

Određivanje ciklusa izrade u proizvodnji namještaja*

Mr Stjepan Tkalec, dipl. inž.
Sumarski fakultet u Zagrebu
Primljeno: 22. 09. 1980.
Prihvaćeno: 14. 12. 1980.

UDK 634.0.836.1

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

U okviru rada obrađena je problematika koja obuhvaća tri metode određivanja ciklusa izrade kod proizvodnje namještaja. Trajanje ciklusa izrade je funkcija operacijskih i međuoperacijskih vremena $T_c = f(T_o; T_m)$ te načina kretanja predmeta rada u procesu izrade. Utvrđeno je da postepeno-diskontinuirani proces uvjetuje najduže cikluse, dok usporedno-kontinuirani proces, tzv. linijski, daje najkraće cikluse izrade.

U jednoj tvornici namještaja, s proizvodnim programom od dva asortimana namještaja, snimljeni su stvarni ciklusi izrade T_s , podaci su razvrstani i statistički obrađeni, te pripremljeni u obliku grafikona za vršenje praktične procjene ciklusa izrade T'_s . Na osnovi izvedenih primjera, s proračunima po metodi I s koeficijentom protoka, II intervalnom procjenom očekivanja srednje vrijednosti i III metodom regresijske analize, zaključeno je da su rezultati pojedinih procjena različiti i ovisе o tehnološkim uvjetima proizvodnje. Daje se prioritet metodama intervalne procjene i regresijske analize.

Ključne riječi: ciklus proizvodnje — ciklus izrade — diskontinuirani i kontinuirani proces izrade — koeficijent protoka — intervalna procjena očekivanja srednje vrijednosti — regresijska analiza — konstruktivna i tehnološka složenost proizvodnje.

DETERMINATION OF THE WORKMANSHIP CYCLES IN FURNITURE PRODUCTION

Summary

The work deals with the problems comprising three methods of the determination of the workmanship cycles in furniture production. Duration of workmanship cycles is the function of operation and inter-operation times $T_c = f(T_o; T_m)$ and of the manner of moving the workpiece in the process of workmanship. It has been established that gradually discontinued process stipulates the longest cycles, while parallelly continued process, so called linear, stipulates the shortest workmanship cycles.

In one factory having two furniture assortments in their production program, the actual workmanship cycles have been registered T_s , the information were classified and statistically worked out and prepared in a form of a chart, for making the practical estimate of workmanship cycles T'_s . On the basis of made examples with the estimates on the method I with the coefficient of flow, II with the interval estimate of waiting the mean value and III with the method of regressive analysis, it has been concluded that the results of the individual estimate differ and depend on technological conditions of production.

Priority is given to the methods of the interval estimates and regressive analysis.

Key words: production cycle — workmanship cycle — discontinued and continued workmanship process — coefficient of flow — interval estimate of waiting the mean value — regressive analysis — constructive and technological complexity of production.

* Istraživanja su vršena u okviru potprojekta »Istraživanja na području tehnologije namještaja«, zadatak 6.6.4.6. »Istraživanja ka-

rakterističnih modela rukovođenja i upravljanja procesom proizvodnje namještaja« koji financira SIZ IV i Opće udruženje Sumarstva, prerade drva i prometa SRH, Zagreb.

U V O D

Jedan od osnovnih zadataka operativne pripreme proizvodnje je planiranje rokova. Za rješavanje problematike određivanja termina i planiranja rokova potrebno je poznavanje niza činilaca koji određuju trajanje ciklusa proizvodnje.

Određivanje ciklusa proizvodnje spada u djelokrug operativne pripreme, koja, u suradnji sa studijem rada, priključuje podatke, vrši obradu i primjenu, kao i stalnu kontrolu ciklusa.

Najsloženiji problem terminiranja proizvodnje javlja se u neposrednoj proizvodnji, tj. u fazi izrade. Složenost operativnog rukovođenja procesom izrade namještaja očituje se u brojnim informacijama koje su potrebne u fazi planiranja i izvođenja.

Fino terminiranje, tzv. teoretsko, uvjetuje velik broj preciznih informacija o vremenima izrade, zauzetosti radnih mjesta, često i potrebi elektroničke obrade terminskih planova i sl., stoga predstavlja vrlo složen zadatak koji se nerado uvodi u aktivnost operativnog planiranja i rukovođenja.

Proizvodni sistem u kojem se istovremeno nalazi više proizvoda s različitim proizvodnim procesima može se fino operativno planirati, ali je izvođenje opterećeno nizom smetnji koje onemogućavaju planirano izvođenje, tj. realizaciju. Sistemi tzv. grubog terminiranja nalaze praktičnu primjenu u području cjelokupnog procesa proizvodnje, a posebno su primjenjivi za terminiranje procesa izrade, što pokazuju neki primjeri iz prakse.

Kod donošenja odluke o organiziranju sistema operativnog planiranja i rukovođenja potrebno je izvršiti izbor metode terminiranja, kao i obim razrade u skladu s ostalim uvjetima proizvodnje. Operativno planiranje neposredno je u vezi s tehnološkim planiranjem, od kojega dobiva potrebne ulazne informacije za planiranje neposrednog izvođenja.

Planiranje ciklusa izrade predstavlja osnovu za određivanje rokova nabave i isporuke. U operativnom planiranju za određivanje trajanja proizvodnog ciklusa često se primjenjuje metoda s koeficijentom protoka, obzirom da je često spominjana u literaturi [5 i 8]) i nalazi primjenu u praksi.

U ovom radu iznose se neka zapažanja koja su rezultat istraživanja autora na području ciklusa izrade u proizvodnji namještaja. Primjenom drugih metoda za određivanje trajanja ciklusa izrade mogu se jednostavnije i bolje izvršiti procjene potrebne operativnom planiranju u odnosu na metode s koeficijentom protoka.

Ovaj rad predstavlja prilog teoretskom rješavanju problematike terminiranja ciklusa izrade i planiranja rokova u finalnoj proizvodnji, a ujedno daje osnove za prikladnu primjenu.

1. PROBLEMATIKA I CILJ ISTRAŽIVANJA

1.1. Ciklusi izrade u proizvodnji namještaja

Ciklus izrade nekog proizvoda je vrijeme od ulaza repromaterijala u tehnološki proces do dovršenja izrade gotovog proizvoda. Drugim riječima, ciklus izrade je trajanje proizvodnog procesa od početka prve do završetka posljednje tehnološke operacije [1]. Ciklus proizvodnje je širi pojam, te obuhvaća i ostale aktivnosti vezane za tehnološki proces.

U okviru ciklusa izrade obuhvaćena su operacijska (T_o) i međuoperacijska vremena (T_m), te se na osnovu toga trajanje ciklusa može izraziti:

$$T_c = f(T_o; T_m)$$

Operacijska vremena ili vrijeme rada računamo:

$$T_o = T_{pz} + T_i = T_{pz} + (n \cdot t_k) \quad (\text{min/seriji})$$

gdje je:

T_{pz} = pripremno-završno vrijeme

T_i = vrijeme izrade

n = broj predmeta rada

t_k = komadno vrijeme ($t_o + t_d$)

Međuoperacijska vremena ili vrijeme prekida izražavamo obrascem:

$$T_m = \sum_1^n t_{1p} + \sum_1^n t_{op} \dots (\text{min/serij})$$

gdje je:

t_{1p} = tehnološki prekidi

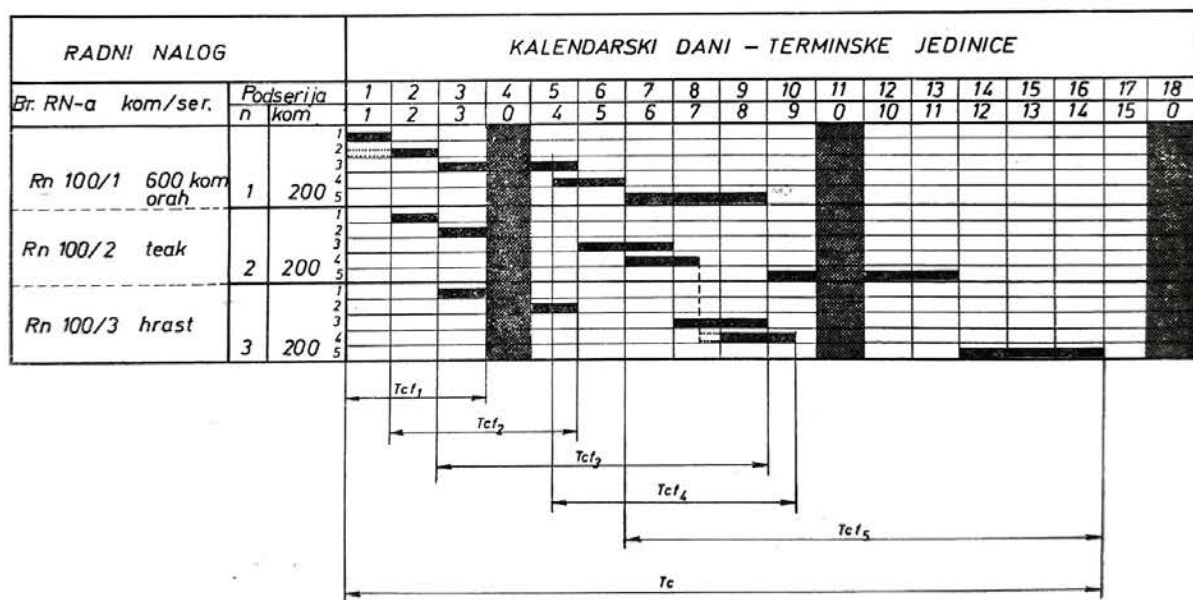
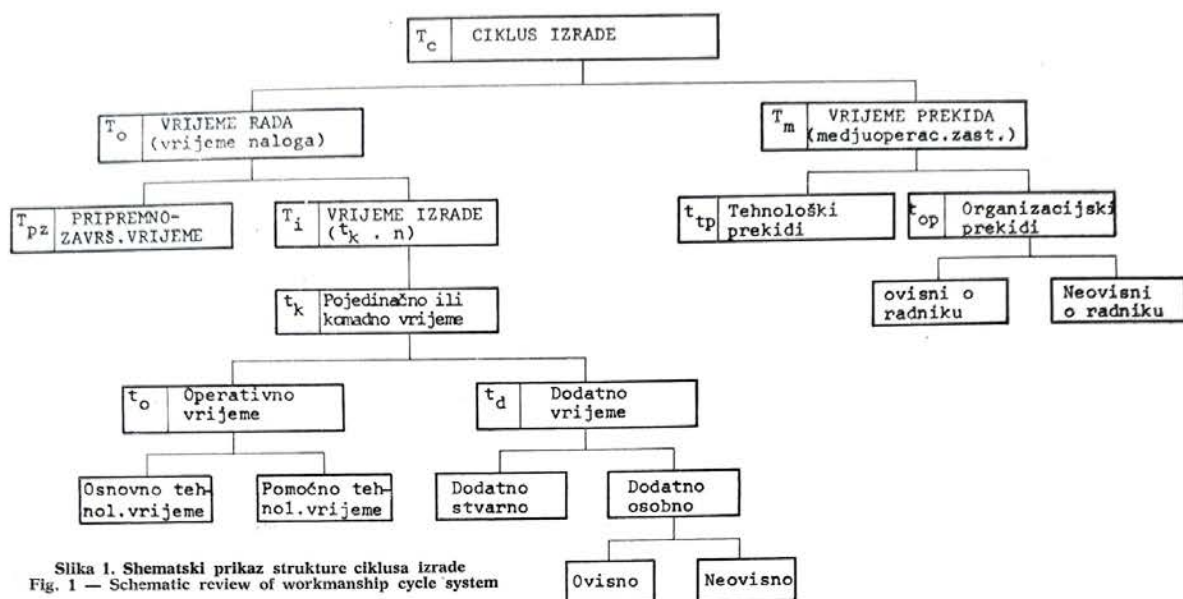
t_{op} = organizacijski prekidi (to su svi planirani ili neplanirani prekidi koji nisu sadržani u dodatnim vremenima)

Na priloženoj shemi (sl. 1) prikazana je struktura ciklusa izrade.

Tehnološki proces kod proizvodnje namještaja podijeljen je na tehnološke faze koje su obično prostorno locirane u odjele, te se može reći da se cjelokupni proizvodni ciklus dijeli na međufazne cikluse, koji su po određenom redosljedju uklopljeni u cjelokupni ciklus izrade.

Međufazni ciklus izrade (T_{cf}) je vrijeme od ulaza repromaterijala ili poluproizvoda u određenu fazu obrade do dovršenja obrade u toj fazi. Trajanje ciklusa izrade može se jednostavnije izraziti pomoću međufaznih ciklusa:

$$T_c = f(T_{cf1}; T_{cf2} \dots T_{cfn})$$



Slika 2. Gantogramski prikaz strukture proizvodnog ciklusa za seriju proizvoda — Faze obrade: 1. krojenje furnira, 2. krojenje ploča, 3. strojna obrada, 4. lakirnica, 5. montaža (za vrijeme snimanja pogon je radio 6 dana u tjednu)

Fig. 2 — Gantt chart of production cycle system for a series of products — Conversion phases: 1. cutting of veneer, 2. cutting of boards, 3. machining, 4. lacquering room, 5. assembly (during the survey the plant was in operation 6 days a week)

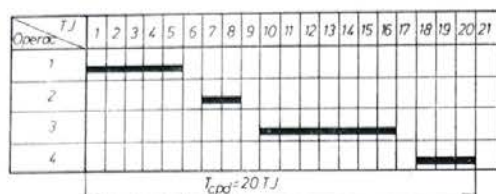
Na slici 2. ilustrira se gantogramskim prikazom struktura ciklusa izrade s naznačenim međufaznim ciklusima izrade. Dužina ciklusa izrade direktno ovisi o načinu kretanja predmeta rada u toku procesa. Razlikujemo postepeni, usporedni i kombinirani način kretanja proizvodnje (sl. 3).

Kod postepenog načina slijedeća operacija ne može započeti dok prethodna nije završena. Ov-

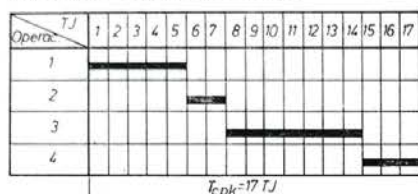
dje razlikujemo postepeno-diskontinuirani proces (pd), kada su između operacija razmaci, tj. razna međuoperacijska vremena, te postepeno-kontinuirani proces (pk) gdje između operacija ne postoje međuoperacijski zastoji.

Kod usporednog načina kretanja slijedeće operacije na seriji dijelova odvijaju se odmah poslije

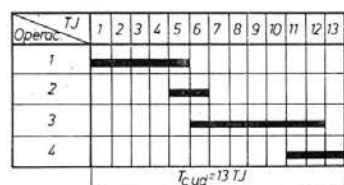
GANTOGRAMSKI PRIKAZ NAČINA KRETANJA PREDMETA RADA



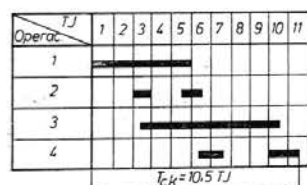
a) postepeno - diskontinuirani proces



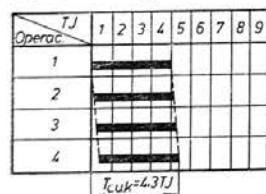
b) postepeno - kontinuirani proces



c) usporedno - diskontinuirani proces



d) kombinirani proces



e) usporedno - kontinuirani proces

Slika 3. Gantogramski prikaz načina kretanja predmeta rada

Fig. 3 — Gantt chart of the manner of moving the workpiece

prethodne, tako da se u toku izvođenja međuoperacijska i operacijska vremena preklapaju, tj. različite operacije na različitim predmetima odvijaju se terminski istovremeno.

Ovdje se razlikuju usporedno-diskontinuirani proces (ud) kod kojeg se, nakon izvođenja prethodne opracije, serija predmeta rada dijeli na podnaloge ili verižne naloge i prenosi na izvođenje slijedeće operacije, te usporedno-kontinuirani proces (uk), ili tzv. linijski proces, gdje se predmeti obrađuju u protoku s određenim redoslijedom izvođenja operacija.

Kombinirani način (k) kretanja je kombinacija postepenih i usporednih procesa.

Proračunom ili snimanjem ciklusa izrade, uz uvjet konstantne tehnološke strukture (tj. ista oprema, operacije i vremena), način kretanja predmeta rada će u procesu utjecati na dužine ciklusa, tako da će odnosi trajanja biti slijedeći:

$$T_{epd} > T_{epk} > T_{end} > T_{ek} > T_{euk}$$

U proizvodnji namještaja nalaze se svi oblici procesa, što ujedno odražava razinu organiziranosti procesa.

U moderno organiziranim pogonima, kod srednje i veliko-serijske proizvodnje pretežno dolazi usporedno-diskontinuirani način, a u novije vrijeme u nekim tehnološkim fazama i linijski proces (npr. strojna obrada ploča, lakirnica ploča).

Osnovni uvjeti za najkraći ciklus izrade jesu minimalna operacijska i međuoperacijska vremena, kao i odgovarajući način kretanja predmeta rada u procesu obrade.

Analiza stvarnih ciklusa proizvodnje ima najveće značenje u praksi za terminiranje buduće proizvodnje, tj. terminiranje nabave repromaterijala i poluproizvoda iz kooperacije, za izradu proizvodne dokumentacije, potreban alat, naprave i druga pomagala, rokove početka i završetka izrade, te rokove isporuke gotove robe.

U toku provođenja analize ciklusa proizvodnje mogu se u radnoj organizaciji otkloniti mnogi tehničko-tehnološki i organizacijski činioci, koji negativno utječu na normalno odvijanje proizvodnje i produžuju proizvodne cikluse. Posebno se ističu međuoperacijska vremena, čiji je utjecaj vrlo značajan za smanjenje proizvodnih ciklusa.

Dosadašnja istraživanja na području ciklusa izrade pretežno se baziraju na primjeni koeficijenta protoka. A. Vila [8] vršio je istraživanja koeficijenta protoka u metalno-prerađivačkoj industriji. Nekolicina domaćih autora obrađuje ovu problematiku na sličan način, tj. trajanje proizvodnog ciklusa izračunava se na osnovu koeficijenta protoka dobivenog iz odnosa stvarnih ciklusa snimljenih u pogonu i normativna vremena za seriju proizvoda. Navedenu metodu također nalazimo u francuskoj i njemačkoj literaturi. F. Mencinger [5] u svom radu razmatra mogućnost primjene novog grafičkog i matematičkog modela za određivanje ciklusa izrade, te novoj metodi daje prednost ispred metoda s koeficijentima protoka. U svom kritičkom osvrtu V. Hitrec [4], nasuprot često upotrebljavanom metoda prognoze pomoću koeficijenta, ukazuje na mogućnost primjene drugih statističkih metoda, npr. regresijske analize, pomoću koje se mogu dobiti znatno bolje procjene za primjenu u praksi.

Kako primjena metoda s koeficijentima protoka često puta ne daje za praksu upotrebljive procjene, pokušalo se komparativno ispitati tri

različite metode određivanja trajanja ciklusa, sa svrhom dobivanja najprikladnijeg načina za upotrebu u proizvodnji namještaja. Uz osnovni zadatak iznalaženja najpovoljnije metode, rezultati istraživanja daju neke odgovore o zakonitostima u odnosu složenosti konstrukcije, tehnoloških tokova i opterećenja kapaciteta na ciklus izrade.

2. METODA RADA

U okviru zadataka i plana istraživanja, odabran je objekt istraživanja, izvršene su pripreme za snimanje, instruktaza kadrova i provođenje snimanja. U jednoj tvornici namještaja s proizvodnim pogonima furniranog i masivnog namještaja, koja zapošljava 230 radnika na obradi materijala u dvije smjene, sa 6.000 m² proizvodnih prostora, u toku 10 mjeseci snimljeni su svi ciklusi izrade u skladu s planom proizvodnje. Evidentirani podaci su sređeni prema vrsti proizvoda i veličini lansiranih serija, kako bi se mogli obraditi s tri različite metode.

Metoda rada će se ilustrirati primjerima kojima će biti obuhvaćene sve tri metode.

1. Primjer za proizvod »A«

U proizvodnju je potrebno lansirati nalog od $N = 100$ garnitura proizvoda »A«, za koji je planirano vrijeme naloga $n_s = 5.291$ sati/seriji, rad se odvija u dvije smjene $s_d = 2 \cdot 8 = 16$ sati/dan. Na osnovu obrađenih podataka o stvarnim ciklusima potrebno je izvršiti procjenu ciklusa izrade, ako je prethodno izračunato prosječno trajanje stvarnog ciklusa $\bar{T}_s = 45,92$ dana, a prosječni koeficijent protoka $\bar{f} = 0,142$.

Rješenje metodom koeficijenata protoka (prema 8)

Potreban broj norma dana:

$$T_{nd} = \frac{\sum ns}{s_d} = \frac{5291}{16} = 330,7 \text{ dana/ser.}$$

Prosječni koeficijent protoka:

$$\bar{f} = \frac{\sum fF}{n} = \frac{3,554}{25} = 0,142$$

Varijanca i standardna devijacija za podatke iz tablice 1:

Tablica 1

f	F		
0,103	1	0,148	3
0,121	2	0,149	1
0,124	1	0,152	1
0,136	4	0,157	1
0,139	4	0,163	1
0,142	3	0,169	1
0,145	1	0,180	1
			n = 25

$$G_r^2 = \frac{1}{n} \sum Ff^2 - \bar{f}^2 = \frac{0,512}{25} - 0,142^2 = 0,000284$$

$$G_r = 0,01685$$

Procjena trajanja stvarnog ciklusa izrade za pouzdanost 95% i za vrijednost $k = 25 - 1 = 24$, iznosi:

$$T_{s',0,95} = T_{nd} (\bar{f} + t \cdot \sigma_f) =$$

$$T_{s',0,95} = 330,7 (0,142 + 2,064 \cdot 0,01685) =$$

$$= 58,47 \text{ dana/cikl.}$$

dok za 70% pouzdanosti iznosi:

$$T_{s',0,70} = 330,7 (0,142 + 1,059 \cdot 0,01685) =$$

$$= 52,84 \text{ dana/cikl.}$$

prosječno će ciklus iznositi:

$$\bar{T}_s = 330,7 \cdot 0,142 = 46,96 \text{ dana}$$

Rješenje metodom intervalne procjene očekivanja

Za procjenu ovom metodom nisu nam potrebni normativni vremena, kao niti koeficijenti protoka, već snimljeni stvarni ciklusi izrade navedeni u tablici 2:

Tablica 2

T_s	F		
34	1	48	1
40	3	49	3
41	3	50	1
44	1	52	1
45	3	53	1
46	2	54	1
47	2	56	1
			n = 24

Prosječni ciklus izrade:

$$\bar{T}_s = \frac{\sum FT_s}{n} = \frac{1102}{24} = 45,92 \text{ dana/ser.}$$

Varijanca i standardna devijacija:

$$\sigma_{T_s}^2 = \frac{51,232}{24} - 45,92^2 = 26,02$$

$$\sigma_{T_s} = 5,10 \text{ dana/cikl.}$$

Standardna greška:

$$G_{T_s} = \frac{\sigma_{T_s}}{\sqrt{n}} = \frac{5,10}{\sqrt{24}} = 1,04$$

Za vrijednosti $k = 24 - 1 = 23$; $t_{0,05} = 2,069$ intervalna procjena za srednje vrijednosti iznosi:

$$P(\bar{T}_s - t G_{\bar{T}_s} < T_s' < \bar{T}_s + t G_{\bar{T}_s}) = 95\%$$

$$P(45,92 - 2,069 \cdot 1,04 < T_s' < 45,92 +$$

$$+ 2,069 \cdot 1,04) = 95\%$$

$$P(43,77 < T_s' < 48,07) = 0,95$$

2. Primjer za proizvod »B«

Za seriju proizvoda »B« $N = 300$ garnitura potrebno je izvršiti procjenu ciklusa izrade, za koju je planirano vrijeme naloga $n_s = 10.539$ sati/seriji, rad se odvija u dvije smjene, tj. $sd = 2 \cdot 8 = 16$ sati/dan. Na osnovu snimljenih podataka prethodno je izračunat prosječni stvarni ciklus $T_s = 39,66$ dana/cikl. i prosječni koeficijent protoka $f = 0,1563$.

Rješenje metodom koeficijenata protoka (prema 8):

Potreban broj norma dana:

$$T_{nd} = \frac{10.539}{16} = 658,7 \text{ dana/seriji}$$

Prosječni koeficijent protoka:

$$f = \frac{2,814}{18} = 0,1563$$

Varijanca i standardna devijacija za podatke iz tablice 3:

Tablica 3

f	F		
		0,102	1
0,044	1	0,145	1
0,158	1	0,156	1
0,060	1	0,210	1
0,061	1	0,232	1
0,065	1	0,248	1
0,078	1	0,290	1
0,082	1	0,307	1
0,091	1	0,389	1
0,096	1		1
			$n = 18$

$$\sigma_f^2 = \frac{0,592014}{18} - 0,1563^2 = 0,00846$$

$$\sigma_f = 0,09198$$

Procjena trajanja stvarnog ciklusa izrade za pouzdanost 95% i za vrijednost $k = 18 - 1 = 17$, iznosi:

$$T_{s'0,95} = 658,7 (0,0995 + 2,11 \cdot 0,09198) = 193,39 \text{ dana/cikl.}$$

Za isti primjer uzima se procjena za pouzdanost 70%:

$$T_{s'0,68} = 658,7 \cdot (0,0995 + 1,069) \cdot 0,09198 = 130,31 \text{ dana/cikl.}$$

Rješenje metodom regresijske analize

Cilj ove metode je da se na osnovu poznatih vrijednosti nezavisnog obilježja T_{nd} odredi vrijednost zavisnog obilježja T_s . Na osnovu snimljenih podataka za proizvod »B«, koji su izneseni u tablici 4, nacrtan je grafikon s podacima o obilježjima T_{nd} i T_s . Na osnovu nanesenih podataka moglo se zaključiti, da postoji linearna veza ta dva obilježja u obliku pravca, tj.

$$T_s = a + b T_{nd}$$

Parametri a i b u jednadžbi odredit će se Gausovim normalnim jednadžbama izjednačenja:

$$I \quad n \cdot a + b \sum T_{nd} = \sum T_s$$

$$II \quad a \sum T_{nd} + b \sum T_{nd}^2 = \sum T_s T_{nd}$$

Tablica 4

	T_s	T_{nd}		T_s	T_{nd}
1	38	659	10	52	538
2	38	181	11	40	439
3	38	131	12	42	181
4	39	878	13	45	439
5	35	90	14	44	302
6	41	633	15	36	439
7	40	672	16	34	220
8	40	659	17	33	422
9	37	149	18	42	137
			Σ	714	7.169

Rješenjem jednadžbi s dvije nepoznanice dobijeni su iznosi parametara a i b , koji uvršteni u opću jednadžbu daju pravac izjednačenja, koji ima svojstva da je suma kvadrata razlika jednaka minimumu.

$$\bar{T}_s = 37,032 + 0,006625 T_{nd} \dots \text{dana/cikl.}$$

Uvrste li se zadani podaci iz primjera u jednadžbu:

$$(T_{nd} = 10.539/16 = 658,7)$$

$$\bar{T}_s = 37,032 + 0,006625 \cdot 658,7 = 41,4 \text{ dana/cikl.}$$

Dobiveni rezultat daje procjenu za prosječno trajanje ciklusa izrade. Uzimajući u obzir standardno odstupanje, odredit će se granice pouzdanosti za odstupanje od pojedinačnih vrijednosti, kao i granice za odstupanje od sredina.

Koeficijent regresije:

$$b = \frac{\sum T_s T_{nd}}{\sum T_{nd}^2} = \frac{288,141}{3417,914} = 0,0843$$

Suma kvadrata odstupanja:

$$\sum d_{T_s, T_{nd}}^2 = T_s^2 - n\bar{T}_s^2 - b(\sum T_{nd} T_s - n\bar{T}_{nd} \bar{T}_s)$$

$$\sum d_{T_s, T_{nd}}^2 = 286662 - 18 \cdot 3966^2 - 0,0843(288,141 - 18 \cdot 398 \cdot 3966) = 122$$

Prosječni kvadrat odstupanja od regresije i standardno odstupanje od regresije:

$$G_{T_s, T_{nd}}^2 = \frac{\sum d_{T_s, T_{nd}}^2}{n-2} = \frac{122}{18-2} = 7,625 \text{ dana}^2$$

$$G_{T_s, T_{nd}} = 2,76$$

Granice konfidencije za odstupanje pojedinačnih vrijednosti za vjerojatnost 95% ujedno nam određuje interval procjene stvarnog ciklusa izrade. Krivulja za vršenje procjene na sl. 4 dobi-

vena je uvrštavanjem različitih vrijednosti T_{nd} u narednu jednadžbu.

$$T'_s = \bar{T}_s \pm t_{0,95} \cdot G_{T_s, T_{nd}} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(T_{nd} - \bar{T}_{nd})^2}{\sum T_{nd}^2 - n\bar{T}_{nd}^2}}$$

odnosno, T'_s leži u intervalu:

$$35,06 < T'_s < 47,74$$

U grafičkom prikazu za naš primjer interval se nalazi između točaka C i D (sl. 4). Interval odstupanja sredina dobivamo:

$$T'_s = 41,4 \pm 2,12 \cdot 2,76$$

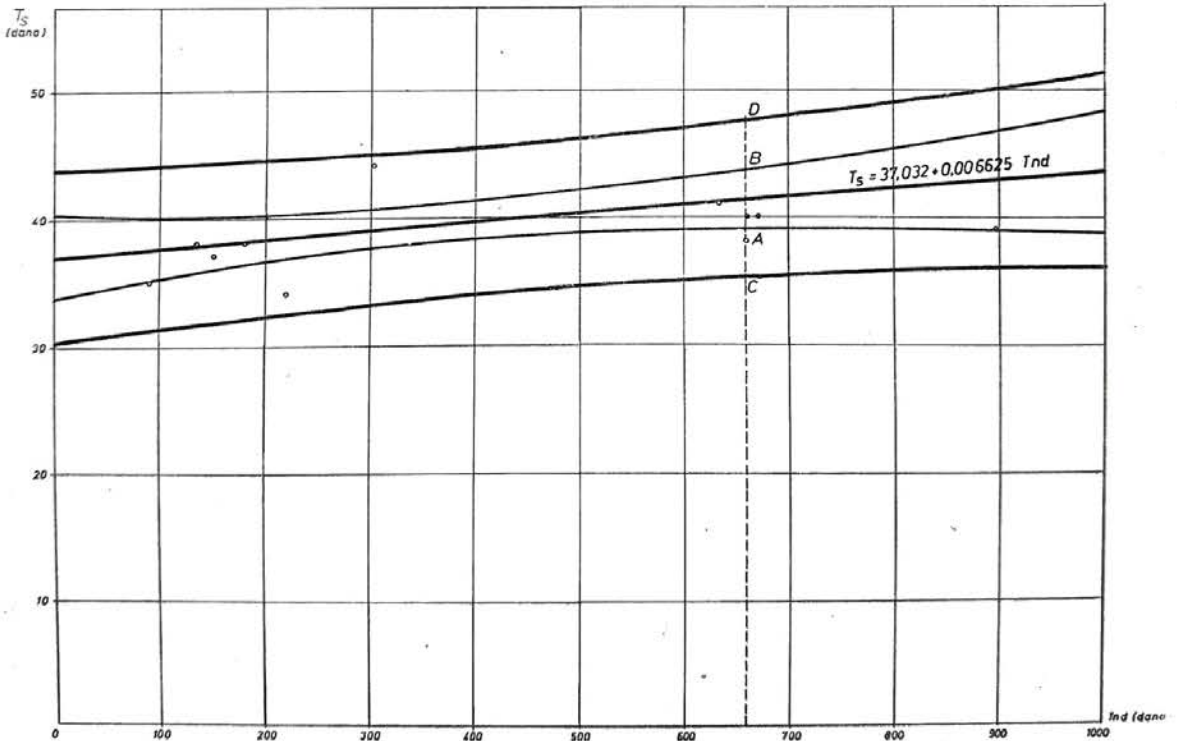
$$\sqrt{\frac{1}{18} + \frac{(658,7 - 398)^2}{3417,914 - 18 \cdot 398^2}}$$

$$T'_s = 41,4 \pm 2,45 \text{ dana/ciklusu}$$

odnosno

$$38,95 < \bar{T}'_s < 43,85$$

U grafičkom prikazu točke A i B (Sl. 4)



Slika 4. Linearna regresija između obilježja T_{nd} i T_s s granicama konfidencije

Fig. 4 — Linear regression between characteristics T_{nd} and T_s with confidence limits.

4. DISKUSIJA O DOBIVENIM REZULTATIMA

Ocjena rezultata procjene ciklusa izrade dobivenih različitim metodama

Razmatrajući dobivene rezultate iz ranije iznesenih primjera, načinit će se usporedba procjena stvarnog ciklusa izrade sa stvarnim ciklusima postignutim u praksi.

Rezultati iz primjera 1:

Proizvod »A«	Vjerojatnost	T'_s min	\bar{T}'_s	T'_s max
I Koef. protoka	0,95	—	46,96	58,47
	0,68	—	46,96	52,84
II Intervalna procj.	0,95	43,77	45,92	48,07
Stvarni ciklusi (za n = 14)		34,00	45,92	56,00

Garniture proizvoda »A« lansirane su u konstantnim serijama, stoga je odabrana komparativna metoda intervalnom procjenom. Uočljivo je da metoda koeficijentom protoka daje nešto više prosječne rezultate od metode intervalnom procjenom. Kada se promatraju gornje granice I i II metode, može se zaključiti da gornje granice dobivene po metodi I znatno odstupaju od gornje granice dobivene po metodi II. Rezultati intervalne procjene znatno su bliži i za praksu upotrebljiviji, jer se podudaraju s prosječnim vrijednostima stvarnih ciklusa, kod kojih su pojave minimalnih i maksimalnih vrijednosti slučajne i vrlo rijetke. U toku snimanja su ove pojave obrazložene raznim tehnološkim i organizacijskim uvjetima.

Na osnovu zadanih podataka izračunat je koeficijent korelacije, $r = 0,208$, koji pokazuje dosta slabu vezu između obilježja T_s i T_{nd} . Slaba korelacijska veza ujedno upućuje na primjenu intervalne procjene, odnosno nepotrebnost primjene metode regresijske analize.

Rezultati iz primjera 2:

Proizvod »B«

Metoda	Vjerojatnost	T'_s min	\bar{T}'_s	T'_s max
I Koeficijentata protoka	0,95		65,54	193,39
	0,70		65,54	130,31
III Regresijske analize	a) 0,95	35,06	41,40	47,74
	b) 0,95	38,95	41,40	43,85
Stvarni ciklus (za n = 3)		38,00	39,66	41,00

Radni nalozi za proizvod »B« lansirani su u različitim serijama, te je odabrana komparativna metoda regresijskom analizom. U metodi I, kod koje se nije vodilo računa o utjecaju veličine serije proizvoda, rezultati procjene nisu za praksu upotrebljivi.

Metoda III daje dobru procjenu za varijantu a) s granicama za odstupanja od pojedinačnih vrijednosti, kao i za b) s granicama za odstupanje od srednjih vrijednosti koja je praktičnija za prognoziranje u procesu terminiranja.

Metoda I dala bi objektivne rezultate kada bi se snimljeni podaci o stvarnim ciklusima izjednačili krivuljom izjednačenja u dijagramu $f - T_{nd}$. U tom slučaju praktičnije je izraditi dijagram $T_s - T_{nd}$, kao u primjeru metode III. Tada koeficijent protoka nije potreban, već se za željeni T_{nd} , i odabranu vjerojatnost očitava procjena stvarnog ciklusa T'_s . Za ovaj primjer koeficijent korelacije iznosi $r = 0,383$, koji potvrđuje postojanost veze između obilježja T_s i T_{nd} , te da je primjena regresijske analize moguća i povoljnija od intervalne procjene.

Konstrukcija proizvoda i ciklus izrade

Svaka konstrukcijska vrsta ili konstrukcijski oblik finalnog proizvoda uvjetuje različita trajanja ciklusa izrade, iako su normativi vremena izrade približnih vrijednosti. Ova konstatacija isključuje opću primjenu snimljenih ciklusa, zbijajući ulazni podatak vrijeme naloga, tj. zbroj norma sati za seriju proizvoda, a zanemarujući istovjetnost ili sličnost konstrukcije proizvoda.

Broj istovrsnih sastavnih dijelova i sklopova u proizvodu određuje stupanj konstrukcijske složenosti proizvoda, a broj i trajanje radnih operacija određuje tehnološku složenost proizvoda. Uz pretpostavku da je u jednom pogonu tehnologija i organizacija konstantna, složeniji proizvodi pokazuju duže cikluse izrade od jednostavnijih proizvoda. Konstrukcijski složeni proizvodi najčešće uvjetuju tehnološku složenost, što se očituje većim brojem radnih operacija za proizvod.

Ukoliko su normativi vremena složenog i jednostavnog proizvoda približno jednaki, složeniji proizvod, tj. onaj s više konstrukcijskih dijelova, imat će više međuoperacijskih zastoja, a time i duže cikluse izrade u odnosu na jednostavniji proizvod. Postoje analize stvarnih ciklusa [8] koje potvrđuju funkcionalnu zavisnost trajanja ciklusa i broja radnih operacija.

Pojednostavljenjem konstrukcijskih rješenja utječe se na smanjenje konstrukcijske i tehnološke složenosti proizvoda, a time i na smanjenje broja radnih operacija.

Smjer tehnoloških tokova i ciklus izrade

Proizvodni programi industrije namještaja očituju se širokim asortimanom, a relativno malim serijama dijelova i sklopova. Za obradu pojedinog dijela, npr. kod obrade masiva, potrebno je izvesti oko desetak pa i više radnih operacija na brojnoj opremi, često specijaliziranoj za pojedine radne operacije. Ovakav proizvodni sistem uvjetuje tehnološke tokove različitog smjera, među kojima su česti povratni tokovi koji uzrokuju velika međuoperacijska vremena, odnosno duge cikluse izrade. Kod procesa s usmjerenim tokom, tj. bez povratnih veza, homogenost procesa je znatno povoljnija kao i mogućnost za skraćivanje ciklusa izrade, iako nisu sva radna mjesta u redosljedu rasporeda angažirana za proces istog proizvoda. Ovakav raspored pojednostavljuje vođenje procesa, skraćuje međuoperacijska vremena, a s time i cikluse izrade.

Proizvodi s istovjetnim tehnološkim procesom, npr. obrada rubova ploča, daje mogućnost organiziranja linijskog procesa. U tom procesu svaki predmet rada prolazi kroz sve elemente proizvodnog sistema (radna mjesta ili strojne skupine) na kojima se obavljaju radne operacije, a ujedno je moguće izvršiti sinhronizaciju trajanja pojedinih operacija da se postigne stabilan ritam, odnosno takt. Ovaj slučaj predstavlja potpuno homogeni proces s najjednostavnijim vođenjem i najkraćim ciklusima u odnosu na ostale organizacijske oblike vođenja procesa.

Stupanj organiziranosti procesa proizvodnje može se izraziti homogenošću procesa, koja se izražava koeficijentom homogenosti.

Opterećenje kapaciteta i ciklus izrade

Trajanje ciklusa izrade direktno je u vezi s opterećenjem kapaciteta (Z). Kada je zaposlenost radnih mjesta $Z < 100\%$, moguće je skraćivanje ciklusa izrade provesti optimalizacijom redosljeda lansiranja serija i partija, odnosno provesti ravnomjerno opterećenje.

Praćenjem opterećenja kapaciteta i trajanja ciklusa izrade u praksi moglo se zaključiti da su kod niske zaposlenosti opreme ciklusi izrade najkraći. Kod opterećenja $Z \geq 100\%$ dolazi do ograničenja skraćivanja ciklusa izrade i to na onim serijama proizvoda koje se obrađuju na preopterećenim radnim mjestima. Da nebi dolazilo do tzv. »repova«, vrši se izravnavanje preopterećenosti radom u dodatnoj smjeni, uvođenjem nove opreme ili smanjenjem programa koji prouzrokuju »uska grla«. Jedan od redovitih zadataka operativne pripreme sastoji se u redovnom bilanciranju kapaciteta prije nego što se pristupi termini-

ranju izrade. U proizvodnji se traži da iskorišćenje opreme bude maksimalno, a ciklusi izrade minimalni, što jedno drugo isključuje.

Pogoni za proizvodnju namještaja često su univerzalne tehnološke strukture, tj. opremljeni su strojevima za izradu različitih finalnih proizvoda, stoga ovdje postoji mogućnost provođenja ravnomjernog opterećenja naizmjeničnim lansiranjem proizvoda različitih konstrukcijskih oblika.

Izradom redosljeda lansiranja i terminiranja izrade omogućava se postizanje najkraćih ciklusa, a tehnološki različitim asortimanom povećava se prosjek zaposlenosti opreme. Ovaj zaključak ujedno navodi na potrebu pravilnog dimenzioniranja kapaciteta i strogo namjenski izbor opreme kod planiranja novih proizvodnih pogona. Najbolje procjene ciklusa izrade postići će se onda ako se primijene snimljena vremena za različita opterećenja, te ih se uskladi s planiranom zaposlenošću za određeni redosljed skupine naloga.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata istraživanja došlo se do slijedećih zaključaka:

— Primjenom tri različite metode za određivanje ciklusa izrade u proizvodnji namještaja, uvidjelo se da su rezultati pojedinih procjena različiti i ovisi o tehnološkim i organizacijskim uvjetima proizvodnje. Stoga je kod pristupa određivanju ciklusa izrade potrebno izvršiti najpovoljniji izbor metode.

— Za procjenu ciklusa izrade kod istih ili konstruktivno-tehnološki sličnih proizvoda, kad veličine serije proizvoda nisu konstantne, povoljno je primijeniti metodu regresijske analize. Koeficijent korelacije će u ovom slučaju biti $r > 0$, tj. postojat će veza između obilježja T_s i T_{nd} .

— Za procjenu ciklusa izrade kod istih ili konstantno-tehnološki sličnih proizvoda, kad su veličine serije konstantne, povoljno je primijeniti metodu intervalne procjene očekivanja srednje vrijednosti. Primjenu ove metode omogućuje slaba korelacijska veza između T_s i T_{nd} , tj. $r \approx 0$.

— Koeficijent ili faktor protoka, dobiven iz odnosa stvarnog ciklusa i optimalnog planiranog ciklusa, mogao bi se primijeniti uspješnije za analize u području organizacije rada, npr. kao pokazatelj stupnja uspjehnosti provedene organizacije procesa izrade. Dalja istraživanja na području ciklusa proizvodnje trebala bi obuhvatiti problematiku optimalnih ciklusa, što će omogućiti objektivniji pristup određivanju ciklusa izrade i praktičnoj upotrebi u terminiranju ili za druge svrhe.

Za procjenu ciklusa izrade f manje je praktičan i ne daje zadovoljavajuće rezultate procjene.

Ova metoda daje to lošije procjene što je veća korelacijska veza obilježja T_s i T_{nd} , odnosno što je veći opći član u jednadžbi pravca regresije.

— Snimljeni podaci u jednom pogonu ili odjelu ne mogu se za iste proizvode i veličine serija rabiti u nekom drugom pogonu ili odjelu, bez obzira da li se radi o istoj tehnološkoj strukturi i kapacitetu.

— Ako u tehnološkoj strukturi ili organizaciji rada dođe do bitnijih promjena, uglavnom se te promjene odražavaju na trajanje ciklusa izrade. Stoga je potrebno predložke za procjenu ciklusa kontrolirati i prema potrebi ispravljati.

Izradom predložaka za procjenu ciklusa izrade na osnovu iznesenih metoda, stvaraju se preduvjeti za unapređenje operativnog planiranja.

Unapređenjem terminiranja proizvodnje daje se mogućnost boljeg iskorištenja kapaciteta, smanjenja zaliha materijala i potreba za obrtnim sredstvima. Nadalje, dolazi do povećanja koeficijenta obrtaja, povećanja produktivnosti rada, a,

s aspekta tržišta, uz poštivanje rokova nabave i isporuke, stječe se ugled poslovnosti, što može znatno utjecati na bolji plasman gotovih proizvoda.

LITERATURA

- [1] BENIĆ, R.: »Organizacija rada u drвноj industriji«. Nakladni zavod »Znanje«, Zagreb, 1971.
- [2] FIGURIĆ, M.: »Organizacija rada u drвноj industriji«. Svezak II (skripta-rukopis), Sumarski fakultet u Zagrebu, 1980.
- [3] GORNIK, B.: »Homogenost procesa proizvodnje i njen utjecaj na iskorištenje kapaciteta, međuoperacione zastoje i trajanje proizvodnog ciklusa«. »Organizacija rada« br. 4, Zagreb, 1977.
- [4] HITREC, V.: »O nekim koeficijentima koji određuju vezu između dvije veličine«. »Drvna industrija« br. 7/8, Zagreb, 1976.
- [5] MENCINGER, F.: »Odnosi između zaposlenosti radionice i vremena izrade za seriju dijelova«. »Moderna organizacija« br. 1, Kranj, 1972.
- [6] SNEDECOR, G., COCHRAN, W.: »Statističke metode — prijevod, »Vuk Karadžić« — Beograd, 1971.
- [7] TKALEC, S.: »Određivanje koeficijenata protoka u proizvodnji namještaja« — Magistarski rad, Sumarski fakultet u Zagrebu, 1976.
- [8] VILA, A., LEICHER, Z.: »Planiranje proizvodnje i kontrola rokova«, II izdanje, Informator, Zagreb, 1977.

Recenzenti:

mr V. Hitrec
dr M. Figurić