereta. U tu svrhu u radu je prikazan način odabira potrebnog broja viličara, ovisno o traženom učinku. Predstavljani su ilustrativni primjeri zadatka određivanja parametara rada viličara. Također je dana usporedba potrošnje potrebne energije s usporedbom potrošnje između električnog, dizelskog i benzinskog goriva. Uporabom prikazanih proračuna omogućava se unaprijeđenje tehnologije pretovara uporabom viličara te odabir viličara.

**Ključne riječi:** viličar, učinak, pretovar, snaga

## 1. UVOD

Viličari (engl. *forklift*) se prema načinu zahvata tereta dijele se na čeone i bočne. S obzirom na nosivost dijele se na lake (10 kN), srednje (30 kN), teške (60 kN) i vrlo teške (> 60 kN). Sami viličari nisu namijenjeni isključivo za transport, pa se prihvaća da se 40 % vremena koristi za kontinuirani transport, a za ostale aktivnosti 60 %. U tehnologiji transporta vrlo je važno poznavati vremena pretovara, kako bi se odredio učinak koji služi u procjeni ekonomske isplativosti određenog proizvoda ili usluge. Zato će u ovom radu biti prikazan primjer proračuna teorijskog vremena trajanja pretovara uporabom viličara. Budući da je snaga jedan od važnih čimbenika koji se veže uz pretovar, bit će prikazan način određivanja potrebne snage i utrošenog rada. Jedan od važnih čimbenika predstavlja i potrošnja energije. Prema tome, bit će prikazana i usporedba potrošnje energija rada koja je potrebna da se ostvari potrebna snaga u jedinici vremena. Istražit će se u radu energija ostvarena strujom, benzin i dizel.

<sup>1</sup> Dipl. ing. stroj., predavač, voditelj Protueksplozijskog odjela Policijske uprave Primorsko-goranske županije, MUP, Ulica žrtava fašizma 3, Rijeka, Hrvatska. E-mail: kruno.kauric@veleri.hr

<sup>2</sup> Mag. ing., stručni suradnik, Veleučilište „Nikola Tesla“ u Gospiću, Bana Ivana Karlovića 16, Gospić, Hrvatska. E-mail: damir.koscic@gmail.com.

<sup>3</sup> Dr. sc., dipl. ing. stroj., predavač, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, Hrvatska. E-mail: mkrsulja@veleri.hr

<sup>4</sup> Datum primitka rada: 15. 1. 2016.; datum prihvaćanja rada: 1. 4. 2016.

## 2. JEDNADŽBE ZA PRORAČUN UČINKA VILIČARA

Pri proračunu učinka viličara koriste se osnove kinematike, statike te općeg strojarstva. Prema tome, u ovome poglavlju dan je prikaz odabranih jednadžbi koje međusobno povezuju problem pretovara viličarom.

Radni - uporabni kapacitet viličara (Miloš, 2011):

$$Q_u = \frac{m}{t_c} Q_u = \frac{m}{t_c} \text{ kg/s;} \quad (1)$$

gdje je  $[t_c] = s$  - vrijeme trajanja jednog transportnog ciklusa;  $[m] = \text{kg}$  - jedinična masa tereta.

Kapacitet rada viličara u određenom vremenskom periodu računa se i prema:

$$Q_{vilj} = \frac{T}{t_c} Q_{vilj} = \frac{T}{t_c} \text{ palette/zadano vrijeme;} \quad (2)$$

gdje je  $[T] = s$  - zadano vrijeme,  $[t_c] = s$  - vrijeme ciklusa viličara.

Utvrđivanje potrebnog broja viličara za unutarnji transport može se utvrditi prema (Priručnik II, 2002):

$$B_v = \frac{t_c \cdot Q_{god}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot d_g \cdot b_s \cdot h_s \cdot Q_v} B_v = \frac{t_c \cdot Q_{god}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot d_g \cdot b_s \cdot h_s \cdot Q_v} \text{ kom/god;} \quad (3)$$

gdje je  $[\eta_1 \eta_2]$  - stupanj tehničke ispravnosti viličara;  $[\eta_2]$  - iskoristivost nosivosti viličara;  $[d_g] = \text{dan/god}$  - broj radnih dana u godini;  $[b_s] = \text{smj/dan}$  broj smjena u radnome danu;  $[h_s] = \text{s/smj}$  - vrijeme trajanja rada u radnoj smjeni;  $[Q_{god}] = N$  - ukupna količina tereta koju treba prenijeti u jednoj godini;  $[Q_v] = N$  - nosivost viličara.

Izračun troška energije pri pogonu s elektromotorom struja izravno iz mreže (Priručnik, 2002):

$$T_e = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot c}{\eta \cdot h_i} T_e = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot c}{\eta \cdot h_i} \text{ HRK;} \quad (4)$$

gdje je  $[P] = W$  - instalirana snaga motora;  $[k]$  - faktor iskoristivosti snage (0,6 - 0,9);  $[t] = h$  - broj radnih sati;  $[c] = \text{HRK/l}$  - cijena struje HRK/kWh;  $[\eta_i]$  = iskoristivost elektromotora (orijentacijski za 1 kWh iznosi 0,75; za 10 kWh iznosi 0,88; za 100 kWh iznosi 0,93);  $[h_i]$  = iskoristivost instalacije.

Ako je zadana potrošena energija, cijena se može računati prema:

$$T'_e = t \cdot c \cdot E T'_e = t \cdot c \cdot E \text{ HRK;} \quad (5)$$

gdje je  $[E] = W$  - potrošena energija.

Izračun troška energije pri pogonu s toplinskom energijom (Priručnik, 2002):

$$T_m = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot b_g \cdot c}{1000 \cdot \rho} T_m = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot b_g \cdot c}{1000 \cdot \rho} \text{HRK}; \quad (6)$$

gdje je  $[P] = \text{W}$  - instalirana snaga motora;  $[k]$  - faktor iskoristivosti snage;  $[t] = \text{h}$  - broj radnih sati;  $[b_g] = \text{g/kWh}$  - potrošnja goriva prema snazi;  $[c] = \text{HRK/l}$  - cijena goriva;  $[\rho] = \text{kg/l}$  - gustoća goriva, ( $\rho_{\text{benzin}} = 0,755 \text{ g/l}$ ;  $\rho_{\text{dizel}} = 0,832 \text{ g/l}$ ).

Efektivna potrošnja goriva prema snazi računa se prema:

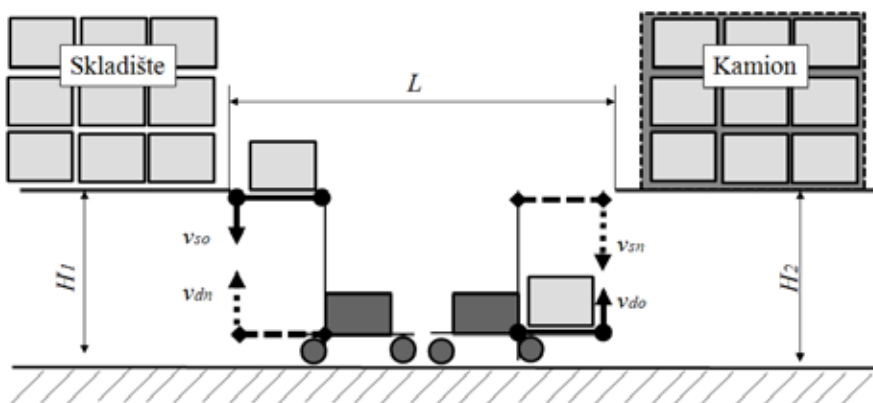
$$b_g = \frac{V \cdot \rho \cdot 1000 \cdot t}{P} b_g = \frac{V \cdot \rho \cdot 1000 \cdot t}{P} \text{g/kWh}.$$

Gdje je  $[V] = \text{l}$  volumen,  $[\rho] = \text{g/l}$  - gustoća;  $[t] = \text{h}$  - vrijeme.

### 3. PRIMJER ODREĐIVANJA KAPACITETA VILIČARA U ODREĐENOM PERIODU

Pri određivanju potrebnog broja viličara koji transportiraju teret na kamion u koji stane 30 paleta zadano je vrijeme stajanja od 0,6 sata. Shema 1 prikazuje pretovara tereta, istovar iz skladišta i utovar na kamion.

Shema 1. Prijenos tereta pomoću viličara



$L$  - Udaljenost između skladišta i kamiona.

$v_{dn}$  - Brzina dizanja neopterećene viljuške.

$v_{so}$  - Brzina spuštanja opterećene viljuške.

$H_1$  - Visina skladišta.

$v_{sn}$  - Brzina spuštanja neopterećene viljuške.

$v_{do}$  - Brzina dizanja opterećene viljuške.

$H_2$  - Visina kamiona.

Izvor: Bognolo, Kršulja (2016)

Za potrebe proračuna uzimaju se prosječne vrijednosti parametara viličara, a odabrana dužina između skladišta i kamiona iznosi 200 m. Odabrana je prosječna visina spuštanja iz skladišta

2 m, a visina dizanja na transporter iznosi 1,5 m. Poznata je brzina spuštanja opterećene vilice 0,2 m/s; brzina spuštanja neopterećene vilice 0,3 m/s; brzina dizanja opterećene vilice; brzina dizanja neopterećene vilice 0,3 m/s; brzina kretanja opterećenog viličara 10 km/h; brzina kretanja neopterećenog viličara 15 km/h.

Zadano:  $T' = 0,6$  sata =  $0,6 \cdot 3600 = 2160$  s;  $v_{so} = 0,2$  m/s;  $v_{sn} = 0,3$  m/s;  $v_{do} = 0,2$  m/s;  $v_{dn} = 0,3$  m/s;  $v_{ko} = 10$  km/h =  $2,77$  m/s;  $v_{kn} = 15$  km/h =  $4,166$  m/s;  $L = 200$  m;  $H_1 = 2$  m;  $H_2 = 1,5$  m.

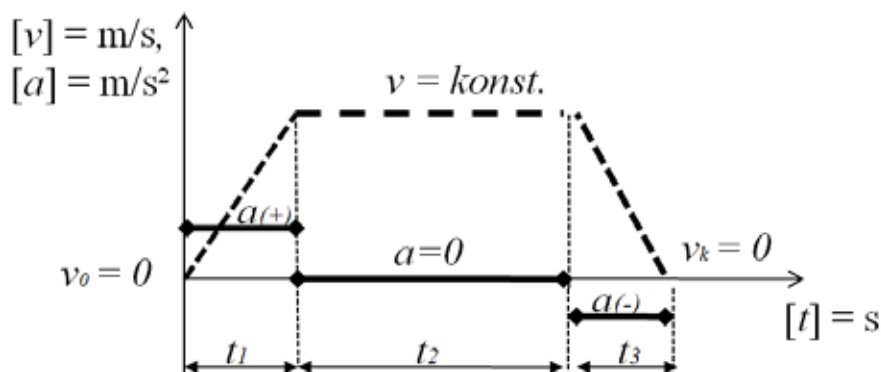
Ukupno vrijeme jednog ciklusa u radu viličara suma je 10 aktivnosti ( $T_c = \sum_{i=1}^{10} t_i$ ): - Vrijeme zahvaćanja viličara; (10 - 15 sekundi) -  $t_1$ .

- Vrijeme spuštanja opterećenih vilica -  $t_2$ .
- Vrijeme okretanja za 180°; (10 - 15 sekundi) -  $t_3$ .
- Vrijeme kretanja opterećenog vilica -  $t_4$ .
- Vrijeme podizanja opterećenih vilica -  $t_5$ .
- Vrijeme odlaganja palete na vozilo -  $t_6$ .
- Vrijeme spuštanja neopterećenih vilica -  $t_7$ .
- Vrijeme okretanja za 90°; (6 - 8 sekundi) -  $t_8$ .
- Vrijeme kretanja neopterećenog vilica -  $t_9$ .
- Vrijeme podizanja neopterećenih vilica -  $t_{10}$ .

Vrijeme zahvaćanja vilica; (10 - 15 sekundi) -  $t_1$ , prema iskustvu usvajamo 15 sekundi.

Vrijeme spuštanja opterećenih vilica -  $t_2$  (kinematika spuštanja prema shema 2):

Shema 2. Kinematika spuštanja opterećenih vilica



Izvor: Bognolo, Kršulja (2016)

Ako se uzme da je ubrzanje podizanja opterećenih vilica  $a_{(+)} = 0,25 \text{ m/s}^2$ ; usporenje  $a_{(-)} = 0,20 \text{ m/s}^2$ , visina spuštanja iz skladišta iznosi 2 m.

Za prvi period slijedi:

$$2a \cdot (s - s_0) = v^2 - v_0^2 \quad 2a \cdot (s - s_0) = v^2 - v_0^2; \text{ gdje je put } s_0 = 0 \text{ i početna brzina } v_0 = 0;$$

$$\text{Prijeđeni put za prvi period: } s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{0,2^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 0,25 \text{ m/s}^2} = s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{0,2^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 0,25 \text{ m/s}^2} = 0,08 \text{ m.}$$

$$a \cdot t = v - v_0 \quad a \cdot t = v - v_0; \text{ gdje je } v_0 = 0;$$

$$\text{Vrijeme u prvom periodu: } t_1 = \frac{v}{a} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{0,25 \text{ m/s}^2} = t_1 = \frac{v}{a} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{0,25 \text{ m/s}^2} = 0,8 \text{ s.}$$

Za treći period slijedi:

$$s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \quad s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}; \text{ gdje je put } s_0 = 0;$$

$$\text{Put u trećem periodu: } s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} = 0,2 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} + \frac{-0,2 \text{ m/s}^2 \cdot 1^2 \text{ s}^2}{2} = 0,2 \text{ m} - 0,1 \text{ m} =$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} = 0,2 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} + \frac{-0,2 \text{ m/s}^2 \cdot 1^2 \text{ s}^2}{2} = 0,2 \text{ m} - 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ m.}$$

$$a \cdot t = v - v_0 \quad a \cdot t = v - v_0; \text{ gdje je } v = 0;$$

$$\text{Vrijeme u trećem periodu: } t_{III} = \frac{-v_0}{a} = \frac{-0,2 \text{ m/s}}{-0,2 \text{ m/s}^2} = t_{III} = \frac{-v_0}{a} = \frac{-0,2 \text{ m/s}}{-0,2 \text{ m/s}^2} = 1 \text{ s.}$$

Za drugi period put se računa prema:  $s_{uk} = s_1 + s_2 + s_3$   $s_{uk} = s_1 + s_2 + s_3$ ;

$$2 \text{ m} = 0,08 \text{ m} + s_2 + 0,1 \text{ m} \quad 2 \text{ m} = 0,08 \text{ m} + s_2 + 0,1 \text{ m}; \rightarrow s_2 = 1,2 \text{ m}; s_2 = 1,2 \text{ m.}$$

$$\text{Brzina: } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}; \text{ vrijeme u drugom periodu: } t_{II} = \frac{s}{v} = \frac{1,2 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = 6 \text{ s} \quad t_{II} = \frac{s}{v} = \frac{1,2 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = 6 \text{ s.}$$

Ukupno vrijeme spuštanja opterećenih vilica:

$$t_2 = t_I + t_{II} + t_{III} = 0,8 \text{ s} + 6 \text{ s} + 1,6 \text{ s} = \underline{8,4 \text{ s.}}$$

Vrijeme okretanja za 180°; (10 - 15 sekundi) -  $t_3$ , odabrano  $t_3 = 10$  sekundi.

Vrijeme kretanja opterećenog vilica -  $t_4$ .

Radi lakšeg proračuna zanemareno je ubrzanje i usporenje, pa slijedi:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}; \rightarrow t_4 = \frac{s}{v} = \frac{L}{v} = \frac{200 \text{ m}}{2,77 \text{ m/s}} \quad t_4 = \frac{s}{v} = \frac{L}{v} = \frac{200 \text{ m}}{2,77 \text{ m/s}} = \underline{72,2 \text{ s.}}$$

Vrijeme podizanja opterećenih vilica -  $t_5$ .

Ako uzmemo da je ubrzanje podizanja opterećenih vilica  $a_{(+)} = 0,25 \text{ m/s}^2$ ; usporenje  $a_{(-)} = 0,20 \text{ m/s}^2$ , a visina dizanja na transporter iznosi 1,5 m.

Za prvi period slijedi:

$$2a \cdot (s - s_0) = v^2 - v_0^2 \quad 2a \cdot (s - s_0) = v^2 - v_0^2; \text{ gdje je put } s_0 = 0 \text{ i početna brzina } v_0 = 0;$$

$$\text{Prijedeni put u prvom periodu: } s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{0,2^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 0,25 \text{ m/s}^2} = s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{0,2^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 0,25 \text{ m/s}^2} = 0,08 \text{ m.}$$

$$a \cdot t = v - v_0 \quad a \cdot t = v - v_0; \text{ gdje je } v_0 = 0;$$

$$\text{Vrijeme u prvom periodu: } t_I = \frac{v}{a} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{0,25 \text{ m/s}^2} = t_I = \frac{v}{a} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{0,25 \text{ m/s}^2} = 0,8 \text{ s.}$$

Za treći period slijedi:  $s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$   $s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$ ; gdje je put  $s_0 = 0$ ;

Prijedeni put u trećem periodu:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} = 0,2 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} + \frac{-0,2 \text{ m/s}^2 \cdot 1^2 \text{ s}^2}{2} = 0,2 \text{ m} - 0,1 \text{ m} =$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} = 0,2 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} + \frac{-0,2 \text{ m/s}^2 \cdot 1^2 \text{ s}^2}{2} = 0,2 \text{ m} - 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ m.}$$

$$a \cdot t = v - v_0 \quad a \cdot t = v - v_0; \text{ gdje je } v = 0;$$

$$\text{Vrijeme u trećem periodu: } t_{III} = \frac{-v_0}{a} = \frac{-0,2 \text{ m/s}}{-0,2 \text{ m/s}^2} = t_{III} = \frac{-v_0}{a} = \frac{-0,2 \text{ m/s}}{-0,2 \text{ m/s}^2} = 1 \text{ s.}$$

Put za drugi period slijedi prema:  $s_{II} = s_1 + s_2 + s_3$   $s_{II} = s_1 + s_2 + s_3$ ;

$$1,5 \text{ m} = 0,08 \text{ m} + s_2 + 0,1 \text{ m} \quad 1,5 \text{ m} = 0,08 \text{ m} + s_2 + 0,1 \text{ m}; \rightarrow s_2 = 1,32 \text{ m.}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow t_{II} = \frac{s}{v} = \frac{1,32 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = t_{II} = \frac{s}{v} = \frac{1,32 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = 6,6 \text{ s.}$$

Ukupno vrijeme podizanja opterećenih vilica  $t_5$ :

$$t_2 = t_I + t_{II} + t_{III} = 0,8 \text{ s} + 1 \text{ s} + 6,6 \text{ s} = 8,4 \text{ s.}$$

Vrijeme odlaganja palete na vozilo (5 - 8 s) -  $t_6$ ; odabrano  $t_6 = 6 \text{ s}$ .

Vrijeme spuštanja neopterećenih vilica -  $t_7$ .

Pretpostavka :  $t_7 = t_5 = 8,4 \text{ s}$ .

Vrijeme okretanja za 90°; (6 - 8 sekundi) -  $t_8$ ; odabran  $t_8 = 6 \text{ s}$ .

Vrijeme kretanja neopterećenog viličara -  $t_9$ .

Radi lakšeg proračuna zanemareno je ubrzanje i usporenje, pa slijedi:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad t_4 = \frac{s}{v} = \frac{L}{v} = \frac{200 \text{ m}}{4,166 \text{ m/s}} = t_4 = \frac{s}{v} = \frac{L}{v} = \frac{200 \text{ m}}{4,166 \text{ m/s}} = 48 \text{ s.}$$

Vrijeme podizanja neopterećenih vilica -  $t_{10}$ .

Pretpostavka:  $t_{10} = t_2 = 8,4 \text{ s}$ .

U tablici 1 dan je prikaz izračunatog vremena za pojedine operacije.

Tablica 1. Vremena trajanja operacija rada viličara

Vrijeme	Sekunde	Aktivnost
$t_1$	15	Vrijeme zahvaćanja viličara; (10 - 15 s)
$t_2$	8,4	Vrijeme spuštanja opterećenih vilica
$t_3$	10	Vrijeme okretanja za 180°; (10 - 15 s)
$t_4$	72,2	Vrijeme kretanja opterećenog viličara
$t_5$	8,4	Vrijeme podizanja opterećenih vilica
$t_6$	6	Vrijeme odlaganja palete na vozilo (5 - 8 s)
$t_7$	8,4	Vrijeme spuštanja neopterećenih vilica
$t_8$	6	Vrijeme okretanja za 90°; (6 - 8 s)
$t_9$	24	Vrijeme kretanja neopterećenog viličara
$t_{10}$	8,4	Vrijeme podizanja neopterećenih vilica
$T_c$	166,8	Ukupno vrijeme trajanja pretovara jednog ciklusa

Ukupno vrijeme rada viličara u jednom ciklusu:

$$t_c = t_1 + t_2 + \dots + t_{10} \quad t_c = t_1 + t_2 + \dots + t_{10} = 166,8 \text{ s} = 2,78 \text{ minuta.}$$

Kapacitet rada viličara u određenom vremenskom periodu:

$$Q_{vilj} = \frac{T_r}{t_c} = \frac{2160 \text{ s}}{166,8 \text{ s}} = Q_{vilj} = \frac{T_r}{t_c} = \frac{2160 \text{ s}}{166,8 \text{ s}} = 12,9 \sim 13 \text{ prijenosa paleta u 0,6 h.}$$

Potreban broj viličara  $N$  slijedi prema:

$$N = \frac{Q_{potr}}{Q_{vilj}} = \frac{30 \text{ paketa}}{13} = N = \frac{Q_{potr}}{Q_{vilj}} = \frac{30 \text{ paketa}}{13} = 2,3 \text{ viličara} \sim \text{odabrano 3 viličara.}$$

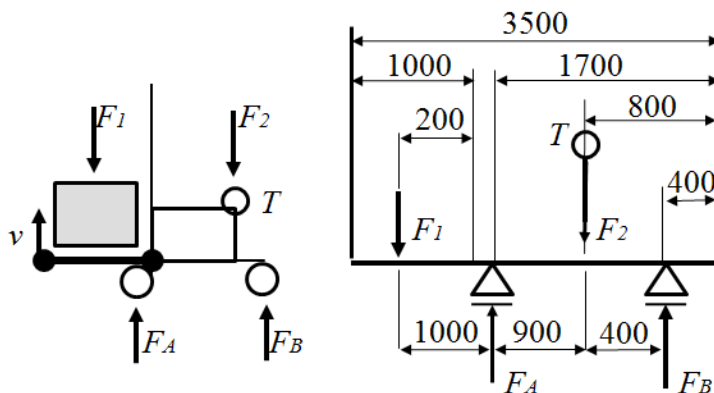
$$\text{Iskoristivost viličara: } \eta = \frac{Q_{potr}}{N \cdot Q_{vilj}} = \frac{30}{3 \cdot 13} = 0,769 \quad \eta = \frac{Q_{potr}}{N \cdot Q_{vilj}} = \frac{30}{3 \cdot 13} = 0,769 = 77 \%$$

#### 4. ODREĐIVANJE POTREBNE SNAGE ZA DIZANJE TERETA VILIČARA

Snaga predstavlja ostvareni rad u jedinici vremena te se kod pogonskog motora označava u kilovatima. Ako prosječan viličar ima 28 kW snage, postavlja se pitanje kako se troši snaga na dizanje tereta i ima li viličar potrebnu snagu. Svakako se aktivnost podizanja tereta nastavlja na prethodno poglavlje, gdje je teret potrebno podignuti na kamion na visinu 1,5 m, ako se u primjeru transportira teret dimenzija 1,2 m x 0,8 m x 1,04 m složen na paleti (shema 3), a gustoća tereta je 700 kg/m<sup>3</sup>. Također, ako se pretpostavi da je prosječna brzina dizanja 0,35 m/s, gubitak na mehaničkim elementima koeficijent od  $\eta_m = 0,85$ , a gubitak zbog hidrostatskog prijenosa  $\eta_h = 0,7$ , može se pristupiti izračunu vremena potrebne snage dizanja tereta.

Može se reći da je zadano:  $V = a \times b \times h = 1,2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 1,04 \text{ m} = 1 \text{ m}^3$ ;  $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ ;  $h = 1,5 \text{ m}$   $v_{sr} = 0,35 \text{ m/s}$ ;  $\eta_h = 0,7$ ;  $\eta_m = 0,85$ .

Shema 3. Kinematika opterećenog viličara



Izvor: modificirano prema Beljo Lučić (2015)

Snaga označava izvršeni rad u jedinici vremena, a rad ovisi o pomaku sile, tako da se može računati

$$\text{sljedeće: } P = \frac{F \cdot d}{t} = F \cdot v \quad P = \frac{F \cdot d}{t} = F \cdot v.$$

Sila težine tereta:  $F_1 = V \cdot \rho \cdot g = 1 \text{ m}^3 \cdot 700 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 6867 \text{ N} = 6,86 \text{ kN}$ .

Ukupna masa tereta:  $m = 6867 \text{ N} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 700 \text{ kg}$ .

Prema tome slijedi da je teoretska snaga potrebna za dizanje tereta:

$$P_0 = \frac{F \cdot d}{t} = F \cdot v = 6,867 \text{ kN} \cdot 0,35 \text{ m/s}^2 = 2,4 \text{ kW}.$$

Izvršeni rad pri dizanju tereta:  $W = F \cdot h = 6,867 \text{ kN} \cdot 1,5 \text{ m} = 10,3 \text{ kJ}$ .



Ako se uzme u obzir gubitak na mehaničkim elementima koeficijent od  $\eta_m = 0,85$ , a zbog hidrostatskog prijenosa  $\eta_h = 0,7$ , slijedi da je potrebna snaga elektromotora:

$$P_{stv} = \frac{P_0}{\eta_m \cdot \eta_h} = \frac{2,40 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,7} = 4,03 P_{stv} = \frac{P_0}{\eta_m \cdot \eta_h} = \frac{2,40 \text{ kW}}{0,85 \cdot 0,7} = 4,03 \text{ kW}.$$

## 5. PRIMJER IZRAČUNA I USPOREDBE PRORAČUNA POTROŠNJE STRUJE I GORIVA VILIČARA

Problem izračunavanja potrošnje energenata ovisi o snazi motornog pogona; u primjeru se koristi viličar snage od 28 kW pri punom opterećenju. Pri računu troškova pogona elektromotorom može se koristiti izraz:

$$T_g = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot c}{\eta \cdot h_i} T_g = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot c}{\eta \cdot h_i}, \text{ prema Priručniku II (2002).}$$

Za praktični primjer može se pretpostaviti da viličar čija je snaga elektromotora 28 kWh radi 1 sat, te da iskoristivost njegove snage iznosi 0,6; iskoristivost samog elektromotora iznosi 0,88; a iskoristivost instalacije iznosi 0,9. Također, ako se pretpostavi da je tarifa niske struje 0,41 HRK/kWh (visoke 0,88 HRK/kWh), može se pristupiti izračunu troškova.

$$T_g = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot c}{\eta \cdot h_i} = \frac{28 \text{ kW} \cdot 0,6 \cdot 1 \text{ h} \cdot 0,41 \text{ HRK/kWh}}{0,88 \cdot 0,9} = 8,696 \text{ HRK}; \text{ (visoka tarifa} = 8,696 \text{ HRK).}$$

Cijena potrošnje energije elektromotorom:

Niska tarifa:

$$T_g' = t \cdot c \cdot E = 0,6 \text{ h} \cdot 0,41 \frac{\text{HRK}}{\text{kWh}} \cdot 28 \text{ kW} = 11,48 \text{ HRK}.$$

Visoka tarifa:

$$T_g' = t \cdot c \cdot E = 0,6 \text{ h} \cdot 0,88 \frac{\text{HRK}}{\text{kWh}} \cdot 28 \text{ kW} = 24,64 \text{ HRK}.$$

Kolika je potrošnja energije toplinskim motorom viličara koji radi 1 sat, ako mu je snaga 28 kW. Za potrebe primjera je uzeto: cijena dizela  $c = 9,28 \text{ HRK/l}$ ; snaga motora viličara 28 kW; broj radnih sati = 1 sat; potrošnja goriva 2,5 l/h; gustoća dizela  $\rho = 0,832 \text{ g/l}$ , faktor iskoristivosti snage je 50 % za dizelske motore. Slijedi efektivna potrošnja goriva prema snazi :

$$b_g = \frac{2,5 \text{ l} \cdot 0,832 \text{ g/l} \cdot 1000}{28 \text{ kW/h}} = 74,28 b_g = \frac{2,5 \text{ l} \cdot 0,832 \text{ g/l} \cdot 1000}{28 \text{ kW/h}} = 74,28 \text{ g/kWh}.$$

Troškovi pogona:

$$T_m = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot b_g \cdot c}{1000 \cdot \rho} = \frac{28 \text{ kW} \cdot 0,6 \cdot 1 \text{ h} \cdot 74,28 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 9,82 \text{ HRK/l}}{1000 \cdot 0,832 \text{ g/l}} = 14,72 \text{ HRK}.$$

Ako se u dizel zamijeni benzinom ( $\rho = 0,755 \text{ g/l}$ ) čija je cijena 10,32 HRK/l slijedi efektivna potrošnja goriva prema snazi:

$$b_g = \frac{2,5 \cdot 0,755 \text{ g/l} \cdot 1000}{28 \text{ kW/h}} = 67,41 \text{ g/kWh.}$$

Troškovi pogona:

$$T_m = \frac{P \cdot k \cdot t \cdot b_g \cdot c}{1000 \cdot \rho} = \frac{28 \text{ kW} \cdot 0,6 \cdot 1 \text{ h} \cdot 67,41 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 10,32 \text{ HRK/l}}{1000 \cdot 0,755 \frac{\text{g}}{\text{l}}} = 15,48 \text{ HRK.}$$

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan proračun teoretskog vremena trajanja pojedinih aktivnosti viličara tijekom pretovara i odabir potrebnog broja viličara. Za zadani primjer pretovara tereta iz skladišta u kamion zadano je vrijeme od 0,6 sata, broj paleta od 30 komada. Izraz za proračun potrebnog broja viličara dao je rezultat od 3 potrebna viličara, s 13 ciklusa prijenosa za svaki u trajanju od 2,78 minuta. Osim toga, izračunata je i snaga potrebna za podizanje tereta koja za teret težine od 700 kg iznosi 4 kW.

Za proračun troškova energije prikazana je potrošnja za viličar snage 28 kW i maksimalne brzine kretanja od 18 km/h. Za vrijeme rada od 1 sat rezultirajući troškovi pogona iznose 11,48 HRK za struju, 14,72 HRK za dizel te 15,48 HRK za benzin. Potrošnja goriva za toplinski pogon odabrana je prema iskustvu autora od 2,5 l/h te će se u budućem istraživanju eksperimentalno utvrditi.

## LITERATURA

- Beljo Lučić R., Čavlović, A. (2015) Zbirka zadataka iz predmeta Transport u DI; skripta. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Bognolo, D., Kršulja, M. (2016) Prekrcajna sredstva, zbirka riješenih zadataka; skripta. Rijeka: Veleučilište u Rijeci
- Proizvodno strojarstvo - Priručnik II. (2002), Organizacija proizvodnje - Priručnik IP4 - Zagreb, Školska knjiga
- <http://www.directindustry.com> (2016) <http://pdf.directindustry.com/pdf/komatsu-forklift-9225.html>

Kruno Kaurić<sup>1</sup>  
Damir Koščić<sup>2</sup>  
Marko Kršulja<sup>3</sup>

Preliminary communication  
UDC 622.619

## CALCULATION OF LOADING PARAMETERS IN FUNCTION OF REQUIRED FORKLIFT SELECTION<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Forklifts are vehicles with forks which allow manipulation of cargo, its transportation, loading and unloading. We find them in transport hubs such as ports, warehouses, etc. where they are used for cargo handling and storage. It is very important in transport technology to know transshipment time in order to determine the output that serves in the evaluation of economic viability of a product or service. Therefore, in this paper the calculation of theoretical duration of transshipment using forklifts is discussed. In addition, the calculation of the number of forklifts used in transshipment activities is given in order to reduce transshipment time. The calculation of engine power needed to transfer cargo is also given as well as the calculation of the consumption of energy required. The latter has been provided through a comparison between the consumption of electric, diesel and petrol fuels. The use of calculations presented in this paper can help improve transshipment technology and the selection of forklifts.

**Key words:** forklift, output, transshipment, engine power

<sup>1</sup> Mag. ing. Lecturer, Head of Anti-explosive Department, Promorsko-goranska County Police Administration, Ulica žrtava fašizma 3, Rijeka

<sup>2</sup> Mag. ing., Expert Associate, Polytechnic „Nikola Tesla“ in Gospić, Gospić, Bana Ivana Karlovića 16; E-mail: damir.koscic@gmail.com

<sup>3</sup> PhD, Lecturer, Polytechnic of Rijeka, Vukovarska 58, Rijeka, Croatia. E-mail: mkrsulja@veleri.hr.

<sup>4</sup> Received: 15. 1. 2016.; Accepted: 1. 4. 2016.

