

---

## TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE INNOVATED TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF WAGONS BRAKE TRIANGLE

**Miloš Ristić**

Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Niš Department, Serbia,  
[milos.ristic@akademijanis.edu.rs](mailto:milos.ristic@akademijanis.edu.rs)

**Biljana Milutinović**

Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Niš Department, Serbia,  
[biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs](mailto:biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs)

**Stefan Mihajlović**

Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Niš Department, Serbia,  
[stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs](mailto:stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs)

**Abstract:** Increasing profits by reducing costs during product development and its production and quality increasing are challenges that companies face every day in their operations. The aspiration of modern production is to achieve an effect similar to those in mass production (or at least in large series production) even on extremely small series of products, even on personalized products. Techno-economic analysis in modern companies is an integral part of the company's modern information system. This paper presents a techno-economic analysis of innovative technologies for the production of a wagons triangle brake, a product that is an integral part of the brake system of freight and passenger wagons of the older generation: casting and additive technologies. Given that there are currently available different production technologies that can be applied, one of the criteria for choosing a production technology is its profitability. The choice of solution, whether the product will be made by casting (or welding) or additive technology, is mostly influenced by the size of the series. In the case of the cast part, the so-called constant costs (model, molds for cores), but variable costs are therefore lower, i.e., costs proportional to the number of manufactured pieces. Additive technologies that can be used to make such parts can use numerous methods, three of which stand out due to their application in practice. These are stereolithography (STL), extruded material (EBM) and direct metal laser sintering (DMLS). Machine cost is the main factor for stereolithography and melt extrusion, while material cost is the main factor for laser sintering. The price of additively manufactured parts is calculated according to the cost model that follows activities, where each cost is linked to a specific activity. The analysis indicates that additive technologies are not such a cheap process, especially in serial production, but they are excellent in individual production or during rapid prototyping, and the price of the product obtained by additive technology is the same for each piece. Also, cast parts have high initial costs (casting molds, etc.), but castings are relatively cheap, which leads to a drop in the total price as the series increases. Both technologies have limitations in terms of the materials that can be used in casting or additive manufacturing processes. Based on the techno-economic analysis, it can be concluded, also, that certain activities require the engagement of other companies that should be entrusted with certain business activities or tasks - in this way, the company's resources are saved and employed on other more expedient activities that will bring greater benefits, and the system work is not disturbed or disturbed. The advantage of casting technology over additive technologies is already profitable for series over 42 pieces, and compared to forging, the casting of this part of the product is 2.5 times cheaper.

**Keywords:** Techno-economic analysis, triangular pole, casting, additive technologies.

## TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA INOVIRANE TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJU TROUGAONE MOTKE ZA VAGONE

**Miloš Ristić**

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Niš, Srbija, [milos.ristic@akademijanis.edu.rs](mailto:milos.ristic@akademijanis.edu.rs)

**Biljana Milutinović**

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Niš, Srbija,  
[biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs](mailto:biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs)

**Stefan Mihajlović**

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Niš, Srbija,  
[stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs](mailto:stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs)

**Rezime:** Povećanje profita smanjenjem troškova tokom razvoja proizvoda i proizvodnje i povećanje kvaliteta su izazovi sa kojima se kompanije svakodnevno susreću u svom poslovanju. Težnja savremene proizvodnje je da i na izrazito malim serijama proizvoda, pa i na personalizovanim proizvodima ostvari efekat sličan onima u masovnoj proizvodnji (ili bar u velikoj serijskoj proizvodnji). Tehno-ekonomska analiza u savremnim preduzećima je integralni deo savremenog informacionog sistema kompanije. U ovom radu predstavljena je tehno-ekonomska analiza inoviranih tehnologija za proizvodnju trougaone motke za vagone, proizvoda koji je sastavni deo kočionog sistema teretnih ali i putničkih vagona starije generacije, izrađenih livenjem i aditivnim tehnologijama. S obzirom da su trenutno dostupne različite proizvodne tehnologije koje je moguće primeniti, jedan od kriterijuma za izbor tehnologije proizvodnje je i njena isplativost. Na izbor rešenja da li će se proizvod izraditi livenjem (ili zavarivanjem) ili aditivnom tehnologijom najviše utiče veličina serije. Kod livenog dela veći su tzv. konstantni troškovi (model, kalupi za jezgra), ali su zato manji varijabilni troškovi, tj. troškovi srazmerni broju izrađenih komada. Aditivne tehnologije kojima se mogu izrađivati ovakvi delovi imaju brojne metode od kojih se tri ističu svojom primenom u praksi. To su stereolitografija (STL), ekstruzija istopljenog materijala (EBM) i direktno lasersko sinterovanje metala (DMLS). Cena mašine je glavni faktor za stereolitografiju i ekstruziju istopljenog materijala, dok je cena materijala glavni faktor kod laserskog sinterovanja. Cena aditivno proizvedenih delova izračunata je po modelu troškova koji prati aktivnosti, gde se svaki trošak vezuje za određenu aktivnost. Analiza ukazuje da aditivne tehnologije nisu tako jeftin postupak, posebno u serijskoj proizvodnji, ali su odlične u pojedinačnoj proizvodnji ili tokom brze izrade prototipova (rapid prototyping), cena proizvoda dobijenog aditivnom tehnologijom ista za svaki komad. Sa druge strane, liveni delovi imaju visoke inicijalne troškove (izrada kalupa za livenje i sl.) ali su odlivci relativno jeftini što dovodi do pada ukupne cene sa porastom serije. Obe tehnologije imaju ograničenja u pogledu materijala koji se mogu koristiti u procesima livenja odnosno aditivne proizvodnje. Na osnovu izvršene tehno-ekonomske analize takođe se može zaključiti da je za određene aktivnosti potrebno angažovanje drugih kompanija kojima se treba poveriti određena poslovne aktivnosti ili zadaci – na taj način se resursi kompanije štede i upošljavaju na druge svrsishodnije aktivnosti koje će doneti veće benefite, a sistem rada se ne narušava i ne remeti. Prednost tehnologije livenjem nad aditivnim tehnologijama je isplativa već za serije preko 42 komada (kada je reč o proizvodima od metala poput čelika, što je ovde slučaj), a u odnosu na kovanje, postupak livenja ovog delova proizvoda jeftiniji je za 2,5 puta.

**Ključne reči:** Tehno-ekonomska analiza, trougaona motka, livenje, aditivne tehnologije.

## 1. UVOD

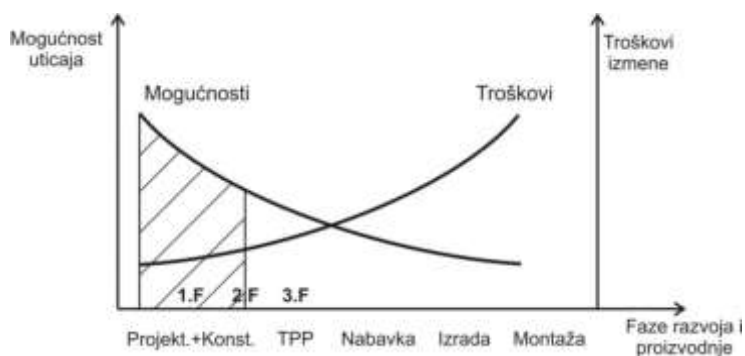
Izazovi funkcionalnog razvoja proizvoda i analize tehnološkičnosti proizvoda, kao i mogućnosti projektovanja za proizvodnju i inženjerstva znanja predstavljaju svakodnevnu sliku na svetskom tržištu, gde kompanije nastoje da povećaju profit smanjenjem troškova tokom razvoja proizvoda i povećanjem kvaliteta. Integrisanim razvojem proizvoda i simultanim inženjerstvom obezbeđuje se da multidisciplinarni timovi stručnjaka rade paralelno tokom razvoja proizvoda. Na taj način proizvod biva sagledan iz svih uglova životnog ciklusa proizvoda (potrebe kupaca, razvoj konstrukcije, proizvodnja, plasiranje proizvoda, održavanje i recikliranje, itd.) (Anderson, 2020).

Težnja savremene proizvodnje je da i na izrazito malim serijama proizvoda, pa i na personalizovanim proizvodima ostvari efekat sličan onima u masovnoj proizvodnji (ili bar u velikoj serijskoj proizvodnji). To se, posmatrano van proizvodnog pogona, može opisati na sledeći način: Ulazna sirovina u formi materijala se oblikuje u proizvod i time se njegova ulazna vrednost višestruko uvećava. Na taj način se ostvaruje profit. Na prodajnu cenu utiču brojni faktori, od čega troškovi proizvodnje imaju najveći udeo od približno 40%. Troškovi materijala učestvuju direktno u trajnim troškovima proizvodnje u širokom rasponu od 20 do 80% zavisno od vrste proizvoda i količine (često oko 50% kod većih količina) (Kendal & Creen, 2007). Tada treba voditi računa o troškovima proizvoda kao celine a ne samo materijala, pa se mora uzeti u obzir i rad kao i opšti troškovi proizvodnje.

Mogućnost konstruktora je da npr. smanji masu izborom drugog materijala, ali je tada nužno svakako valorizovati troškove materijala i izrade. Izabrani materijal mora zadovoljiti mehaničke ali i druge osobine materijala. U ovom delu konstruktora mogu pomoći softveri za izbor materijala koji sagledava odnos čvrstoće–gustine i modula elastičnosti–gustine i daje preporuke.

Analiza tehnološkičnosti predstavlja jednu vrstu stalnog izazova. Sa jedne strane inženjeri konstruktora razvijaju proizvod koji inženjeri proizvodnje treba da izrade. U cilju postizanja što kvalitetnijih, inovativnih i ekonomski isplativih rešenja potrebno je, da se ostvari dobra saradnja između inženjera konstruktora i inženjera proizvodnje još u fazi projektovanja i konstruisanja proizvoda. Razlog tome leži u činjenici da u početnim fazama razvoja proizvoda je moguće najlakše vršiti izmene, modifikacije, provere, poboljšanja, analize, simulacije i verifikacije (Ristić i dr., 2018). Kako proces tehnološke pripreme, a zatim i nabavke i proizvodnje kreće, mogućnost tih izmena se smanjuje a troškovi izmena postaju veoma visoki (slika 1). Ova kolaboracija nije ograničena samo na inženjere već je preko potrebna pravovremenim uključivanjem celokupnog poslovnog sistema (nabavka, kontrola, servis, održavanje, itd.).

**Slika 1. Mogućnosti i troškovi izmena tokom razvoja i proizvodnje.**

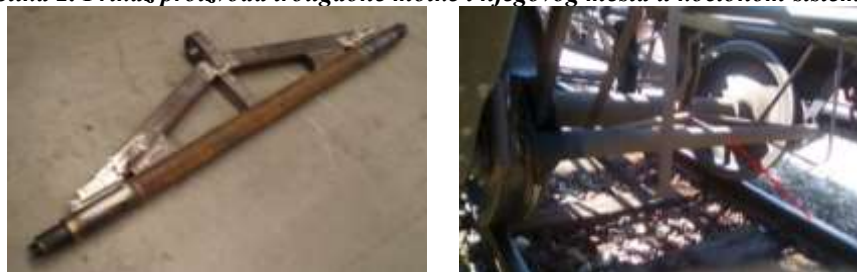


Tehno-ekonomska analiza u savremenim preduzećima je integralni deo savremenog informacionog sistema kompanije. Kao metod unapređenja poslovanja kompanija posebno se ističe predlog mera kojima se savetuje primena koncepta konkurentnog inženjersva i da simultanim projektovanjem međusobno dele informacije i znanja, ali i odgovornosti. Takvom kolaboracijom i tzv. „outsourcing“ pristupom značajno se smanjuju troškovi pre svega u vremenu ali i u novcu, pri čemu se rad istovremeno odvija na različitim lokacijama.

## 2. MATERIJALI I METODE

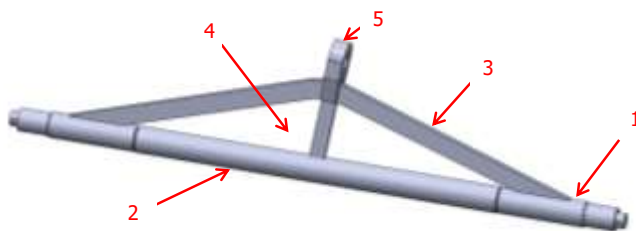
MING Kovačnica je preduzeće za proizvodnju, inženjering, kovanje i mašinsku obradu za industrije železnice, poljoprivrede, rudarstva i hidraulike. Posebnu pažnju posvećuju železničkom programu. Jedan od proizvoda koji se nalazi u njihovom proizvodnom programu je i trougaona motka, proizvod koji je sastavni deo kočionog sistema teretnih ali i putničkih vagona starije generacije (slika 2).

**Slika 2. Prikaz proizvoda trougaone motke i njegovog mesta u kočionom sistemu.**



Trougaona motka se sastoji od pet različitih mašinskih delova, prikazanih na slici 3.

**Slika 3. Model sklopa trougaone motke sa pozicijama: 1- rukavac, 2- cev, 3- profil, 4- element za vezu (ukrućenje), 5- ušica.**



Sastavni delovi trokrate motke izrađeni su različitim postupcima mašinske obrade, pri čemu su delovi i termički obrađivani. Njihovo spajanje u završnu konstrukciju, vrši se zavarivanjem i to elektrolučnim postupkom. Na kraju tehnološkog procesa vrši se površinska zaštita izrađenog dela. Postupak mašinske obrade započinje izradom rukavca (2 kom) odsecanjem na testeri nakon čega se deo obrađuje na strugu (uzdužno i poprečno struganje sa obaranjem ivica) nakon čega se vrši bušenje. Takav deo spreman je za termičku obradu cementacijom i kaljenjem. Cev se odseca na testeri na traženu dimenziju, nakon čega se vrši njena naknadna obrada finim struganjem. Sličan postupak je i za izradu profila gde se nakon njegovog sečenja vrši obrada glodanjem. Stabilnost konstrukciji daje element za vezu – ukrućenje. On se nakon sečenja priprema, obrađuje glodanjem. Poslednja pozicija je uvo ili ušica koja se

nakon sečenja priprema pomoću lasera ili plazme obrađuje glodanjem na obradnom centru. U fazi montaže, ovi elementi se povezuju ručnim elektrolučnim postupkom zavarivanja nakon čega se vrši površinska zaštita proizvoda nanošenjem prajmera i završne boje. Postojeći tehnološki postupak izrade trougaone motke zahteva angažovanje većeg broja radnika sa više operacija, što u uslovima savremenog poslovanja predstavlja problem i dovodi do smanjene konkurentnosti preduzeća kao i do „zamora“ same kompanije.

U cilju podizanja konkurentnosti proizvoda, potrebno je inovirati tehnologiju proizvodnje ovog proizvoda. S obzirom da su trenutno dostupne različite proizvodne tehnologije koje je moguće primeniti, jedan od kriterijuma za izbor tehnologije proizvodnje je i njena isplativost. Zbog toga je neophodno izvršiti tehno-ekonomsku analizu.

### 3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA TROUGAONE MOTKE

Kako bi za ovaj proizvod izvršili tehno-ekonomsku analizu, razmatra se uporedna isplativost tehnoloških postupaka izrade identične konstrukcije na dva načina: aditivnom tehnologijom 3D štampe i livenjem u kalupima (Đekić i dr., 2022).

Na izbor rešenja da li će se proizvod izraditi livenjem (ili zavarivanjem) ili aditivnom tehnologijom najviše utiče veličina serije. Kod livenog dela veći su tzv. konstantni troškovi (model, kalupi za jezgra), ali su zato manji varijabilni troškovi, tj. troškovi srazmerni broju izrađenih komada. Kod livenja u pesku, ovi troškovi su znatno manji. U osnovi, liveni delovi se isplate samo kada se izrađuje veći broj komada, dok se kod pojedinačne proizvodnje primenjuju tehnike 3D štampe. Da li će se proizvođač opredeliti za liven (ili zavaren) deo, ili kombinovan ili „odštampan“ deo zavisi i od raspoloživosti materijala i alata u fabrici, odnosno svih elemenata koji detaljno defenišu tehnologiju izrade i finalnu cenu proizvoda.

Pri konstruisanju livenih delova treba težiti obliku koji ne pogoduje stvaranju livačkih grešaka (vitoperenje, prskotine, šupljine), a istovremeno je tehnologičan s obzirom na izradu modela i kalupa, kao i obradu odlivaka skidanjem strugotine. Takođe je važno da se pri konstruisanju vodi računa o debljini zidova livenih kućišta. Prilikom ulivanja rastopljenog materijala u kalup dolazi do hlađenja ulivene mase, zatim njenog očvršćavanja i daljeg hlađenja do temperature okoline. Prilikom hlađenja, ulivena masa se skuplja, a procentualna veličina sakupljana zavisi od vrste materijala. Usled nejednake brzine očvršćavanja i hlađenja ulivene mase dolazi do ometanog skupljanja pojedinih delova odlivka i pojave grešaka pri livenju. Zidovi koji ranije očvrstnu ometaju sakupljanje zidova koji kasnije očvršćavaju. Kao posledica sakupljanja rastopljenog metala pri hlađenju mogu se javiti šupljine u unutrašnjim slojevima, zatim prskotine u spoljašnjim slojevima (pa čak i prskanje zidova), kao i unutrašnji (zaostali) naponi u odlivku i deformacije odlivka. Čelični liv ima jače sakupljanje, pa je više sklon ovim pojavama nego sivi liv. Osim toga, tokom livenja, slabije popunjava kalup zbog lošije livkosti. U konstrukcionom i tehnološkom pogledu – sivi liv je definitivno materijal koji je u prednosti nad čeličnim livom.

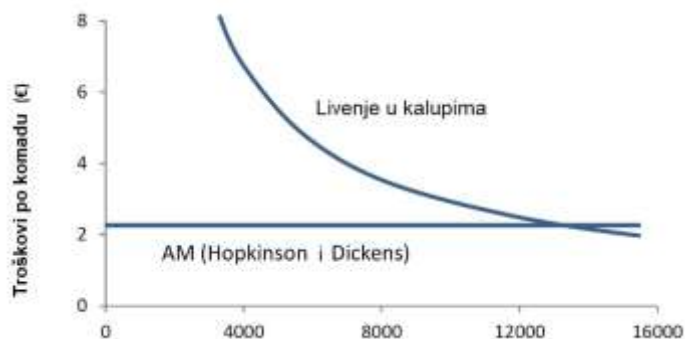
Tehnologija izrade livenjem ima brojna ograničenja koja moraju biti uzeta u obzir kao što su: odgovarajući radijusi zaobljenja, izbegavanje oštih ivica, postavljanje rebara za ojačavanje, itd. Za razliku od njih, aditivne tehnologija gotovo da nemaju tehnoloških ograničenja, naročito ne u pogledu geometrije.

Aditivne tehnologije (kojima se mogu izrađivati ovakvi delovi) imaju metode od kojih se tri ističu svojom primenom u praksi. To su stereolitografija (STL), ekstruzija istopljenog materijala (EBM) i direktno lasersko sinterovanje metala (DMLS) (Đekić i dr., 2021).

Kada se ustanovi da je deo tehnologičan, tj. da postoji makar jedan operativni plan kojim se proizvod može izraditi, ocenjuje se stepen primenjivosti tehnologije. U toj analizi, ekonomski faktori imaju vodeću odluku pri odlučivanju i izboru tehnološkog postupka.

Cena mašine je glavni faktor za stereolitografiju i ekstruziju istopljenog materijala, dok je cena materijala glavni faktor kod laserskog sinterovanja. Hopkinson i Dickens (2003) procenjuju godišnju cenu mašine po proizvedenom delu, kada se smatra da mašina u potpunosti više nije upotrebljiva nakon osam godina; odnosno, to je zbir troškova amortizacije po godini (računato kao cena mašine i pomoćne opreme podeljeno sa 8) i cena održavanja mašine po godini podeljena obimom proizvodnje. Rezultat je cena mašine po delu, koja je konstantna tokom vremena, kako je prikazano na slici 4, takođe se može videti poređenje sa livenjem pod pritiskom.

Slika 4. Cena proizvoda u slučaju aditivne proizvodnje i livenja u kalupima, zavisno od količine proizvoda.



Cena aditivno proizvedenih delova izračunata je po metodologiji Ruffo i saradnici (2006) koristeći model troškova koji prati aktivnosti, gde se svaki trošak vezuje za određenu aktivnost. Krajnji zaključak ukazuje da aditivne tehnologije nisu tako jeftin postupak. Bar ne u industriji složenih i kvalitetnih proizvoda koji moraju da zadovolje visoke pritiske, da imaju veliku krutost i da budu dinamički izdrživi u dugom vremenskom interval (Douglas i dr., 2014).

Analiza je ukazala da cena proizvoda dobijenog aditivnom tehnologijom je ista za svaki komad. Takođe, liveni delovi imaju visoke inicijalne troškve (izrada kalupa za livenje i sl.) ali su odlivci relativno jeftini što dovodi do pada ukupne cene sa porastom serije (Zaman & Rivvette, 2018).

Indirektni troškovi proizvodnje su važan segment aditivne proizvodnje. Njihov uticaj po radnom satu prikazan je tabelom 1.

Tabela 1. Indirektni troškovi proizvodnje po satu.

Aktivnost	Cena (€/sat)
Proizvodni rad / po radnom satu mašine	7.99
Troškovi mašine	14.78
Infrastrukturni i drugi troškovi	5.90
Administrativni troškovi	0.41

Postoji tri različita vremena koja se računaju u predloženom modelu:

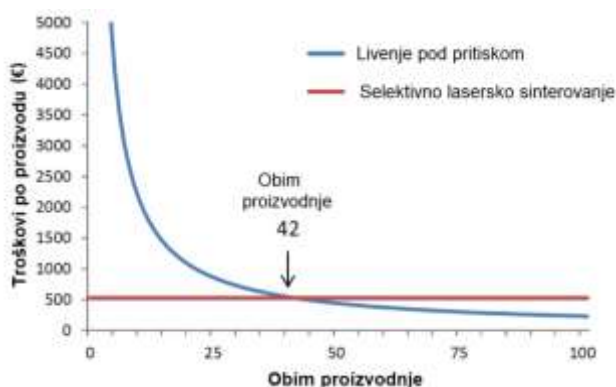
- 1) vreme laserskog skeniranja oblasti i njegove granice kako bi se sinterovao;
- 2) vreme za dodavanje slojeva praha i
- 3) vreme da se zagreje podloga pre skeniranja i vreme za postepeno hlađenje nakon skeniranja, dodavanje slojeva praha ili samo čekanje trenutka da se postigne prava temperatura.

Zbir ovih vremena je vreme izrade ( $T$ ). Svaki put kada se nešto od ovoga doda, prosečna cena raste nepravilno od utroška sirovina materijala i vremena obrade. Na 1600 delova, cena ručice je procenjena na 2.76 € po delu u poređenju sa Hopkinson i Dickens (2003) gde je 2.20 € za lasersko sinterovanje. Ruffo i saradnici (2006) su sproveli istraživanje gde je neiskorišćen materijal recikliran. U ovom istraživanju, cena po jedinici bila je 0.86 €.

Uzimajući kao referentan primer istraživanja koje su vodili Atzeni i Salmi (2012) pokazali su da je cena obrade po sklopu za sklop stajnog trapa za 1:5 model P180 Avant II by Piaggio Aero Industries S.p.A. (odnosno cena mašine po sklopu), sa procenjenih pet godina radnog veka, bila je 472.50 € za aditivni proizvodni proces selektivnog laserskog sinterovanja u poređenju sa livenjem pod visokim pritiskom, cena kalupa i cena obrade po delu bile su 0.26 € + 21000 €/N, gde je N broj proizvedenih delova.

Za proizvodnju koja je manja od 42, selektivno lasersko sinterovanje je bilo ekonomičnije nego tradicionalni proces livenja pod visokim pritiskom (slika 5).

**Slika 5. Prelomna tačka obima proizvodnje u slučaju livenja pod pritiskom i selektivnog laserskog sinterovanja.**



Cena „približno finalnog oblika“ korišćenjem mašinske obrade bila je procenjena na sledeći način (Mahadik & Masel, 2018):

$$Cs=(V*\rho*Cf)*(V-v)*\rho*Cm$$

Gde je:  $Cs$  – cena obezbeđivanja „približno finalnog oblika“ korišćenjem mašinske obrade,  $V$  - zapremina originalnog poluproizvoda (priprema),  $\rho$  - gustina materijala,  $Cf$  - cena materijala kovanog prstena,  $v$  - zapremina komponenti,  $Cm$  - cena izrade.

#### 4. DISKUSIJA

Na osnovu dobijenih rezultata zaključuje se da je aditivna proizvodnja isplativa u stavkama gde je stepen iskorišćenja materijala u odnosu 12:1 u poređenju sa konvencionalnim obradama gde su odnosi iskorišćenja materijala niži. Važno je napomenuti da je stepen iskorišćenja materijala odnos izračunat kao zapremina poluproizvoda ( $V$ ) podeljena zapreminom komponente ( $v$ ). Generalni zaključak je da su aditivne proizvodne tehnike za komponente koje imaju visok stepen iskorišćenja materijala, imaju složen oblik koji zahteva dosta obrade, imaju visoke materijalne troškove i sporo se izrađuju.

Brojni faktori komplikuju smanjivanje troškova aditivne proizvodnje, uključujući orijentaciju izrade, sloj nanošenja, vreme izrade, utrošak energije, dizajn proizvoda, i rad. Loša orijentacija dela u komori za izradu može rezultirati povećanjem utroška energije i do 160%. Pored toga, puna upotreba komore za izradu značajno smanjuje cenu po delu. Svaka od ovih stavki se mora razmotriti kod cene aditivne proizvodnje, što otežava i komplikuje smanjenje troškova. Ove stavke, verovatno, usporavaju usvajanje ove tehnologije, zato što sve to zahteva dodatna znanja.

Na kraju, sasvim je sigurno da primena aditivnih tehnologija zasnovanih na metalnim materijalima nije isplativa ako se radi o većim serijama. Čak i u najpribližnijem i najpovoljnijem odnosu, cena isplativosti je dostigla prelomnu tačku na 42 komada. Za svaku veću količinu, livenje (sa završnim obradama) je isplativija i još uvek tehnički prihvatljivija tehnologija (u smislu mehaničkih karakteristika).

#### 5. ZAKLJUČAK

Tehno-ekonomska analiza proizvoda i njegovih komponenti ima za cilj da odgovori pre svega na pitanje da li je proizvod moguće izraditi. Ukoliko je odgovor potvrđan, traga se za optimalnim planom i tehnološkim postupkom izrade. U ovom radu, za potrebe kompanije MING Kovačnica vršena je ova analiza na primeru mašinskog dela trougaona motka koji je važan segment sklopa kočionog sistema šinskih vozila. Na osnovu izvršene tehno-ekonomske analize može se zaključiti da je za određene aktivnosti potrebno angažovanje drugih kompanija kojima se treba poveriti određena poslovne aktivnosti ili zadaci – na taj način se resursi kompanije štede i upošljavaju na druge svrsishodnije aktivnosti koje će doneti veće benefite, a sistem rada se ne narušava i ne remeti. Prednost tehnologije livenjem nad aditivnim tehnologijama je isplativa već za serije preko 42 komada, a u odnosu na kovanje livenje ovog delova proizvoda jeftinije za 2,5 puta. Takođe, završnu mašinsku obradu treba prepustiti manjim kompanijama – na taj način se čuvaju resursi kompanije i skupe mašine čiji radni sat nije isplativ za izradu jednostavnijih delova. Prednosti primene CNC tehnologije i nužnost njihove primene je u pogledu ostvarivanja tačnosti i kvaliteta izrade.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat projekta „Simultano projektovanje inoviranog proizvoda za unapređenje konkurentnosti preduzeća“, programa lokalnog ekonomskog razvoja Grada Niša za 2019. godinu - mera unapređenje saradnje privrede i naučno – obrazovnih institucija.

#### REFERENCE

- Anderson, D. M. (2020). *Design for Manufacturability, 2<sup>nd</sup> Edition*. Routledge.
- Atzeni, E., & Salmi, A. (2012). Economics of Additive Manufacturing for End-Usable Metal Parts. *International Journal of Advanced manufacturing Technology*, 62 (9), 1147-1155.
- Douglas, S., Gilbert, T., & Gilbert, S. (2014). Costs and cost effectiveness of additive manufacturing, U.S. Department of Commerce-National Institute of Standards and Technology.
- Đekić, P., Milutinović, B., Ristić, M., Pavlović, M., & Nikolić, M. (2021). Improvement of brake triangle through application of reverse engineering and rapid prototyping, 15th International Conference on Accomplishment in Mechanical Engineering, Banja Luka, 81-88.
- Đekić, P., Milutinović, B., & Ristić, M. (2022). Assessment of the Optimal Manufacturing Technology of the Brake Triangle Sleeve Casting Model Prototype using Multi-criteria Analysis, 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 221-225.
- Hopkinson, N. & Dickens, P. M. (2003). Analysis of Rapid Manufacturing – Using Layer Manufacturing Processes for Production. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(C1), 31-39.
- Kendal, S. L. & Green, M. (2007). *An Introduction to Knowledge Engineering. In: An Introduction to Knowledge Engineering*. Springer, 1-25.
- Mahadik, A., & Masel, D. (2018). Implementation of Additive Manufacturing Cost Estimation Tool (AMCET) Using Break-down Approach, 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), Columbus, USA, 70–77.
- Ristić, M., Manić, M., Kosanović, M., & Pavlović, M. (2018). Parametrically Designed Product Manufacturability Analysis Using Knowledge Based System, 13<sup>th</sup> International Scientific Conference MMA 2018 – Flexible Technologies, Novi Sad, Serbia, 207-210.
- Ruffo, M., Tuck, C., & Hague, R. (2006). Cost Estimation for Rapid Manufacturing-Laser Sintering Production for Low to Medium Volumes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220 (9), 1417–1427.
- Zaman, U., & Rivvette, M. (2018). Integrated product-process design: Material and manufacturing process selection for additive manufacturing using multi-criteria decision making, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51, 169-180.