

ANNEX 3 – RADNI CUKLUSI SKLADIŠNIH UREĐAJA

Uređaji koji se koriste za izvođenje skladišnih operacija (viljuškar, visoko regalna dizalica za skladištenje i/ili komisioniranje, paletna kolica, komisioni viljuškar itd.) spadaju u kategoriju tzv. jednopozicionih mašina tj. uređaja. Jednopozicione mašine su takve mašine kod kojih se jednovremeno obrađuje samo jedan deo - proizvod i on je sve vreme na mašini. [2]

Vreme trajanja radnog ciklusa, predstavlja jedan od glavnih parametara performansi (tehnološke funkcije) klase radnih mašina, označenih kao jednopozicione mašine, sa prekidnim načinom rada.

Pri projektovanju skladišnih transportnih sistema, mogu se dogoditi dva karakteristična slučaja uzimajući u obzir vreme trajanja radnog ciklusa uređaja:

1. Ulaz u izbor i dimenzionisanje (faze planiranja i preliminarnog projektovanja sistema), sa komotnim - većim računskim vremenom radnog ciklusa, ima za posledice:
 - veće investicije u opremu (transportne uređaje); dobija se veći broj uređaja ili uređaj većeg kapaciteta (teži, snažniji uređaj, itd.),
 - povećan broj rukovalaca i radnika na transportu,
 - manji stepen iskorišćenja uređaja i rada.
2. Ulaz u izbor i dimenzionisanje sistema sa tesnim - manjim računskim vremenom radnog ciklusa (od onog koji se može pojaviti u konkretnom slučaju realizacije procesa), za posledicu može imati:
 - podcenjeno potrebno ulaganje u potrebnu opremu (transportne uređaje),
 - formiranje uskih grla,
 - teškoće u planiranju korišćenja sistema,
 - potreba za naknadnim (do)investiranjem,
 - produžavanje ukupnog vremena proizvodnog ciklusa, zbog zastoja u procesu, gubitaka vremena zbog čekanja na pojedine operacije itd.

Performanse uređaja - radni kapacitet, radna sposobnost sistema - transportnog uređaja, u (za)datom vremenu i uslovima rada zavise od veličine transportne jedinice i vremena trajanja radnog ciklusa. Prema izabranoj transportnoj jedinici određuje se nosivost uređaja (mašine), dok se prema

položajima tačaka uzimanja materijala (pojedinih transportnih jedinica) i mestima odlaganja tog materijala, definišu operacije radnih ciklusa.

Kod uređaja koji se koriste u skladišnim sistemima, za različite tačke odlaganja materijala u odnosu na jednu tačku (ili više različitih tačaka) uzimanja materijala, putanje premeštanja materijala su različite dužine, a i različitog su oblika. Ovde se radi, znači o skupu radnih ciklusa različitog trajanja, koji se u određenom periodu rada - času, smeni, mesecu itd., ređaju po nekom slučajnom zakonu promene. Po ovome rad mašine je stohastičke prirode. U zavisnosti od ukupnog transportnog zadatka za određeni period vremena, ukupna količina materijala koju treba premestiti sa polaznih tačaka na zadata mesta odlaganja (dotura) i kapacitet (radna moć) jedne mašine određuju broj potrebnih mašina.

A3.1. DEFINICIJA RADNOG CIKLUSA

U narednom tekstu biće definisan radni ciklus za tzv. jednopozicione mašine tj. uređaje sa prekidnim načinom rada.

U radu svake mašine (uređaja) pojavljuju se međusobno povezane operacije različitog karaktera:

- operacije postavljanja materijala (predmeta rada, proizvoda, dela) na mašinu,
- operacije obrade (osnovne tehnološke),
- transportne operacije (premeštanja materijala i ljudi, definisanje putanja i brzina premeštanja),
- skidanje materijala sa mašine,
- kontrole,
- zamene alata,
- zahtevi i ograničenja za moguća preklapanja kretanja,
- spoljašnji i unutrašnji gubitci vremena,
- regulacije, itd.

Zbirno trajanje svih operacija tehnološkog procesa¹ - kako osnovnih, tako i pomoćnih, koje nisu međusobno preklapljenje po vremenu izvršavanja,

¹ Tehnološki proces - skup (svih) osnovnih/tehnoloških operacije koje je potrebno izvršiti u obradi polaznog materijala da bi se dobio završni proizvod.

Proizvodni proces - skup (svih) osnovnih/tehnoloških i pomoćnih (transport, kontrola i dr.) operacija koje treba izvršiti da bi materijal prošao kroz ceo proces transformacije od polazne sirovine do završenog proizvoda (koji izlazi iz datog pogona, radionice, fabrike).

Proizvodni ciklus - termin obično označava ceo ciklus, odnosno obuhvata vreme od ulaska sirovine do izlaska gotovog proizvoda. Određuje koeficijent obrta kapitala, rokove isporuka i dr.

karakteriše neophodno vreme za izvršenje tehnološkog procesa i zove se **Tehnološki ciklus mašine** – T_t . Nezavisno od toga, u nizu slučajeva, moguće je utvrditi drugi važan interval vremena T_r , taj interval deli momente izlaska sa mašine dva uzastopno obrađena dela (proizvoda) i naziva se **Radni ciklus mašine**. On predstavlja interval vremena, neophodan za izlazak sa mašine jednog dela - jednog proizvoda.

Ako se na mašini jednovremeno obrađuje samo jedan deo - proizvod, onda je vreme tehnološkog ciklusa jednako vremenu radnog ciklusa: $T_t = T_r$.

Radi kompletiranja definicija ove vrste, navodi se još jedan važan interval vremena u radu svake mašine, a to predstavlja vreme potrebno za ponavljanje položaja svih članova radnog mehanizma mašine. Taj interval se naziva **Kinematski ciklus**.

Operacije tehnološkog ciklusa mogu se obavljati: postupno (jedna za drugom); paralelno (sve operacije u isto vreme) i paralelno-postupno (određeni broj operacija se obavlja postupno, a određeni paralelno.)

U zavisnosti od gore iznetog, vreme tehnološkog, odnosno radnog ciklusa, prikazano na primeru transportnih mašina (uređaja), je:

- za mašine (uređaje) kod kojih se predmet rada sve vreme obrade nalazi u jednom položaju-poziciji i dok se obrada jednog dela ne završi nije moguće na mašinu postaviti drugi deo:

$$T_t = T_r = t_{ps} + \Sigma t_r - \Sigma t_{pr} + \Sigma t_g,$$

gde je:

t_{ps} – vreme postavljanja i skidanja dela,

Σt_r – trajanje pomeranja radnog mehanizma (vreme izvršenja pojedinih radnih operacija),

Σt_{pr} – vremena preklapanja izvođenja pojedinih operacija,

Σt_g – vremena unutrašnjih i spoljašnjih gubitaka.²

- za mašine (uređaje) kod kojih se sve operacije izvršavaju paralelno, tada je vreme tehnološkog, odnosno radnog ciklusa jedanko:

$$T_t = T_r = t_{ps} + t_{rmax} + \Sigma t_g.$$

² Vanciklusni ili međuciklusni gubici utiču na stepen iskorišćenja mašine; npr. kad je vreme pripreme sledeće transportne jedinice duže od trajanja konkretnog tekućeg radnog ciklusa, ili iz drugih razloga koji prouzrokuju čekanje na sledeći posao.

Unutarciklusni gubici proizilaze iz procedura uključivanja pojedinih uzastopnih operacija i zavise od obučenosti rukovaoca, a mogu se smanjiti (ili čak izbeći) automatizacijom upravljanja radom mašine.

- za mašine (uređaje) kod kojih se operacije izvršavaju paralelno-postupno, vremena tehnološkog, odnosno radnog ciklusa se određuju kao zbir dva vremena - za postupno izvršene operacije i za paralelno izvršene operacije.

U slučajevima rada mašina kada se stalno ponavljaju isti tehnološki, odnosno radni procesi, analiza i optimizacija vremena radnog ciklusa koji opredeljuje ukupni kapacitet - radnu moć mašine tj. uređaja (funkcionalne performanse), nije veliki problem.

Problem nastaje kada su pojedini radni ciklusi različiti i ređaju se po nekom slučajnom zakonu, kako po predmetu rada (obrade, transporta i dr.), tako i po vremenu tehnološkog, odnosno radnog ciklusa za transportne operacije - po mestima uzimanja i po mestima odlaganja materijala. Drugim rešima, ovde se nailazi na problem određivanja **srednjeg vremena trajanja** radnog ciklusa.

Radni ciklus tzv. jednopozicionih mašina uopšte, ima specifične karakteristike koje su naročito izražene kod transportnih mašina (uređaja) koji pripadaju ovoj klasi. Specifičnost se ogleda u tome što uvek postoji tačno određen minimalni (maksimalni) radni ciklus u zavisnosti od vremena trajanja (primeri najkraćih radnih ciklusa: lift, ulazni ciklus - jedan putnik ide na prvi sprat; visoko regalna dizalica, jednostruki ciklus - paleta se izuzima sa paletnog mesta najbližeg mestu ulaza/izlaza paleta iz regala). Ovo se može objasniti činjenicom da se radni ciklus jednopozicionih transportnih mašina sastoji iz niza operacija koje se moraju izvršiti pri svakom radnom ciklusu bez obzira na pomeranje samog transportnog uređaja.

A3.2. RADNI CIKLUS VILJUŠKARA

Radni ciklus viljuškara na unošenju/iznošenju paleta u/iz skladišta sastoji se iz sledećih aktivnosti: [43]

- vreme pozicioniranja viljuškara na mesto za zahvatanje palete t_1 ,
- vreme podizanja viljušaka do palete t_2 ,
- vreme zahvatanja palete (iz regala, kamiona itd.) t_3 ,
- vreme spuštanja palete u transportni položaj t_4 ,
- vreme okretanja viljuškara za 90° (180°) t_5 ,
- vreme transporta do mesta odlaganja palete t_6 ,
- vreme pozicioniranja viljuškara na mesto za odlaganje palete t_7 ,
- vreme podizanja palete do mesta za odlaganje t_8 ,
- vreme odlaganja palete (u regal, kamion itd.) t_9 ,

- vreme spuštanja viljuškara u transportni položaj t_{10} ,
- vreme okretanja viljuškara za 90° (180°) t_{11} ,
- vreme povratka viljuškara do mesta za zahvatanje palete t_{12} .

Srednje vreme trajanja radnog ciklusa viljuškara se sastoji iz zbira vremena trajanja karakterističnih aktivnosti:

$$T_c = \sum_{i=1}^{12} t_i$$

gde se karakteristična vremena određuju na sledeći način:

- vreme pozicioniranja viljuškara na mesto za zahvatanje palete t_1 ,

$$t_1 = 5 \text{ s},$$

- vreme podizanja viljuškara do palete t_2 ,

$$t_2 = \frac{H_1}{V_{d1}} + t_{gd}, \text{ s}$$

gde je:

H_1 – srednja visina dizanja pri zahvatanju palete, m ,

V_{d1} – brzina podizanja viljuškara bez tereta, m/s ($V_{d1} = 0,42 \text{ m/s}$),

t_{gd} – gubitak vremena pri podizanju, s ($t_{gd} = 3 \text{ s}$),

- vreme zahvatanja palete (iz regala, kamiona itd.) t_3 ,

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

- vreme spuštanja palete u transportni položaj t_4 ,

$$t_4 = \frac{H_1}{V_{s1}} + t_{gd}, \text{ s}$$

gde je:

H_1 – srednja visina spuštanja pri zahvatanju palete, m ,

V_{s1} – brzina spuštanja palete, m/s ($V_{s1} = 0,26 \text{ m/s}$),

t_{gd} – gubitak vremena pri spuštanju, s ($t_{gd} = 3 \text{ s}$),

- vreme okretanja viljuškara za 90° (180°) t_5 ,

$$t_5 = 5 \div 8 \text{ s},$$

- vreme transporta do mesta odlaganja palete t_6 ,

$$t_6 = \frac{L}{V_{kl}} + t_{gk}, s$$

gde je:

L – srednja dužina transportnog puta, m ,

V_{kl} – brzina kretanja viljuškara sa teretom, m/s ($V_{kl} = 2,5 m/s$),

t_{gk} – gubitak vremena pri polasku i zaustavljanju viljuškara, s ($t_{gk} = 5 s$),

– vreme pozicioniranja viljuškara na mesto za odlaganje palete t_7 ,

$$t_7 = 5 s,$$

– vreme podizanja palete do mesta za odlaganje t_8 ,

$$t_8 = \frac{H_2}{V_{d2}} + t_{gd}, s$$

gde je:

H_2 – srednja visina dizanja pri odlaganju palete, m ,

V_{d2} – brzina podizanja palete, m/s ($V_{d2} = 0,26 m/s$),

t_{gd} – gubitak vremena pri podizanju, s ($t_{gd} = 3 s$),

– vreme odlaganja palete (u regal, kamion itd.) t_9 ,

$$t_9 = 5 s,$$

– vreme spuštanja viljuškara u transportni položaj t_{10} ,

$$t_{10} = \frac{H_2}{V_{s2}} + t_{gd}, s$$

gde je:

H_2 – srednja visina spuštanja pri odlaganju palete, m ,

V_{s2} – brzina spuštanja viljuškara bez tereta, m/s ($V_{s2} = 0,42 m/s$),

t_{gd} – gubitak vremena pri spuštanju, s ($t_{gd} = 3 s$),

– vreme okretanja viljuškara za 90° (180°) t_{11} ,

$$t_{11} = 5 \div 8 s,$$

– vreme povratka viljuškara do mesta za zahvatanje paleta t_{12} ,

$$t_{12} = \frac{L}{V_{k2}} + t_{gk}, s$$

gde je:

L – srednja dužina transportnog puta, m ,

V_{k2} – brzina kretanja viljuškara bez tereta, m/s ($V_{k2} = 3,3 m/s$),

t_{gk} – gubitak vremena pri polasku i zaustavljanju viljuškara, s ($t_{gk} = 5 s$).

Zadatak A3.1

Odrediti vreme trajanja radnog ciklusa viljuškara na iznošenju paleta iz skladišta i utovaru paleta u kamion ako je: srednja visina dizanja/spuštanja pri zahvatanju palete iz regala $H_1 = 5 m$, srednja visina dizanja/spuštanja pri odlaganju palete na kamion $H_2 = 1,5 m$ i srednja dužina transportnog puta $L = 40 m$. Podatke koji nisu dati usvojiti.

Rešenje:

Srednje vreme trajanja radnog ciklusa viljuškara određuje se kao zbir vremena trajanja pojedinih operacija viljuškara, tj:

$$T_c = \sum_{i=1}^{12} t_i.$$

Vrednosti vremena trajanja pojedinih operacija viljuškara su:

$$t_1 = 5 s,$$

$$t_2 = \frac{H_1}{V_{d1}} + t_g = \frac{5}{0,42} + 3 = 14,9 s,$$

$$t_3 = 5 s,$$

$$t_4 = \frac{H_1}{V_{s1}} + t_{gd} = \frac{5}{0,26} + 3 = 22,2 s,$$

$$t_5 = 6 s,$$

$$t_6 = \frac{L}{V_{k1}} + t_{gk} = \frac{40}{2,5} + 5 = 21 s,$$

$$t_7 = 5 s,$$

$$t_8 = \frac{H_2}{V_{d2}} + t_{gd} = \frac{1,5}{0,26} + 3 = 13,77 s,$$

$$t_9 = 5 \text{ s},$$

$$t_{10} = \frac{H_2}{V_{s2}} + t_{gd} = \frac{1,5}{0,42} + 3 = 6,57 \text{ s},$$

$$t_{11} = 6 \text{ s},$$

$$t_{12} = \frac{L}{V_{k2}} + t_{gk} = \frac{40}{3,3} + 5 = 17,12 \text{ s},$$

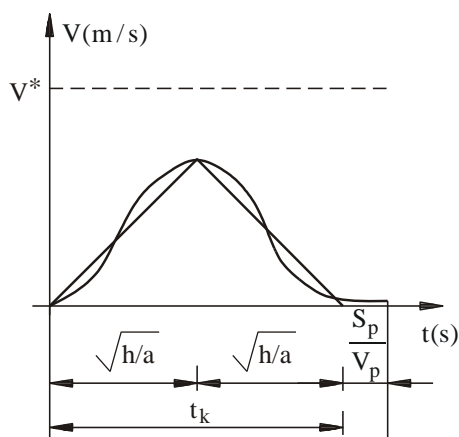
Vreme trajanja srednjeg radnog ciklusa viljuškara na iznošenju paleta iz skladišta iznosi:

$$\begin{aligned} T_c &= \sum_{i=1}^{12} t_i = \\ &= 5 + 14,9 + 5 + 22,2 + 6 + 21 + 5 + 13,77 + \\ &+ 5 + 6,57 + 6 + 17,12 = 127,56 \text{ s}. \end{aligned}$$

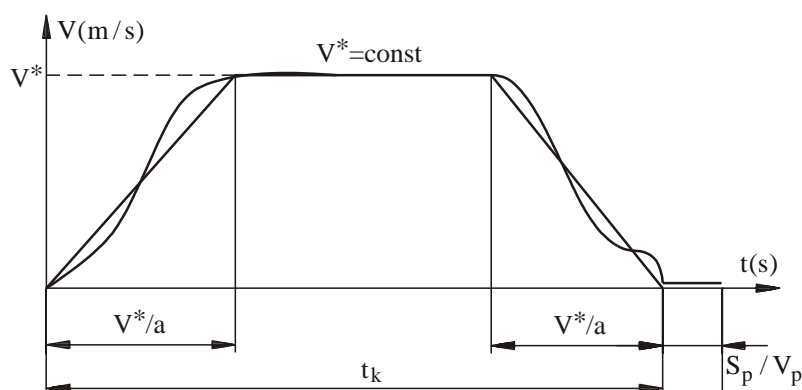
A3.3. RADNI CIKLUSI VISOKO REGALNE DIZALICE

A3.3.1. Matematički model kretanja visoko regalne dizalice

Moguće optimalne promene brzine kretanja visoko regalne dizalice (VRD) u x odnosno y pravcu prikazane su na slikama A3.1 i A3.2. Na slici A3.1 prikazan je I slučaj kretanja kada posmatrani mehanizam (kretanje u x ili y pravcu) VRD ne dostiže maksimalnu brzinu (V^*), dok je na slici A3.2 prikazan II slučaj kretanja kada posmatrani mehanizam VRD dostiže maksimalnu brzinu (V^*).



Slika A3.1. Promene brzine kod I slučaja kretanja VRD u x (y) pravcu.



Slika A3.2. Promene brzine kod II slučaja kretanja VRD u x (y) pravcu.

Na osnovu slika A3.1 i A3.2 zaključuje se da optimalno vreme kretanja VRD u y pravcu zavisi od puta koji u tom pravcu VRD treba da pređe tj. [6]

$$t_{ky} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{h_y}{a}}, & h_y \leq \frac{V^{*2}}{a} \\ \frac{h_y}{V^*} + \frac{V^*}{a}, & h_y > \frac{V^{*2}}{a} \end{cases}$$

gde je:

V^* - maksimalna brzina kretanja u y pravcu [m/s],

a – maksimalna vrednost ubrzanja u y pravcu [m/s^2].

h_y – rastojanje koje VRD treba da pređe u y pravcu [m].

Potpuno identični zaključci važe i kada je u pitanju kretanje VRD u x pravcu tj.

$$t_{kx} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{h_x}{a}}, & h_x \leq \frac{V^{*2}}{a} \\ \frac{h_x}{V^*} + \frac{V^*}{a}, & h_x > \frac{V^{*2}}{a} \end{cases}$$

gde je:

V^* - maksimalna brzina kretanja u x pravcu [m/s],

a – maksimalna vrednost ubrzanja u x pravcu [m/s^2].

h_x – rastojanje koje VRD treba da pređe u x pravcu [m].

Vreme kretanja VRD - $t_{ko}^{P_1, P_2}$, između dve lokacije $P_1(x_1, y_1)$ i $P_2(x_2, y_2)$ koje su međusobno izmeštene i po x i po y osi, kao posledica nezavisnosti pogona VRD u x i y pravcu, određuje se kao maksimalno vreme od dva postojeća vremena kretanja u x (t_{kx}) i y (t_{ky}) pravcu tj.

$$t_{ko}^{P_1, P_2} = \max\{t_{kx} + t_{px}; t_{ky} + t_{py}\}, \quad (\text{A3.1})$$

gde $t_{px(y)}$ predstavlja vreme pozicioniranja VRD, za zahvatanje/odlaganje palete, u x odnosno y pravcu.

Vreme pozicioniranja se određuje kao:

$$t_{px(y)} = \frac{S_{px(y)}}{V_{px(y)}},$$

gde su: $S_{px(y)}$ – pređeni put u toku pozicioniranja koji iznosi obično od $0,055$ m do $0,07$ m i $V_{px(y)}$ – brzina pozicioniranja ("fina" brzina) u x odnosno y pravcu čija je vrednost približno $1/100$ od brzine kretanja u posmatranom pravcu, obično 2 m/min.

Rastojanja koja VRD prelazi u x odnosno y pravcu, h_x odnosno h_y , određuju kao:

$$h_x = |x_1 - x_2| - S_{px} \text{ i}$$

$$h_y = |y_1 - y_2| - S_{py}.$$

A3.3.1. Jednostruki radni ciklus visoko regalne dizalice

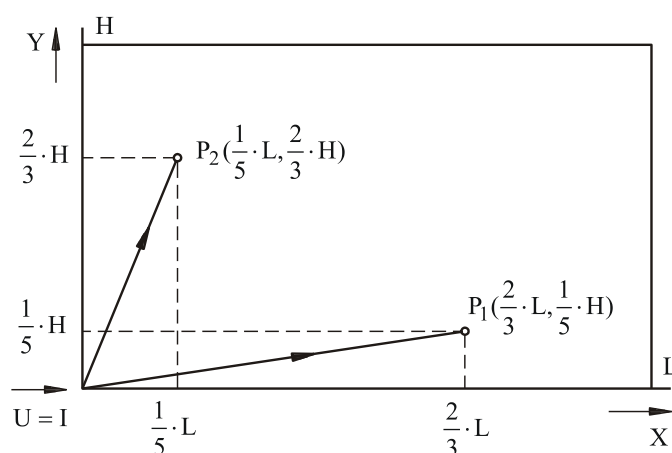
Jednostruki ciklus VRD sastoji se iz niza operacija koje obuhvataju manipulaciju palete sa teretom. Pod pretpostavkom da se paleta sa teretom nalazi na mestu predviđenom za ulaz/izlaz paleta iz regala, jednostruki ciklus VRD se sastoji iz sledećih operacija: [11,29]

- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka,
- podizanje palete sa mesta za ulaz/izlaz,
- uvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- jednovremeno kretanje VRD u x i y pravcu,

- pozicioniranje "finom" brzinom,
- kontrola funkcija i uključenje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- spuštanje palete sa teretom u regal,
- uvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka,
- kontrola funkcija i uključenje/isključenje,
- jednovremeno kretanje VRD u x i y pravcu (povratno kretanje),
- pozicioniranje "finom" brzinom.

Srednje vreme trajanja jednostrukog (prostog) ciklusa VRD, za datu konfiguraciju skladišta odnosno regala, u prema FEM³ propisima određuje se na osnovu sledećeg izraza: (slika A3.3)

$$T_{cj} = \frac{I}{2} \cdot \left[2 \cdot (t_{ko}^{U,P_1} + t_{tel} + t_{d/s}) + 2 \cdot (t_{ko}^{U,P_2} + t_{tel} + t_{d/s}) \right] + t_{uk/is}. \quad (A3.2)$$



Slika A3.3. Referentne tačke, FEM model – jednostruki (prost) ciklus.

U prethodnom izrazu i na slici A3.3 koriste se sledeće oznake:

- L, H - dužina i visina regala,
- t_{ko}^{U,P_1} - optimalno vreme kretanja VRD pri kretanju od tačke ulaza U sa koordinatama $U(0,0)$ do referentne tačke P_1 sa koordinatama $P_1(\frac{2}{3} \cdot L, \frac{1}{5} \cdot H)$ i obrnuto, pod uslovom da je mesto ulaza palete u skladište jednako mestu izlaza palete iz skladišta ($U=I$), (izraz A3.1)

³ Federation Europeenne de la Manutention - FEM, No. 9.851

- t_{ko}^{U,P_2} - optimalno vreme kretanja VRD pri kretanju od tačke ulaza U sa koordinatama $U(0,0)$ do referentne tačke P_2 sa koordinatama $P_2(\frac{1}{5} \cdot L, \frac{2}{3} \cdot H)$ i obrnuto, pod uslovom da je mesto ulaza palete u skladište jednako mestu izlaza palete iz skladišta ($U=I$), (izraz A3.1)
- t_{tel} - vreme teleskopiranja, podrazumeva izvlačenje praznih viljušaka i uvlačenje viljušaka sa paletom i teretom ili obrnuto izvlačenje viljušaka sa paletom i teretom i uvlačenje praznih viljušaka. Brzine teleskopiranja (uvlačenja/izvlačenja viljušaka) se mogu razlikovati u zavisnosti da li je paleta na viljuškama ili ne. Ako se brzine teleskopiranja razlikuju manja je ona kada je paleta na viljuškama. Put teleskopiranja zavisi od položaja palete u regalu, tj. da li je ona okrenuta širom ili užom stranom prema hodniku, i iznosi približno $1,05 m$ ili $1,35 m$. Za određivanje vremena teleskopiranja koriste se isti izrazi kao i za određivanje vremena kretanja VRD u x ili y pravcu,
- $t_{d/s}$ - vreme dizanja/spuštanja palete. Visina dizanja/spuštanja palete u regalu iznosi približno $0,1 m$ a vreme potrebno za to približno $3 s$.
- $t_{uk/is}$ - vreme potrebno za kontrolu funkcija i uključenje/isključenje. Kontrola funkcija i uključenje/isključenje se u toku jednostrukog ciklusa obavljaju četiri puta i može se smatrati da je ukupno vreme potrebno za to $4 s$.

Izraz za izračunavanje jednostrukog ciklusa VRD moguće je primeniti samo ukoliko je zadovoljen uslov:

$$0,5 < \frac{H}{L} \times \frac{V_x^*}{V_y^*} < 2,$$

gde je: V_x^* - maksimalna brzina kretanja VRD u horizontalnom pravcu, i

V_y^* - maksimalna brzina kretanja VRD u vertikalnom pravcu.

Zadatak A3.2

Odrediti vreme trajanja srednjeg jednostrukog (prostog) ciklusa VRD, prema FEM propisima, ako su dati sledeći podaci vezani za tehničke karakteristike VRD i konfiguraciju skladišnog sistema – regala:

- tip VRD:
Destamat 600.

- kretanje u x pravcu:
 - maksimalna brzina: $V_x^* = 100 \text{ m/min}$,
 - ubrzanje: $a_x = 0,4 \text{ m/s}^2$,
 - "fina" brzina: $V_{px} = 1,25 \text{ m/min}$,
 - put pozicioniranja: $S_{px} = 0,2 \text{ m}$.
- kretanje u y pravcu:
 - maksimalna brzina: $V_y^* = 12 \text{ m/min}$,
 - ubrzanje: $a_y = 0,4 \text{ m/s}^2$,
 - "fina" brzina: $V_{py} = 0,75 \text{ m/min}$,
 - put pozicioniranja: $S_{py} = 0,2 \text{ m}$.
- teleskopiranje:
 - brzina izvlačenja/uvlačenja viljušaka: $22,3 \text{ m/min}$,
 - ubrzanje: $0,6 \text{ m/s}^2$,
 - put teleskopiranja: $1,325 \text{ m}$.
- putanja u x pravcu: $L = 79,34 \text{ m}$,
- putanja u y pravcu: $H = 8,2 \text{ m}$,
- visina dizanja/spuštanja palete u regalu: $0,1 \text{ m}$,
- položaj ulaza palete u regal (x/y): $0,0 \text{ m} / 0,0 \text{ m}$,
- položaj izlaza palete iz regala (x/y): $0,0 \text{ m} / 0,0 \text{ m}$.

Rešenje:

Srednje vreme trajanja jednostrukog (prostog) ciklusa VRD, za datu konfiguraciju skladišta odnosno regala, u prema FEM propisima određuje se na osnovu sledećeg izraza (A3.2):

$$T_{cj} = \frac{1}{2} \cdot \left[2 \cdot (t_{ko}^{U,P1} + t_{tel} + t_{d/s}) + 2 \cdot (t_{ko}^{U,P2} + t_{tel} + t_{d/s}) \right] + t_{uk/is}$$

pod uslovim da je zadovoljen uslov:

$$0,5 < \frac{H}{L} \times \frac{V_x^*}{V_y^*} < 2$$

Kako je za datu konfiguraciju skladišta (L , H) i usvojene maksimalne brzine kretanja VRD (V_x^* , V_y^*):

$$\frac{H}{L} \times \frac{V_x}{V_y} = \frac{8,2}{79,34} \times \frac{100}{12} = 0,86,$$

to je gornji uslov zadovoljen.

Struktura vremena jednostrukog (prostog) ciklusa VRD je sledeća:

	Naziv operacije	P_1	P_2
1	zahvatanje i odlaganje tereta		
	-put teleskopiranja: 1,325 m; $t_{tel}=8,37 s \times 2$	16,74 s	16,74 s
	-visina dizanja/spuštanja: 0,1 m; $t_{d/s}=3 s \times 2$	6 s	6 s
2	kretanje VRD u X/Y pravcu		
	U/I - P₁ - U/I	90,76 s	
	put X-pravac: 52,893 m; $t_{kx}=35,78 s \times 2 = 71,56 s$		
	pozicioniranje X-pravac: 0,2 m; $t_{px}=9,6 s \times 2 = 19,2 s$		
	$t_{kx} + t_{px} = 90,76 s$		
	put Y-pravac: 1,64 m; $t_{ky}=7,70 s \times 2 = 15,40 s$		
	pozicioniranje Y-pravac: 0,2 m; $t_{py}=16,0 s \times 2 = 32,0 s$		
	$t_{ky} + t_{py} = 47,40 s$		
	U/I - P₂ - U/I		85,67 s
	put X-pravac: 15,868 m; $t_{kx}=13,57 s \times 2 = 27,14 s$		
	pozicioniranje X-pravac: 0,2 m; $t_{px}=9,6 s \times 2 = 19,2 s$		
	$t_{kx} + t_{px} = 46,34 s$		
	put Y-pravac: 5,466 m; $t_{ky}=26,833 s \times 2 = 53,67 s$		
	pozicioniranje Y-pravac: 0,2 m; $t_{py}=16,0 s \times 2 = 32,0 s$		
	$t_{ky} + t_{py} = 85,67 s$		
	Σ	113,50 s	108,41 s

Srednje vreme trajanja jednostrukog (prostog) ciklusa VRD – T_{cj} , uzimajući u obzir i $t_{uk/is}=4 s$, iznosi:

$$T_{cj} = \frac{1}{2} \cdot (113,50 + 108,41) + 4 = 114,96 s.$$

A3.3.2. Složeni radni ciklus visoko regalne dizalice

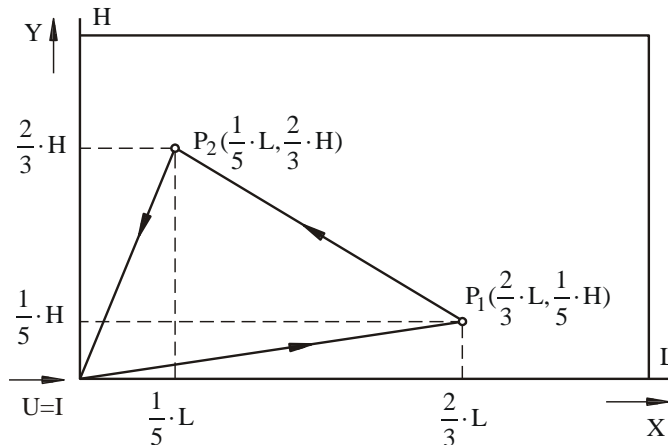
Složeni ciklus VRD sastoji se iz niza operacija koje obuhvataju manipulaciju palete sa teretom. Pod pretpostavkom da se paleta sa teretom nalazi na mestu predviđenom za ulaz/izlaz paleta iz regala, složeni ciklus VRD se sastoji iz sledećih operacija: [11,29]

- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka,
- podizanje palete sa mesta za ulaz/izlaz,
- uvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- jednovremeno kretanje VRD u x i y pravcu (do mesta odlaganja palete u regalu),
- pozicioniranje "finom" brzinom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- spuštanje palete sa teretom u regal,
- uvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- jednovremeno kretanje VRD u x i y pravcu (do mesta zahvatanja palete iz regala),
- pozicioniranje "finom" brzinom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka,
- podizanje palete sa mesta zahvatanja iz regala,
- uvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- jednovremeno kretanje VRD u x i y pravcu (do mesta za ulaz/izlaz),
- pozicioniranje "finom" brzinom,
- kontrola funkcija i uključanje/isključenje,
- izvlačenje (teleskopiranje) viljušaka sa paletom i teretom,
- spuštanje palete sa teretom na mesto za ulaz/izlaz,
- uvlačenje (teleskopiranje) praznih viljušaka.

Srednje vreme trajanja složenog ciklusa VRD, za datu konfiguraciju skladišta odnosno regala, u prema FEM⁴ propisima određuje se na osnovu sledećeg izraza: (slika A3.4)

⁴ Federation Europeenne de la Manutention - FEM, No. 9.851

$$T_{cs} = \left[4 \cdot (t_{tel} + t_{d/s}) + t_{ko}^{U,P_1} + t_{ko}^{P_1,P_2} + t_{ko}^{P_2,I} \right] + t_{uk/is}, \quad (A3.3)$$



Slika A3.4. Referentne tačke, FEM model – složeni ciklus.

U prethodnom izrazu i na slici A3.4 koriste se sledeće oznake:

- L, H - dužina i visina regala,
- t_{ko}^{U,P_1} - vreme kretanja VRD pri kretanju od tačke ulaza U sa koordinatama $U(0,0)$ do referentne tačke P_1 sa koordinatama $P_1(\frac{2}{3} \cdot L, \frac{1}{5} \cdot H)$, (izraz A3.1)
- $t_{ko}^{P_1,P_2}$ - vreme kretanja VRD pri kretanju od referentne tačke P_1 sa koordinatama $P_1(\frac{2}{3} \cdot L, \frac{1}{5} \cdot H)$ do referentne tačke P_2 sa koordinatama $P_2(\frac{1}{5} \cdot L, \frac{2}{3} \cdot H)$, (izraz A3.1)
- $t_{ko}^{P_2,I}$ - vreme kretanja VRD pri kretanju od referentne tačke P_2 sa koordinatama $P_2(\frac{1}{5} \cdot L, \frac{2}{3} \cdot H)$ do tačke izlaza I sa koordinatama $I(0,0)$, ($U=I$), (izraz A3.1)
- t_{tel} - vreme teleskopiranja, podrazumeva izvlačenje praznih viljušaka i uvlačenje viljušaka sa paletom i teretom ili obrnuto izvlačenje viljušaka sa paletom i teretom i uvlačenje praznih viljušaka. Za određivanje vremena teleskopiranja koriste se isti izrazi kao i za određivanje vremena kretanja VRD u x ili y pravcu,

- $t_{d/s}$ - vreme dizanja/spuštanja palete. Potrebno vreme za dizanje/spuštanje palete iznosi približno 3 s.
- $t_{uk/is}$ - vreme potrebno za kontrolu funkcija i uključenje/isključenje. Kontrola funkcija i uključenje/isključenje se u toku složenog ciklusa obavlja sedam puta i može se smatrati da je ukupno vreme potrebno za to 7 s.

Izraz za izračunavanje jednostrukog ciklusa VRD moguće je primeniti samo ukoliko je zadovoljen uslov:

$$0,5 < \frac{H}{L} \times \frac{V_x^*}{V_y^*} < 2,$$

gde je: V_x^* - maksimalna brzina kretanja VRD u horizontalnom pravcu, i

V_y^* - maksimalna brzina kretanja VRD u vertikalnom pravcu.

Zadatak A3.3

Odrediti vreme trajanja srednjeg složenog ciklusa VRD, prema FEM propisima, za podatke vezane za tehničke karakteristike VRD i konfiguraciju skladišnog sistema – regala date u zadatku A3.2.

Rešenje:

Srednje vreme trajanja složenog ciklusa VRD, za datu konfiguraciju skladišta odnosno regala, u prema FEM propisima određuje se na osnovu sledećeg izraza (A3.3):

$$T_{cs} = \left[4 \cdot (t_{tel} + t_{d/s}) + t_{ko}^{U,P1} + t_{ko}^{P1,P2} + t_{ko}^{P2,I} \right] + t_{uk/is},$$

pod uslovim da je zadovoljen uslov:

$$0,5 < \frac{H}{L} \times \frac{V_x^*}{V_y^*} < 2.$$

Kako se konfiguracija skladišta (L , H) i usvojene maksimalne brzine kretanja VRD (V_x^* , V_y^*) nisu menjale, to je gornji uslov i u slučaju proračuna složenog ciklusa VRD zadovoljen.

Struktura vremena koja učestvuju u složenom ciklusu VRD je sledeća:

	Naziv operacije	trajanje
1	zahvatanje i odlaganje tereta -put teleskopiranja: $1,325\text{ m}$; $t_{tel}=8,37\text{ s} \times 4$ -visina dizanja/spuštanja: $0,1\text{ m}$; $t_{d/s}=3\text{ s} \times 4$	$33,48\text{ s}$ 12 s
2	kretanje VRD u X/Y pravcu U/I - P₁ put X-pravac: $52,893\text{ m}$; $t_{kx}=35,78\text{ s}$ pozicioniranje X-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{px}=9,6\text{ s}$ $t_{kx} + t_{px} = 45,38\text{ s}$ put Y-pravac: $1,64\text{ m}$; $t_{ky}=7,70\text{ s}$ pozicioniranje Y-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{py}=16,0\text{ s}$ $t_{ky} + t_{py} = 23,70\text{ s}$ P₁ - P₂ put X-pravac: $37,03\text{ m}$; $t_{kx}=26,26\text{ s}$ pozicioniranje X-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{px}=9,6\text{ s}$ $t_{kx} + t_{px} = 35,86\text{ s}$ put Y-pravac: $3,83\text{ m}$; $t_{ky}= 18,63\text{ s}$ pozicioniranje Y-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{py}=16,0\text{ s}$ $t_{ky} + t_{py} = 34,63\text{ s}$ P₂ - U/I put X-pravac: $15,868\text{ m}$; $t_{kx}=13,57\text{ s}$ pozicioniranje X-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{px}=9,6\text{ s}$ $t_{kx} + t_{px} = 23,17\text{ s}$ put Y-pravac: $5,466\text{ m}$; $t_{ky}=26,833\text{ s}$ pozicioniranje Y-pravac: $0,2\text{ m}$; $t_{py}=16,0\text{ s}$ $t_{ky} + t_{py} = 42,83\text{ s}$	$45,38\text{ s}$ $35,86\text{ s}$ $42,83\text{ s}$
	Σ	$169,55\text{ s}$

Srednje vreme trajanja složenog ciklusa VRD – T_{CS} , uzimajući u obzir i $t_{uk/is}=7 s$, iznosi:

$$T_{CS} = 169,55 + 7 = 176,55 s.$$

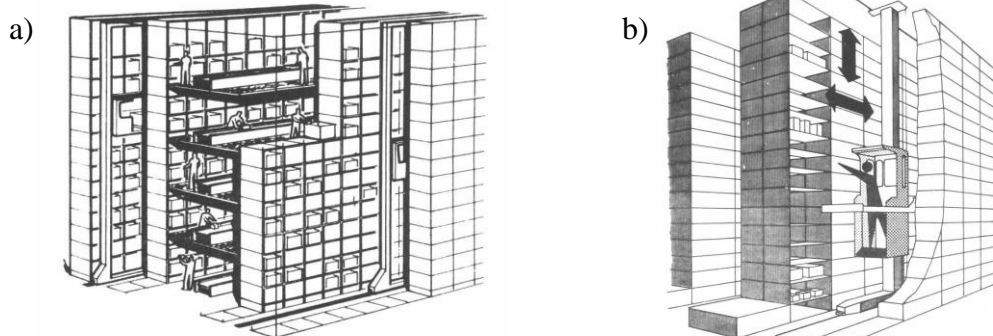
A3.4. RADNI CIKLUSI SKLADIŠNIH UREĐAJA PRI KOMISIONIRANJU

A3.4.1. Komisioniranje

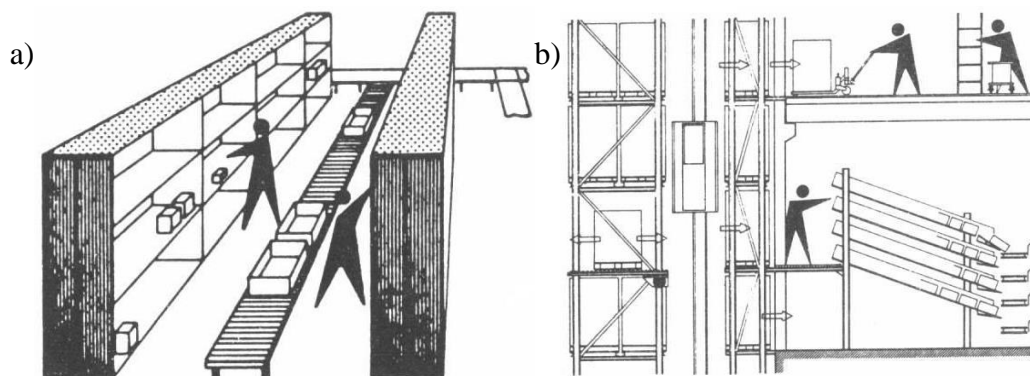
Komisioniranje ili priprema robe za distribuciju, podrazumeva prikupljanje i sortiranje narudžbina i predstavlja najsloženiju skladišnu operaciju – funkciju sa stanovišta sistema opsluživanja.

Aktivnost komisioniranja obuhvata: selekciju (uzimanje) robe sa skladišnih površina, njeno sortiranje prema listi zahteva potrošača i pripremu za otpremu iz skladišta. Osnovna funkcija područja gde se vrši priprema robe za distribuciju – komisioniranje je: odabiranje, sortiranje i akumulacija robe prema zahtevima potrošača. Jedinice koje izlaze iz ovog područja mogu da budu različite od onih koje ulaze u skladište. To znači da jedinice napuštaju ovo područje u stanju različitom od onog u kome su došle i bile uskladištene. Pored osnovne funkcije, zavisno od rešenja, ovo područje može da sadrži i funkciju vremenskog premošćavanja koje obuhvata interval od ulaska robe u ovu zonu pa do njene otpreme, koja je diktirana zahtevima potrošača (asortiman, količine i vreme isporuke). [45,46]

Selekcija narudžbina može da se vrši direktno u glavnom skladištu (slika A3.5) ili u posebnom skladištu za pripremu narudžbina (komisiona skladišta, slika A3.6), da bi se omogućio efikasniji rad.



Slika A3.5. Komisioniranje u glavnom skladištu.



Slika A3.6. Komisiono skladište.

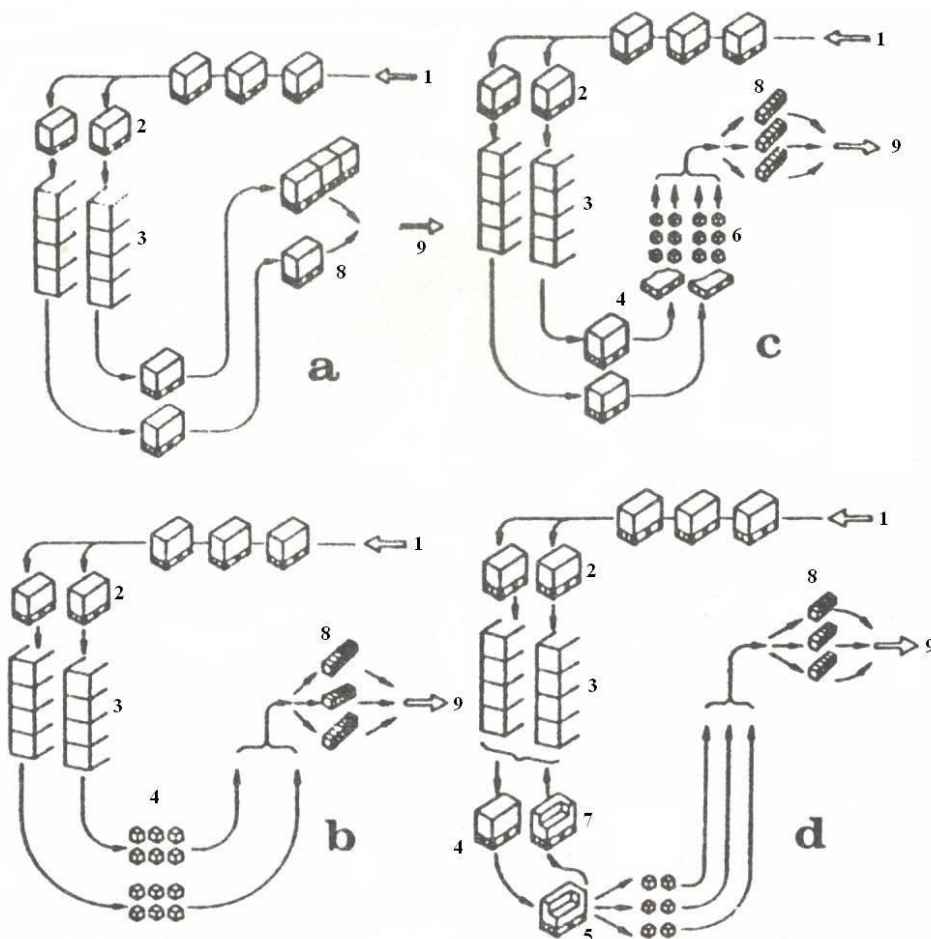
Sortiranje je manuelni postupak i zato je skup jer zahteva angažovanje velikog broja ljudi. Kompletiranje narudžbina je često najkritičnija skladišna funkcija, zato što manipulacija malih narudžbina velike frekvencije čini ovaj rad intenzivnim i zato što brzina kompletiranja narudžbina direktno utiče na kvalitet usluge potrošačima. Najvažniji cilj pri rešavanju ovog područja, pored iskorišćenja prostora, je minimiziranje vremena prikupljanja i sortiranja narudžbina optimiziranjem puta i postupaka pojedinih zahvata. Pri tome je jasan pojam funkcionalnog odvajanja u glavno skladište i skladište za pripremu narudžbina: oba se moraju postaviti i optimizirati prema različitim tehničkim ciljevima. [45,46]

Proces komisioniranja može da bude statički i dinamički. Statičko komisioniranje “čovjek robi” se odvija u zoni uskladištenja (slike A3.6, A3.7b i A3.7c). Dinamički sistem “roba čoveku” predviđa odnošenje iz skladišta cele transportne jedinice do zone za komisioniranje gde se uzimaju željeni artikli a preostali deo robe se vraća u skladište (slike A3.7d i A3.8).

Na slici A3.7 su date osnovne tehnološke šeme prikupljanja i sortiranja narudžbina u paletnim skladištima. Kod varijante A, iz glavnog skladišta (3) se uzimaju cele transportne jedinice (4) i odnose do mesta gde se kompletiraju narudžbine (8). U ovom slučaju minimalna količina koja se naručuje ne sme da bude manja od količine robe koja se nalazi na jednoj paleti.

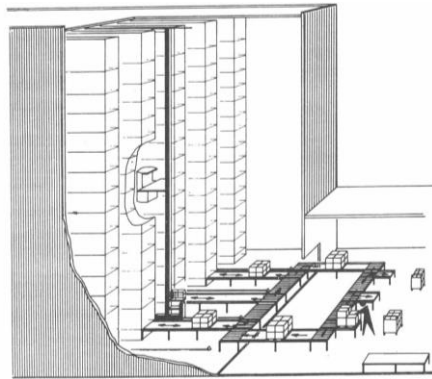
U varijanti B, naručene količine (4), manje od količine koju prima transportna jedinica, se uzimaju direktno iz glavnog skladišta (3) i odnose na mesto kompletiranja narudžbina (8). Kod varijante C, iz glavnog skladišta (3) se odnose transportne jedinice (4) do skladišta za pripremu narudžbina (6), gde se izdvajaju naručene količine i odvoze do mesta kompletiranja narudžbina (8). U varijanti D, iz skladišta (3) se uzimaju transportne jedinice (4), sa kojih se izdvajaju naručene količine (5) nakon čega se transportne jedinice vraćaju

natrag u skladište (7), dok se naručena roba odnosi na mesto za kompletiranje narudžbina (8). Na svim šemama slike A3.7, (1) označava mesto dovoza transportnih jedinica (2), a (9) otpremu narudžbina.



Slika A3.7. Postupci komisioniranja. [45,46]

U toku pripreme narudžbina (komisioniranja) kretanje radnika (i robe) može da bude jednodimenzionalno (slika A3.6a) kada se kretanje odvija u jednoj ravni ili dvodimenzionalno kada se za obavljanje procesa komisioniranja koriste specijalni komisioni viljuškari ili visoko regalne dizalice (slika A3.5b).



Slika A3.8. Postupci komisioniranja - "roba čoveku".

A3.4.2. Matematički model procesa komisioniranja

Ukupno vreme za pripremu narudžbina u toku dana iznosi: [45]

$$T_{pn} = M \cdot \left[(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d \right] \quad (\text{A3.4})$$

gde je:

M – prosečan broj narudžbina,

\bar{t}_p – prosečno pripremno vreme po lokaciji koja se opslužuje, obuhvata čitanje liste za pripremu robe, traženje lokacije, čitanje oznake na regalima i obradu naloga. Prosečno $\bar{t}_p = 10 \div 15$ s/lokaciji.

\bar{t}_z – prosečno vreme zahvatanja robe, obuhvata uzimanje robe sa date lokacije, prenošenje i postavljanje robe na transportno sredstvo. Zavisí od uslova rada i mase i dimenzije pakovanja. Prosečno $\bar{t}_z = 3 \div 6$ s/poziciji.

m – prosečan broj artikala koji se uzima sa date lokacije.

\bar{t}_{din} – prosečno vreme kretanja po jednoj lokaciji.

n – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja.

\bar{t}_d – dodatno vreme po jednoj narudžbini, obuhvata preuzimanje nove liste (narudžbenice) za pripremu robe, uzimanje transportnog sredstva kod ručnog komisioniranja, predaju primljene robe itd. i zavisí od layout-a i vrste primenjenog transportnog uređaja. Preporučena vremena:

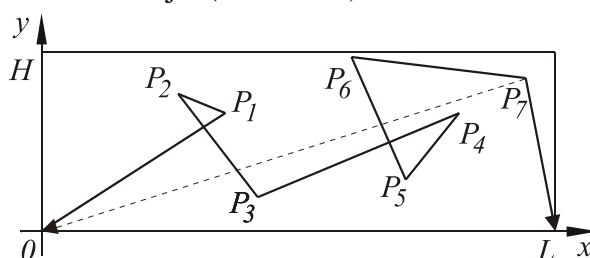
$\bar{t}_d = 75 \div 300$ s, za ručna paletna kolica,

$\bar{t}_d = 70 \div 250$ s, za komisioni viljuškar,

$\bar{t}_d = 55 \div 200$ s, za komisione visoko regalne dizalice.

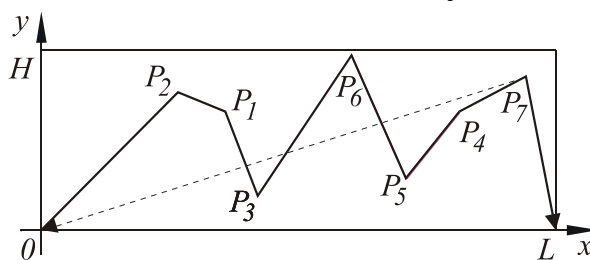
Kretanje radnika u procesu komisioniranja, kao što je rečeno, može da bude jednodimenzionalno ili dvodimenzionalno što zavisi od načina obavljanja procesa komisioniranja. Skladišni uređaji koji se koriste za jednodimenzionalno komisioniranje su ručna paletna kolica, elektro paletna kolica (obična) ili elektro paletna kolica namenjena za komisioniranje sa jednim ili dva mesta za palete, dok se za dvodimenzionalno komisioniranje koriste komisioni viljuškari ili komisione visoko regalne dizalice. Pri tome vreme kretanja zavisi od načina uzimanja robe sa pojedinih lokacija, koje može da se obavlja na dva načina:

– **Uzimanje robe bez strategije**, kada radnik na komisioniranju uzima robu prema redosledu na listi narudžbina bez prethodnog svrstavanja pozicija prema razdaljinama pojedinih lokacija. (slika A3.9)



Slika A3.9. Komisioniranje bez strategije.

– **Uzimanje robe sa strategijom**, kada su pozicije sa liste narudžbina poredane prema njihovoj udaljenosti u odnosu na mesto ulaska radnika u zonu za komisioniranje. Ovakva organizacija zahteva dodatnu obradu liste ali se postiže znatna ušteda u dinamičkom vremenu komisioniranja. (slika A3.10)



Slika A3.10. Komisioniranje sa strategijom.

Prosečno dinamičko vreme pri jednodimenzionalnom kretanju i uzimanju robe bez strategije je dato izrazom:

$$\bar{t}_{din} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{V}{a} + \frac{n-1}{3 \cdot n} \cdot \frac{L}{V} + \frac{L}{V \cdot n}, \quad (A3.5)$$

gde je:

n – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja,

V – brzina kretanja radnika pri komisioniranju,
 a – prosečna vrednost ubrzanja,
 L – dužina puta komisioniranja.

Kod uzimanja robe sa strategijom prosečno vreme pri jednodimenzionalnom kretanju i uzimanju robe dato je izrazom:

$$\bar{t}_{din} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{V}{a} + \frac{L}{V \cdot n}. \quad (\text{A3.6})$$

Uobičajene vrednosti brzina i ubrzanja kod jednodimenzionalnog kretanja iznose:

- peške bez tereta: $V=1,1 \div 1,4 \text{ m/s}$; $a=1,5 \div 2,1 \text{ m/s}^2$,
- peške sa teretom do 15 kg: $V=1,1 \div 1,2 \text{ m/s}$; $a=0,8 \div 1,3 \text{ m/s}^2$,
- peške sa kolicima i teretom do 250 kg: $V=0,9 \div 1,0 \text{ m/s}$; $a=0,8 \div 1,3 \text{ m/s}^2$,
- peške sa paletnim kolicima: $V=2,4 \div 2,6 \text{ m/s}$; $a=1,1 \div 1,9 \text{ m/s}^2$.

Prosečno vreme za dvodimenzionalno kretanje kod uzimanja robe bez strategije je dato izrazom:

$$\bar{t}_{din} = \frac{n+1}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{V_x}{a_x} + \frac{V_y}{a_y} \right) + \frac{4}{3 \cdot n} \cdot \frac{L}{V_x} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{14}{30} \cdot \frac{L}{V_x}, \quad (\text{A3.7})$$

uslov za primenu gornjeg izraza je:

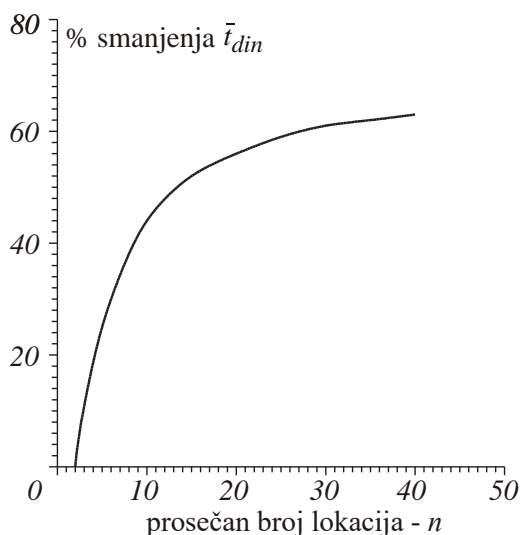
$$\frac{H}{L} \cdot \frac{V_x}{V_y} \cong 1,$$

gde je:

- H – visina regala,
- L – dužina regala,
- V_x – maksimalna brzina horizontalnog kretanja,
- V_y – maksimalna brzina vertikalnog kretanja,
- a_x – ubrzanje u horizontalnom pravcu,
- a_y – ubrzanje u vertikalnom pravcu,
- n – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja.

Prosečno vreme kretanja po lokaciji kod dvodimenzionalnog kretanja sa strategijom \bar{t}_{din} opada sa brojem lokacija koje dizalica obiđe u toku jednog

ciklusa. Procenat smanjenja prosečnog vremena kretanja po lokaciji \bar{t}_{din} u slučaju dvodimenzionalnog kretanja sa strategijom u odnosu na prosečno vreme kretanja po lokaciji \bar{t}_{din} slučaju dvodimenzionalnog kretanja bez strategije, u zavisnosti od prosečnog broja lokacija – n , prikazan je na slici A3.11. [45]



Slika A3.11. Procenat smanjenja prosečnog vremena kretanja po lokaciji u slučaju dvodimenzionalnog komisioniranja sa strategijom.

Zadatak A3.4

Odrediti potreban broj radnika za komisioniranje N , pri statičkom komisioniranju, sa strategijom i bez strategije, ako se dnevno kompletira $M=50$ narudžbina sa prosečnim obilaskom $n=30$ lokacija na kojima se prosečno uzima po $m=6$ artikala. Proces komisioniranja se obavlja u jednoj smeni sa kolicima maksimalne nosivosti do 250 kg. Efektivno vreme rada radnika na komisioniranju u jednoj smeni iznosi $t_{ef}=7$ sati. Dužina puta komisioniranja je $L=100$ m.

Rešenje:

Ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina u toku dana određuje se na osnovu izraza (A3.4):

$$T_{pn} = M \cdot [(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d]$$

gde je:

M – prosečan broj narudžbina, $M=50$,

\bar{t}_p – prosečno pripremno vreme po lokaciji koja se opslužuje, preporučeno

$\bar{t}_p = 10 \div 15$ s/lokaciji, usvojeno $\bar{t}_p = 10$ s.

\bar{t}_z – prosečno vreme zahvatanja robe, preporučeno $\bar{t}_z = 3 \div 6$ s/poziciji,

usvojeno $\bar{t}_z = 3$ s.

m – prosečan broj artikala koji se uzima sa date lokacije, $m=6$.

n – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja, $n=30$.

\bar{t}_d – dodatno vreme po jednoj narudžbini, preporučeno $\bar{t}_d = 75 \div 300$ s,

usvojeno $\bar{t}_d = 100$ s.

\bar{t}_{din} – prosečno vreme kretanja po jednoj lokaciji.

Vreme kretanja radnika po jednoj lokaciji u procesu jednodimenzionalnog komisioniranja sa strategijom dato je izrazom:

$$\bar{t}_{din} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{V}{a} + \frac{L}{V \cdot n} = \frac{30+1}{30} \cdot \frac{1}{1} + \frac{100}{1 \cdot 30} = 4,36 \text{ s} \rightarrow \bar{t}_{din} = 4,5 \text{ s},$$

dok je vreme kretanja radnika po jednoj lokaciji u procesu jednodimenzionalnog komisioniranja bez strategije dato je izrazom:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{din} &= \frac{n+1}{n} \cdot \frac{V}{a} + \frac{n-1}{3 \cdot n} \cdot \frac{L}{V} + \frac{L}{V \cdot n} = \\ &= \frac{30+1}{30} \cdot \frac{1}{1} + \frac{30-1}{3 \cdot 30} \cdot \frac{100}{1} + \frac{100}{1 \cdot 30} = 36,59 \text{ s} \rightarrow \bar{t}_{din} = 37 \text{ s}, \end{aligned}$$

gde je:

V – brzina kretanja radnika pri komisioniranju, peške sa kolicima i teretom do 250 kg: $V=0,9 \div 1,0$ m/s, usvojeno $V=1,0$ m/s,

a – prosečna vrednost ubrzanja, preporučeno $a=0,8 \div 1,3$ m/s², usvojeno $a=1,0$ m/s²,

L – dužina puta komisioniranja, $L=100$ m.

Ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina pri jednodimenzionalnom komisioniranju sa strategijom iznosi:

$$\begin{aligned} T_{pn} &= M \cdot [(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d] = \\ &= 50 \cdot [(10 + 3 \cdot 6 + 4,5) \cdot 30 + 100] = 53750 \text{ s ili } 14,93 \text{ h}, \end{aligned}$$

dok ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina pri jednodimenzionalnom komisioniranju bez strategije iznosi:

$$T_{pn} = M \cdot [(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d] =$$

$$= 50 \cdot [(10 + 3 \cdot 6 + 37) \cdot 30 + 100] = 102500 \text{ s ili } 28,47 \text{ h.}$$

Potrebno broj radnika, u slučaju jednodimenzionalnog komisioniranja sa strategijom iznosi:

$$N = \frac{T_{pn}}{t_{ef}} = \frac{14,93}{7} = 2,13 \text{ radnika, } \rightarrow \text{usvojeno } N=3 \text{ radnika,}$$

dok je potreban broj radnika, u slučaju jednodimenzionalnog komisioniranja bez strategije:

$$N = \frac{T_{pn}}{t_{ef}} = \frac{28,47}{7} = 4,067 \text{ radnika, } \rightarrow \text{usvojeno } N=5 \text{ radnika.}$$

Zadatak A3.5

Visoko regalna dizalica opslužuje hodnik sa regalima dužine $L=87 \text{ m}$ i visine $H=16 \text{ m}$. Karakteristike visoko regalne dizalice su: maksimalna brzina kretanja u horizontalnom pravcu $V_x=1,66 \text{ m/s}$, maksimalna brzina dizanja/spuštanja tereta $V_y=0,3 \text{ m/s}$, ubrzanje u horizontalnom i vertikalnom pravcu je $a_x=0,3 \text{ m/s}^2$ tj. $a_y=0,3 \text{ m/s}^2$. Visoko regalna dizalica radi na procesu komisioniranja bez strategije i prosečno dnevno ima $M=43$ narudžbine na dan. Jedna narudžbina se u proseku formira obilaskom $n=20$ lokacija tako što se na svakoj lokaciji uzima po $m=1$ artikal. Odrediti ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina.

Rešenje:

Ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina u toku dana određuje se na osnovu izraza (A3.4):

$$T_{pn} = M \cdot [(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d],$$

gde je:

M – prosečan broj narudžbina u toku dana, $M=43$,

\bar{t}_p – prosečno pripremno vreme po lokaciji koja se opslužuje,

$$\bar{t}_p = 10 \text{ s/lok.}$$

\bar{t}_z – prosečno vreme zahvatanja robe, $\bar{t}_z = 3 \text{ s/lok.}$

m – prosečan broj artikala koji se uzima sa date lokacije, $m=6$.

n – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja, $n=20$.

\bar{t}_d – dodatno vreme po jednoj narudžbini, $\bar{t}_d = 80 \text{ s.}$

Prosečno vreme za dvodimenzionalno kretanje kod uzimanja robe, po jednoj lokaciji, bez strategije je dato izrazom (A3.7) tj.:

$$\bar{t}_{din} = \frac{n+1}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{V_x}{a_x} + \frac{V_y}{a_y} \right) + \frac{4}{3 \cdot n} \cdot \frac{L}{V_x} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{14}{30} \cdot \frac{L}{V_x},$$

pod uslovim da je zadovoljen uslov:

$$\frac{H}{L} \cdot \frac{V_x}{V_y} \cong 1.$$

Kako je za datu konfiguraciju skladišta (L , H) i usvojene brzine kretanja visoko regalne dizalice V_x i V_y :

$$\frac{H}{L} \times \frac{V_x}{V_y} = \frac{16}{87} \times \frac{1,66}{0,3} = 1,0176,$$

to je gornji uslov zadovoljen.

Prosečno vreme za dvodimenzionalno kretanje kod uzimanja robe, po jednoj lokaciji, iznosi:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{din} &= \frac{20+1}{2 \cdot 20} \cdot \left(\frac{1,66}{0,3} + \frac{0,3}{0,3} \right) + \frac{4}{3 \cdot 20} \cdot \frac{87}{1,66} + \frac{20-1}{20} \cdot \frac{14}{30} \cdot \frac{87}{1,66}, \\ \bar{t}_{din} &= 30,16 \text{ s} \rightarrow \bar{t}_{din} = 30,5 \text{ s.} \end{aligned}$$

gde je:

$L=87 \text{ m}$ – dužina regala,

$V_x=1,66 \text{ m/s}$ – maksimalna brzina horizontalnog kretanja,

$V_y=0,3 \text{ m/s}$ – maksimalna brzina dizanja/spuštanja tereta,

$a_x=0,3 \text{ m/s}^2$ – ubrzanje u horizontalnom pravcu,

$a_y=0,3 \text{ m/s}^2$ – ubrzanje u vertikalnom pravcu,

$n=20$ – prosečan broj lokacija koji se obiđe u ciklusu komisioniranja.

Konačno, ukupno vreme potrebno za pripremu narudžbina u toku dana određuje iznosi:

$$T_{pn} = M \cdot [(\bar{t}_p + \bar{t}_z \cdot m + \bar{t}_{din}) \cdot n + \bar{t}_d],$$

$$T_{pn} = 43 \cdot [(10 + 3 \cdot 6 + 30,5) \cdot 20 + 80] = 53750 \text{ s ili } 14,93 \text{ h},$$

što znači da visoko regalna dizalica treba da radi u dve smene.

