

<https://doi.org/10.24867/JPE-1993-10-171>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Todić, V., Banjac D.\*

OCENA REŠENJA FPS I TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADE  
NA OSNOVU PROIZVODNOSTI I EKONOMIČNOSTI

LOSUNGSBEURTEILUNG BEI FLEXIBLEN PRODUKTIONSSYSTEMEN  
(FPS) AUF DER BASIS VON PRODUKTIVITÄTS  
UND WIRTSCHAFTLICHKEITSKENNZAHLEN

Zusammenfassung

*Die Festlegung der produktions-wirtschaftlichen Effektivität bei dem Einsatz der FPS für die Produktion einer bestimmten Teilegruppe setzt voraus den Einsatz adäquater Kennzahlen - der Produktivitäts - und Wirtschaftlichkeitskennzahlen.*

*In diesem Vortrag wurde auf die Möglichkeit der Beurteilung der produktions-wirtschaftlichen Effektivität auf der Basis der Analyse von Produktions und Wirtschaftlichkeitskennzahlen hingewiesen was für einen Repräsent der Teilgeruppe, sowie für die ganze Gruppe durchführbar ist.*

*Auf Grund der Produktions und Wirtschaftlichkeitskennzahlen ist es möglich technologische Lösungen bei den FPS mit bekannten Kenndaten zu Beurteilen, als auch die einzelnen konstruktiven Lösungen der FPS für die Produktion einer bestimmten Teilegruppe.*

---

\* Dr Velimir Todić, docent, mr Dragan Banjac, predavač,  
Institut za proizvodno mašinstvo FTN, V. Perića-Valtera 2,  
Novi Sad

## Rezime

*Pri utvrđivanju proizvodno-ekonomske efektivnosti korišćenja FPS za proizvodnju određene grupe delova potrebno je primeniti adekvatne pokazatelje, kao što su proizvodnost i ekonomičnost.*

*U radu je pokazana mogućnost ocene proizvodno-ekonomske efektivnosti, na osnovu analize proizvodnosti i ekonomičnosti, kako na bazi reprezentata posmatrane grupe, tako i na bazi svih delova.*

*Na osnovu proizvodnosti i ekonomičnosti moguće je ocenjivati tehnološka rešenja na FPS poznatih karakteristika, a isto tako, i pojedina konstruktivna rešenja FPS za proizvodnju određene grupe delova.*

## 1.0 UVOD

Slovežni visokoautomatizovani fleksibilni proizvodni sistemi (FPS) karakterišu se, s jedne strane, visokim mogućnostima u pogledu kvaliteta, proizvodnosti, fleksibilnosti i mobilnosti i u nižim tipovima proizvodnje, a s druge strane, i visokom cenom i troškovima investiranja.

Zbog toga je neophodno, kako u fazi postavljanja FPS, tako i pri njihovoj eksploataciji, vršiti svestrane analize, upoređivanja i optimizaciju konstruktivnih, tehnoloških i organizacionih rešenja, kako bi se u datim uslovima postigli potrebni nivoi proizvodno-ekonomske efektivnosti. Pri tome je očigledno da takvi FPS, uz kvalitetnu i pouzdanu izradu delova, moraju obezbedjivati povišene efekte u pogledu proizvodnosti i iskorišćenja pojedinih modula i sistema u celini, troškova pripreme i proizvodnje u odnosu na druge varijante obradnih, tehnoloških i proizvodnih sistema.

U zavisnosti da li se radi o koncipiranju, detaljnoj razradi rešenja za obradu određenog asortimana delova u fazi projektovanja i osvajanja FPS, ili o izboru rešenja tehnoloških procesa obrade konkretnih delova na konkretnom FPS, moguće je, za tehnoekonomsku analizu i ocenu, koristi-

ti različite funkcije cilja i kriterijume, kao što su vreme i proizvodnost, troškovi i ekonomičnost, stepen vremen-  
skog iskorišćenja, ekonomske uštede itd. Takve analize, dak-  
le, podrazumevaju upoređivanje varijanti tehnoloških pro-  
cesa obrade za jedan ili grupu delova, varijante modula i  
celokupnih FTS i FPS.

## 2.0 FUNKCIJE OPTIMIZACIJE

Kao što je već i istaknuto, za ocenu uspešnosti reše-  
nja ili primene FPS i njihovih modula mogu se prema |1| us-  
pešno koristiti, kao funkcije optimizacije ili cilja, vreme  
obrade po komadu, proizvodnost i njihov koeficijent vremen-  
skog iskorišćenja. Ove funkcije optimizacije su osnova za  
analizu i unapredjenje tehnoloških rešenja u okviru tehno-  
loških i proizvodnih procesa, a isto tako, i osnova za od-  
govarajuće ekonomske proračune.

### 2.1. Vreme obrade na modulima FPS

Na obradnim modulima FPS, kao što je poznato, vrše se  
odredjene operacije obrade, sa odredjenom strukturom, koju,  
u skladu sa usvojenim tehnološkim rešenjem, čine odredjena  
vrsta i redosled zahvata i prolaza obrade.

Vreme bilo kog zahvata obrade može se odrediti prema  
opštem izrazu |2|.

$$t_{z_i} = t_{g_i} + t_{a_i} + \left(\frac{\Delta}{\delta} t_{p1}\right)_i + t_{p_i} + t_{me_i} + t_{i_i} + t_{pzi} \quad (\text{min/zah}) \quad (1)$$

a vreme operacije sa (k) zahvata biće:

$$t_k = \sum_1^k t_{z_i} \quad (\text{min/kom}) \quad (2)$$

gde je:

- $t_{g_i}$  - glavno vreme obrade
- $t_{a_i}$  - vreme zamene i regulisanja alata

- $t_{pi}$  - osnovno pomoćno vreme
- $(\frac{\Delta}{\delta} t_{p1})_i$  - deo pomoćnog vremena za povratne hodove alata kod obrade u više prolaza
- $t_{p1}$  - vreme povratnog hoda nosača alata
- $\Delta$  - dodatak za obradu
- $\delta$  - dubina rezanja
- $t_{mei}$  - vreme merenja u radnom prostoru obradnog modula
- $t_{ii}$  - izgubljeno vreme
- $t_{pzi}$  - pripremno-završno vreme

Iskustva u dosadašnjim istraživanjima [2] su pokazala da se elementi vremena zahvata obrade prema izrazu (1) u proizvodnoj praksi mogu odrediti vrlo efikasno uz posredovanje odgovarajuće dobro organizovane tehnološke banke podataka.

Saglasno izrazima (1) i (2) može se vreme operacije na pojedinim obradnim modulima FPS napisati i u sledećem obliku:

$$t_k = t_g + t_a + t_p + t_i + t_{pz} \quad (3)$$

pri čemu je pomoćnim vremenom ( $t_p$ ) obuhvaćeno osnovno pomoćno vreme, vreme povratnih hodova nosača alata u višeprolaznoj obradi i vreme merenja u radnom prostoru modula.

Vreme operacije obrade u obliku (3) pogodno je za definisanje proizvodnosti i vremenskog koeficijenta iskorišćenja ( $\eta_{is}$ ) pojedinih modula FPS [1].

## 2.2. Proizvodnost i koeficijent vremenskog iskorišćenja obradnih modula

Ako se za neki vremenski period ( $\theta$ ) posmatrani obradni modul koristi u vremenu ( $\theta_m$ ), tada je njegov koeficijent vremenskog iskorišćenja [1]:

$$\eta_{is} = \frac{\theta_m}{\theta} \quad (4)$$

Prema tome, stvarna proizvodnost (Q) biće |1|:

$$Q = \frac{1}{t_g + t_p} \cdot \eta_{is} \quad (\text{kom/min}) \quad (5)$$

ili, saglasno |2|:

$$Q = \frac{1}{t_k} \quad (\text{kom/min}) \quad (6)$$

Pri tome su vremenski gubici modula

$$\Sigma\theta_g = t_k - (t_g + t_p), \quad (7)$$

koji prema |1| obuhvataju:

$$\Sigma\theta_g = \Sigma\theta_s + \Sigma\theta_{org} + \Sigma\theta_{pr} \quad (8)$$

gde je:

- $\Sigma\theta_s$  - sopstveni zastoji modula, zbog zamene alata, otkaza u radu, čišćenja, remonta i održavanja
- $\Sigma\theta_{org}$  - organizacioni zastoji, uslovljeni spoljašnjim faktorima kao što su nedostatak priprema, alata, energije, poslužioca i slično
- $\Sigma\theta_{pr}$  - vreme pripreme modula za izradu novog dela iz posmatrane operacijske grupe

Na osnovu toga može se koeficijent vremenskog iskorišćenja modula napisati u obliku:

$$\eta_{is} = \eta_{teh} \cdot \eta_{pr} \cdot \eta_{org} \quad (9)$$

gde su

$$\eta_{teh} = \frac{\theta}{\theta_m + \Sigma\theta_s} \quad \text{koeficijent tehničkog iskorišćenja modula}$$

$$\eta_{pr} = \frac{1}{1 + \frac{\Sigma \theta_{pr}}{\theta_m + \Sigma \theta_s}} - \text{koeficijent gubitaka vremena za pri-} \\ \text{premu modula}$$

$$\eta_{opt} = \frac{\theta - \Sigma \theta_{org}}{\theta} - \text{koeficijent opterećenja modula}$$

Osim mogućnosti određivanja koeficijenata vremenskog iskorišćenja za svaki modul, izloženo omogućuje i analizu uticaja pojedinih elemenata vremenskih gubitaka na proizvodnost modula.

U opštem slučaju proizvodnost pojedinih modula FPS nije ista, pa se kod FPS za slučaj linijske i protočne proizvodnje određuje jedan limitirajući modul [1]. Jedan od načina povećanja proizvodnosti u ovim slučajevima je uravnoteženja vremena obrade na pojedinim modulima, ili, pak, korišćenje njihovih slobodnih kapaciteta za obradu drugih delova ili formiranih zaliha istih delova.

Ako se za dati vremenski period ( $\theta$ ), korisni vremenski kapacitet modula izrazi sa  $(\theta \cdot \gamma)$ , može se detaljnija i pouzdanija analiza proizvodnosti izvesti preko ukupnog vremena vanciklusnih gubitaka ( $\Sigma \theta_g$ ), svedenih na jedan obradjeni komad, po;

$$\Sigma t_{gu} = \Sigma t_s + \Sigma t_{org} + \Sigma t_{pr}$$

$$\Sigma t_{gu} = \frac{\Sigma \theta_g}{n_s}$$

gde je:

$n_s$  - veličina serije (kom)

Na taj način se stvarna dnevna proizvodnost ( $Q_d$ ), dakle za vreme ( $\theta_d$ ) koje uzima u obzir i broj smena, može izraziti po

$$Q_d = \frac{\theta_d \cdot \gamma \cdot \eta_{opt}}{t_g + t_p + \Sigma t_s + t_{pr}} \quad (10)$$

Navedeni izrazi za analizu vremena i stvarne proizvodnosti se mogu koristiti za proračun očekivanih vrednosti kako u fazi projektovanja novih FPS tako i u proračunu stvarnih vrednosti pri eksploataciji instalisanih FPS i njegovih modula. To znači da se praktično za svaki modul utvrđuje zavisnost stvarne proizvodnosti od pojedinih uticajnih ciklusnih i vanciklusnih vremena, odnosno tehničkih, tehnoloških i organizacionih faktora, čime se definišu smernice za unapredjenje oredjenih tehničkih i tehnoloških rešenja.

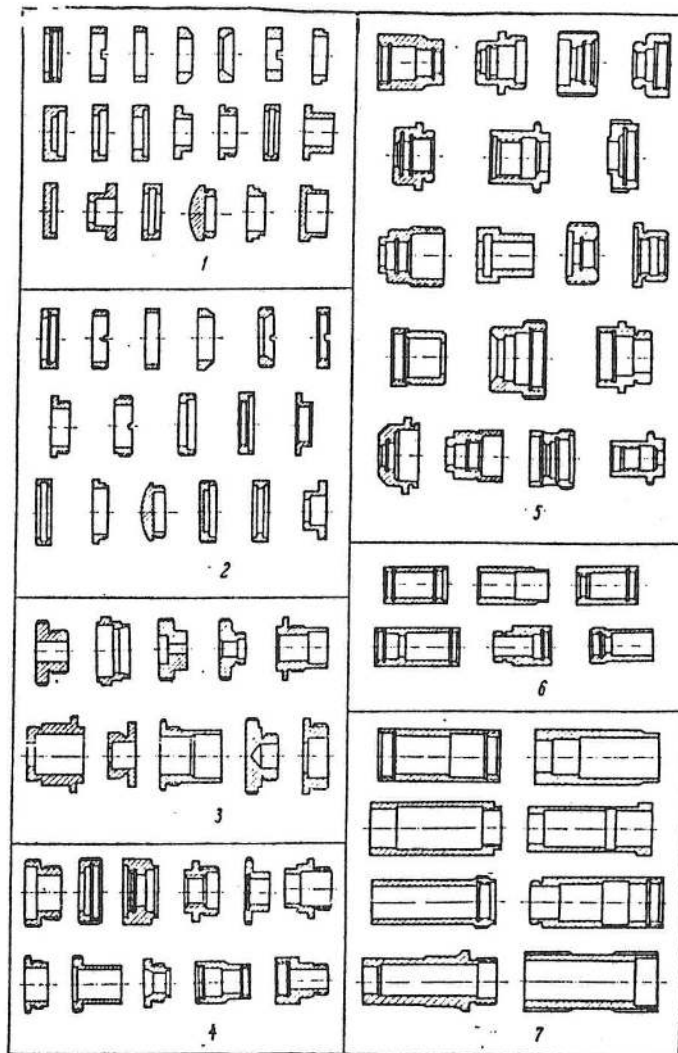
### 2.2.1 Odredjivanje proizvodnosti obradnih modula na osnovu reprezentata tehnološke grupe

Ako se posmatra tehnološka grupa uslova, slika 1, za obradu na modulu za struganje u okviru nekog FPS zbog racionalnije obrade podeli u sedam operacijskih grupa, tada se, na osnovu tehnološkog postupka reprezentata cele tehnološke grupe, ili reprezentata svake operacijske grupe, može odrediti proizvodnost u obliku |1|:

$$Q = \frac{\theta \cdot \gamma}{t_g + t_p + \sum t_s + \frac{\theta_{pr}}{n_s}} \cdot p \cdot n_{opt} \quad (11)$$

gde su:

- $\theta_{pr}$ ,  $n_s$  - srednje vrednosti ovih veličina za posmatranu tehnološku ili operacijsku grupu
- $p$  - broj modula koji rade paralelno



Slika 1. Operacijske grupe  $|4|$  za obradu na modulu za struganje FPS

Bild. 1. Operationsgruppen  $|4|$  für ein Modul des FPS für Drehbearbeitung

### 2.2.2. Odredjivanje proizvodnosti obradnih modula na osnovu svih delova grupe

Ako se na modulu obradjuje familija delova sa ukupno (n) različitih delova, za koje su projektovane i razradjene tehnologije, pri čemu u operaciji ima  $s_i$ -zahvata,  $A_i$ -reznih



alata sa  $t_{gi}$  - glavnim vremenima obrade,  $t_{pi}$  - pomoćnim vremenima i ako je  $z_i$  - veličina serije za pojedine delove iz grupe od (n) delova, tada se može napisati:

- Glavno vreme operacije:

$$t_g = t_{g1} \cdot S - \text{glavno vreme operacije}$$

gde je:

$$t_{g1} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \sum_{i=1}^n t_{gi} \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot z_i} - \text{srednje glavno vreme zahvata, (12)}$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n z_i} - \text{srednji broj zahvata operacije.}$$

- Pomoćno vreme operacije (13)

$$t_p = t_{p1} \cdot s + t_{p2} \cdot A + t_{pp},$$

gde je:

- $t_{p1}$  - srednje vreme promene koordinata po jednom zahvatu
- $t_{p2}$  - srednje vreme zamene alata po jednom alatu,
- A - srednji broj alata pri obradi jednog od (n) delova grupe,
- $t_{pp}$  - srednje pomoćno vreme za postavljanje obradka (baziranje, stezanje i skidanje)

Sopstveni vanciklusni gubici modula ( $\Sigma t_s$ ) po komadu mogu se izraziti preko sopstvenih gubitaka po jedinici vremena ( $\Sigma B_s$ ), kao merilo bezotkaznosti rada i remontne pogodnosti, preko

$$\Sigma B_s = \frac{\Sigma \theta_g}{\theta_m} \quad (14)$$

gde su:

$$\Sigma B_s = \omega \tau_B$$

gde su:

- $\omega$  - parametar toka otkaza, inverzna vrednost veličine srednjeg vremena bezotkaznog rada modula,
- $\tau_B$  - vreme zastoja pri otkazima

Vanciklusni organizacioni gubici vremena po komadu ( $\Sigma t_{org}$ ) ne mogu se funkcionalno povezati sa karakteristikama konkretne proizvodnje već proceniti iz opštih proizvodnih uslova.

Vanciklusni gubici za pripremu (medjupripremu) pri prelasku na obradu novog dela iz tehnološke grupe, mogu se izraziti po

$$\Sigma t_{pr} = \frac{\theta_{pr}}{z}$$

$$\Sigma t_{pr} = \frac{\theta_1 + \theta_2 \cdot S}{z}$$

gde su:

- $\theta_{pr}$  - srednje vreme pripreme obrade delova iz grupe,  
z - srednja veličina serije delova iz grupe,
- $\theta_1$  - deo srednjeg vremena pripreme koji ne zavisi od broja zahvata u operaciji (zamena i provera pribora, zamena nosioca programa i sl.),
- $\theta_2$  - deo srednjeg vremena pripreme vezan za broj zahvata operacije (zamena kompleta alata, obrada i kontrola probnih komada, korekcija alata i programa i slično).

Na osnovu toga opšti izraz za stvarnu proizvodnost modula je za korisni vremenski kapacitet  $(\theta \cdot \gamma) |1|$ :

$$Q = \frac{\theta \cdot \gamma}{t_{g1} \cdot S + t_{p1} \cdot S + t_{p2} \cdot A + t_{pp} + \Sigma t_s + \Sigma t_{org} + \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2 \cdot S)} \quad (16)$$

Izraz pokazuje da stvarna proizvodnost obradnih modula zavisi od tri grupe faktora:

- karakteristika familije (grupe) delova ( $t_{g1}$ ,  $S$ ,  $A$ )
- karakteristika mašina, alata, pribora, merila, manipulatora ( $t_{p1}$ ,  $t_{p2}$ ,  $t_{pp}$ ), pouzdanosti u radu ( $\Sigma t_s$ ), fleksibilnosti i mobilnosti u pripremi modula i sl.
- karakteristika proizvodnje: veličine serija, organizacioni gubici i slično.

Ako se radi o proračunu i analizi proizvodnosti modula i FPS pri njihovom projektovanju podaci se mogu u osnovi obezbediti iz:

- $t_{g1}$ ,  $S$ ,  $A$  - tehničko-tehnološke dokumentacije za delove grupe,
- $t_{p1}$ ,  $t_{p2}$ ,  $t_{pp}$  - analogije sa sličnim izvedenim rešenjima modula i njihovih elemenata,
- $\Sigma t_s$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\Sigma t_{prg}$  - procene iz analogije sa sličnim modulima, FPS/i proizvodnim procesima.

Kao što je rečeno, izloženi drugi, detaljni način proračuna i analize proizvodnosti, koji se može koristiti i pri projektovanju i eksploataciji modula i FPS-a, omogućuje

- uporednu analizu varijanti rešenja modula i njihovih elemenata, pri čemu se ocenjuju bitni faktori koji određuju proizvodnost, celishodnost primene i puteve usavršavanja varijanti modula,
- konkretnu inženjersku analizu važnijih faktora proizvodnosti i na osnovu toga procenu i prognozu rezervi povišenja proizvodnosti modula i FPS,

- utvrđjivanje zaključaka i preporuka u pogledu izbora i usavršavanja konstruktivnih rešenja

#### 4.0 ODREĐJIVANJE EKONOMIČNOSTI PRIMENE FPS

Kod odredjivanja opravdanosti primene rešenja FPS preko ekonomskih efekata, treba uporediti troškove obrade |2|, koji obuhvataju troškove angažovanih radnika (R), troškove amortizacije opreme (M), troškove angažovanog kapitala, troškove projektovanja i programiranja procesa obrade (A+B), sa odgovarajućim troškovima za drugo rešenje tehnološkog i obradnog sistema, odnosno:

$$U = (R+M+A+B)_I - (R+M+A+B)_{II} \quad (17)$$

Razvijeni varijantni sistem tehnoeekonomske optimizacije |2| omogućuje izračunavanje troškova za operacije obrade na modulima FPS, pa se kod prethodnih analiza ekonomičnosti rešenja procesa ili varijanti modula, ona može izvršiti na bazi reprezentata posmatrane grupe, u skladu sa izrazom (17).

Kod detaljne analiza ekonomskih efekata primene FPS treba istu sprovesti na bazi svih delova posmatrane grupe.

#### 4.0 ZAKLJUČCI

Proizvodnost FPS i njegovih modula, uključujući pouzdanost i tačnost obrade, vremena pripreme proizvodnje itd., treba u svakom slučaju ocenjivati konkretno uzimajući u obzir:

- karakteristike opreme u FPS i njene efikasnosti, pouzdanosti i mobilnosti,
- karakteristike familije (grupa) delova za obradu na FPS,
- serijnost proizvodnje delova.

U realizaciji projektovanja i osvajanja modula i FPS i njihovoj eksploataciji neophodno je primeniti metod detaljne analize proizvodnosti i utvrditi gubitak vremena za radne i pomoćne hodove, za sopstvene i druge vanciklusne gubitke zbog otkaza, za pripremu obrada i slično.

Kada se radi o FPS, navedena detaljna analiza ili analiza na bazi detaljno projektovanih tehnoloških i proizvodnih procesa, daje pouzdane podloge za ostvarivanje tehnoloških rešenja, koja će obezbediti uravnoteženje vremena i stepena iskorišćenja pojedinih modula, skraćivanja tehnološkog i proizvodnog ciklusa i na taj način obezbedjenje neophodnih ekonomskih efekata.

## 5.0 LITERATURA

1. Borisov V.B., i dr.: Spravočnik tehnologa - mašinstrojenja, Tom 1, Mašinstrojenje, Moskva, 1985.
2. Todić V.: Varijantni automatizovani sistemi tehnoekonomske optimizacije tehnoloških procesa obrade, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1987.
3. Banjac D., Todić V., Rodić M., i dr.: Automatizacija projektovanja grupnih linija obrade, istraživačka tema, čiju je izradu finansirao SIZ NR Vojvodine, IPM, FTN, N. Sad, 1981.
4. Mitrofanov P., S.: Naučna organizacija mašinstroiteljnova proizvodstva, Mašinstrojenje, Leningrad, 1978.