

## **UVOĐENJE PRINCIPA „INDUSTRY 4.0“ U PROIZVODNI PROCES MIKRO-PREDUZEĆA – STUDIJA SLUČAJA**

Igor Fürstner, László Gogolak, Árpád Pletikoszity

Visoka tehnička škola strukovnih studija u Subotici, Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, Srbija,  
ifurst@vts.su.ac.rs

### **SAŽETAK**

Današnji razvoj tehnologije omogućava primenu principa razvoja proizvodnih procesa definisanih ciljevima Industry 4.0, odnosno prilagođavanje postojećih automatizovanih proizvodnih procesa razvijenih po principima Industry 3.0. Postavlja se pitanje, da li u slučaju mikro preduzeća, odnosno zanatskih radnji, kod kojih proizvodni proces u najboljem slučaju može da bude opisan po principima Industry 2.0, poslovanje može na održiv način da se transformiše u skladu sa aktuelnim trendovima, odnosno da bude u skladu sa naznakama sledeće industrijske revolucije, koja će se po nekim predviđanjima u puno većoj meri osloniti na interakciju ljudi i industrijskog okruženja. Predstavljeni rad prikazuje studiju slučaja transformacije ručno-mehanizovanog proizvodnog procesa mikro-preduzeća koje se bavi proizvodnjom ukrasnih pločica-medaljona, u proizvodni proces koji odgovara trendovima definisanim po principima Industry 4.0, te izvedene zaključke vezane za moguće trendove razvoja kod ovakvog tipa preduzeća.

**Ključne riječi:** Industry 4.0, Razvoj proizvoda.

### **UVOD**

Cilj svakog preduzeća je da zauzme vodeću poziciju na tržištu. Da bi se ovo omogućilo, potrebno je u poslovanje preduzeća inkorporirati najnovija tehnološka i naučna dostignuća. Današnji razvoj tehnologije po principima definisanim u okviru Industry 4.0, predstavlja osnovu i smer razvoja preduzeća (Wichmann, Eisenbart, & Kilian, 2019; Platforma Industrie 4.0, 2021).

Predstavljeni rad prikazuje studiju slučaja transformacije ručno- mehanizovanog proizvodnog procesa mikro-preduzeća koje se bavi proizvodnjom ukrasnih pločica-medaljona, u proizvodni proces koji odgovara trendovima definisanim po principima Industry 4.0, te izvedene zaključke vezane za moguće trendove razvoja kod ovakvog tipa preduzeća.

Da bi se proces transformacije prikazao na jasan i razumljiv način, sama struktura proizvodnog procesa, odnosno koraci razvoja prikazanog proizvodnog procesa, dati su po principima integralnog razvoja proizvoda (Magrab, Gupta, McCluskey, & Sandborn, 2009).

Struktura proizvodnog procesa prikazana je primenom „Reference Architectural Model Industrie 4.0 – RAMI 4.0“ (Koschnick, 2015).

Prilikom izrade studije slučaja, autori su se rukovodili smernicama definisanim u literaturi, te svojim višegodišnjim iskustvom u oblasti razvoja proizvoda po principima Industry 4.0 (Gogolak, & Fürstner, 2021).

### **OPIS SADAŠNJEG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA**

U preduzeću se trenutno tehnološki proces odvija ručno, uz primenu uređaja za brušenje odnosno poliranje (Slika 1). Sam tehnološki proces se odvija tako, što radnik rukom uzima neobrađeni medaljon, i u zavisnosti od njegovog oblika, (medaljoni su pločasti, različitih oblika i skladište se rinfuzno), postavlja ga u odgovarajući drveni alat, koji ima udubljenje koje odgovara obliku medaljona, ili ga drži u ruci. Nakon toga, medaljon se ručno prislanja na brusnu ploču,

odnosno ploču za poliranje, i uz odgovarajući pritisak (sila nije određena, već radnik na osnovu iskustva jače ili slabije pritiska medaljon uz ploču) i blago relativno kretanje u odnosu na brusnu ploču, vrši brušenje, odnosno poliranje medaljona, u trajanju od oko 3 minuta. Nakon toga, radnik vrši proveru, da li je brušenje odnosno poliranje izvršeno u odgovarajućoj meri, i po potrebi nastavlja postupak, dok ne proceni da je medaljon u dovoljnoj meri obrađen s obe strane.



Slika 1. Trenutno stanje proizvodnog procesa.  
Figure 1. Current status of the production process.

### **DEFINISANJE FUNKCIONALNIH ZAHTEVA NOVOG REŠENJA**

Da bi se postojeći postupak brušenja i poliranja ukrasnih pločastih medaljona razvio u skladu sa trendovima definisanim po Industry 4.0, potrebno je definisati funkcionalne zahteve uređaja koji se razvija.

Osnovni funkcionalni zahtev jeste omogućavanje brušenja, odnosno poliranja ravnih površina ukrasnih pločica, odnosno pločastih medaljona. Definisani funkcionalni zahtevi, prikazani su tabelarno (Tabela 1).

Tabela 1. Funkcionalni zahtevi.  
Table1. Functional requirements.

Zahtev	Uslov	Vrednost	Jedinica
Koristiti standardnu brusilicu koja stoji na raspolaganju u preduzeću			
Uređaj mora predstavljati jedinstvenu celinu			
Obezbediti odgovarajuće napajanje uređaja naizmeničnom električnom energijom iz mreže	Monofazni priključak maksimum	10	A
Obezbediti skladištenje neobrušenih i obrušenih pločica	Minimum	50	komada
Obezbediti direktan pristup rukom skladištu neobrušenih i obrušenih pločica	Direktno bez demontaže drugih delova		
Obezbediti pouzdano prihvatanje pločica			
Obezbediti pouzdano pozicioniranje pločica			
Omogućiti automatizovano brušenje serije različitih pločica	Minimum	50	komada
Obezbediti brušenje pločica različitih gabaritnih dimenzija	Maksimalni gabarit u prečniku	60	mm
Obezbediti brušenje pločica različitih debljina	Raspon	0.6 - 1.2	mm
Omogućiti ravnomernu obradu površine pločice	Maksimalno odstupanje od paralelnosti površina	0.1	stepen
Obezbediti automatizovano podešavanje broja obrtaja brusne ploče	Raspon	0 – 3000	o/min
Obezbediti ravnomernu promenu brzine	Konstantno ubzanje	10	o/s2
Obezbediti promenu ubrzanja brusne ploče pri kretanju i zaustavljanju bez trzaja	Jerk	1	o/s3
Omogućiti promenu dužine trajanja brušenja	Raspon	10 – 300	s
Omogućiti promenu sile pritiska pločice na brusnu ploču	Raspon	0 – 30	N
Obezbediti automatsko održavanje sile pritiska na brusnu ploču	+/-	0.1	N
Omogućiti prepoznavanje pločice iz baze pločica			
Omogućiti automatsko podešavanje dužine trajanja brušenja u funkciji vrste pločice			
Omogućiti automatsko podešavanje broja obrtaja brusne ploče u funkciji vrste pločice			
Omogućiti automatsko podešavanje sile pritiska pločice na brusnu ploču u funkciji vrste pločice			
Omogućiti automatsku dijagnostiku izbrušenosti površine			
Obezbediti automatizovano brušenje obe strane pločice			
Obezbediti automatizovano praćenje statusa obrušenih pločica			
Obezbediti ravnomerno trošenje brusne ploče			
Obezbediti mogućnost primene SHIP-a (preko standardne brusilice koja stoji na raspolaganju u preduzeću)			
Omogućiti odvođenje SHIP-a			
Obezbediti slobodan pristup brusnoj ploči	Direktno bez demontaže drugih delova		
Zadovoljiti uobičajene bezbednosne zahteve			

## **ALGORITAM NOVOG REŠENJA**

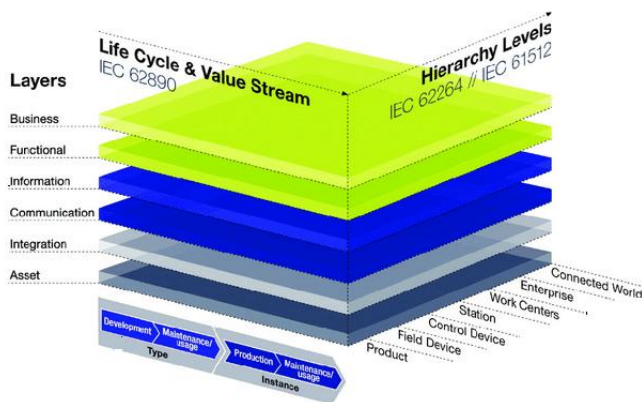
Na osnovu definisanih funkcionalnih zahteva, razvijen je algoritam automatizovanog postupka brušenja, koji predstavlja novo rešenje.

- Postavljanje pojedinačnih neobrađenih medaljona iz rinfuznog skladišta u za to posebno razvijen šaržer nosača pripremake, odnosno gotovih medaljona;
- Automatizovano prihvatanje nosača pripremake, odnosno gotovog medaljona;
- Automatizovana detekcija oblika neobrađenog medaljona i određivanje predefinisane sile, odnosno toka sile pritiskanja i vremena brušenja, odnosno poliranja medaljona iz baze podataka, te brzine rotiranja brusne, odnosno ploče za poliranje, kao i ubrzanja i usporenja ploče iz baze podataka;
- Automatizovano grubo brušenje medaljona;
- Automatizovana provera nivoa grubog brušenja upoređivanjem sa predefinisanim izgledom nakon grubog brušenja iz baze podataka;
- Po potrebi ponavljanje prethodna dva koraka, uz skraćeno vreme grubog brušenja predefinisano iz baze podataka;
- Automatizovano fino brušenje medaljona;
- Automatizovana provera nivoa finog brušenja upoređivanjem sa predefinisanim izgledom nakon finog brušenja iz baze podataka;
- Po potrebi ponavljanje prethodna dva koraka, uz skraćeno vreme finog brušenja predefinisano iz baze podataka;
- Automatizovano poliranje medaljona;
- Automatizovana provera nivoa poliranja upoređivanjem sa predefinisanim izgledom nakon poliranja iz baze podataka;
- Po potrebi ponavljanje prethodna dva koraka, uz skraćeno vreme poliranja predefinisano iz baze podataka;
- Automatizovano okretanje medaljona;
- Ponavljanje grubog i finog brušenja, odnosno poliranja;
- Automatizovano vraćanje nosača pripremake, odnosno gotovog medaljona u šaržer pojedinačnih obrađenih medaljona iz rinfuznog skladišta u za to posebno razvijen šaržer nosača pripremake, odnosno gotovih medaljona;
- Vađenje obrađenih medaljona iz nosača pripremake, odnosno gotovih medaljona postavljenih u šaržer.

Prilikom razvoja novog rešenja, studija slučaja prikazuje razvoj prototipa rešenja, koji izostavlja postupke finog brušenja i poliranja, odnosno koje ima šaržer pripremake i gotovih proizvoda koji može da primi jedan pripremake, odnosno gotov proizvod. Isto tako, nije omogućeno automatizovano okretanje medaljona.

## **PRIKAZ STRUKTURE NOVOG REŠENJA PO MODELU RAMI 4.0**

Struktura pod nazivom „Reference Architectural Model Industry 4.0 – RAMI 4.0“, predstavlja mogućnost struktuiranog prikaza celokupnog poslovnog procesa vezanog za proizvod u trodimenzionalnom koordinatnom sistemu, koji opisuje najrelevantnije aspekte „Industrije 4.0“. Na ovaj način, različiti kompleksni sistemi mogu biti opisani preko manjih celina-klastera, koji su jednostavniji za analizu, odnosno sintezu celokupnog sistema tokom životnog ciklusa, odnosno toka vrednosti proizvoda, zasnovanom na standardu IEC 62890 (Slika 2.) (Koschnick, 2015). Studija slučaja prikazuje izradu prototipa, odnosno odnosi se samo na razvojni deo (eng. Development) životnog ciklusa proizvoda.



Slika 2. RAMI 4.0.  
Figure 2. RAMI 4.0.

Na vertikalnoj osi, nalaze se slojevi, koji hijerarhijski elemente sistema implementiraju u sistem.

Na najnižem nivou resursa (eng. Asset ), nalaze se resursi opreme i ljudstva. Ovaj sloj predstavlja „stvarni svet“. U prikazanom slučaju, elementi ovog nivoa su stanica za poliranje i poslužitelj.

Resursi su sa virtuelnim svetom povezani integracionim slojem (eng. Integration), koji povezuje stvarne komponente sa informacionim tehnologijama (IT), kao što su RFID čitači, senzori, HMI uređaji i slično. U prikazanom slučaju, elementi ovog nivoa su kamera Sony XC-56, senzor sile EMS20-200N, HMI - Lenovo Tab4 10, odnosno frekventni regulator Teco L510s.

Da bi se omogućilo povezivanje stvarnog i virtuelnog sveta, potrebno je podatke, odnosno informacije formatirati na način koji može biti procesuiran računarom. Ovo se odvija u komunikacionom (eng. Communication) sloju, koji obezbeđuje standardizaciju komunikacije pretvarajući informacije u odgovarajući uniformni format. Isto tako, ovaj sloj omogućuje i kontrolu integracionog sloja. U prikazanom slučaju, elementi ovog nivoa su ruter Asus RT-N12 + B1, odnosno wireless i ethernet komunikacija.

Sledeći sloj predstavlja informacioni (eng. Information) sloj, u kojem se odvija obrada podataka. Isto tako, u ovom sloju se izvršavaju i određena pravila definisana trenutnim događajima (eng. Event-related rules). U prikazanom slučaju, elementi ovog nivoa su cloud baza podataka i akcije u realnom vremenu.

Na ovaj način, obezbeđuje se integritet i kvalitet podataka. Sama pravila, te izvršenje definisanih pravila i donošenje odluka, odvija se u funkcionalnom (eng. Functional) sloju. U ovom sloju, odvija se pristup na daljinu i horizontalna integracija zbog obezbeđenja integriteta podataka. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je kontroler robotske ruke R-30iV compact plus, u kojem se vrši obrada podataka iz senzora, te donošenje odluka o obradi medaljona.

Poslednji sloj je poslovni (eng. Business) sloj, koji omogućava mapiranje poslovnih modela na sam proces. Na ovaj način, omogućava se modeliranje pravila po kojima sistem funkcioniše. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je algoritam baziran na funkcionalnim zahtevima.

Osa hijerarhijskih nivoa, sastoji se od sedam zasebnih nivoa, koji su zasnovani na standardima IEC 62264 i IEC 61512 i predstavljaju funkcionalna svojstva komponenti sistema.

Najniži nivo predstavlja proizvod (eng. Product). Proizvod je aktivni element usled činjenice da i on može razmenjivati informacije, odnosno komunicirati unutar proizvodnog sistema, razmenjujući informacije o stanju proizvoda, odnosno o svojstvima proizvoda. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je sam pločasti medaljon.

Sledeći nivo je nivo fizičkih uređaja (eng. Field device), koji u suštini predstavlja sve uređaje koji su priključeni na upravljačke jedinice, na primer na programabilni logički kontroler (PLC).

Ovi uređaji mogu biti različiti senzori i aktuatori. U prikazanom slučaju, elementi ovog nivoa su robotska ruka Fanuc SR-3iA, kamera Sony XC-56, senzor sile EMS20-200N 10, te frekventni regulator Teco L510s.

Upravljački uređaj (eng. Control device), predstavlja nivo upravljačkih jedinica. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je integrisani kontroler robota R-30iV Compact Plus.

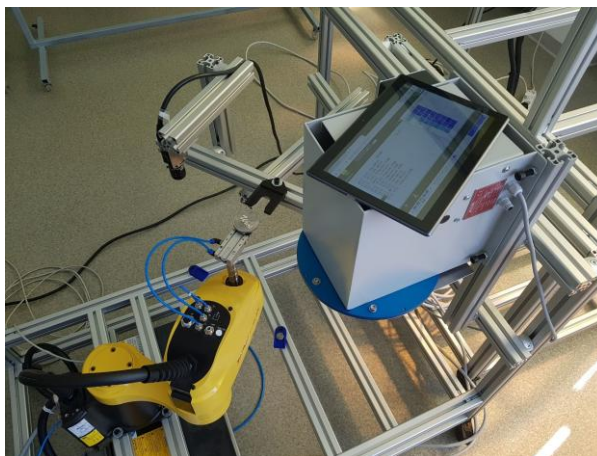
Nivo stanice (eng. Station), predstavlja proizvodne celine, kao što su obradni centri, roboti ili transportni uređaji. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je stanica za poliranje sa robotskom rukom, senzorima i točilom.

Nivo radnih centara (eng. Work centers) predstavlja proizvodne jedinice i odeljenja unutar preduzeća. U prikazanom slučaju, element ovog nivoa je radna stanica sa skladištom priprema i gotovih proizvoda.

Nivo preduzeća (eng. Enterprise), predstavlja preduzeće kao celinu, dok poslednji sedmi nivo povezanog sveta (eng. Connected world), predstavlja spoljašnje mreže, odnosno sisteme koji su u vezi sa sistemom preduzeća. Ovaj nivo predstavljaju na primer spoljni dobavljači, podizvođači, kupci, odnosno usluge koje se preduzeću pružaju putem interneta.

## **REZULTATI I DISKUSIJA**

Predstavljena struktura po modelu RAMI 4.0, praktično je izvedena u obliku prototipa, koji je prikazan na slikama 3 i 4.



Slika 3. Razvijeni prototip rešenja.  
Figure 3. Developed prototype.

Prikazana transformacija tehnološkog postupka brušenja, odnosno poliranja medaljona ima niz prednosti, koje se ne odnose samo na automatizaciju samog postupka. Prednosti su:

- Manja potreba za radnom snagom
- Ravnomernija obrada
- Ravnomernije trošenje brusnih, odnosno ploča za poliranje
- Obrada posebno prilagođena svakom pojedinačnom obliku medaljona
- Estetski prihvatljivija površina medaljona
- Praćenje vrsta i količina neobrađenih i obrađenih medaljona
- Laka promena parametara tehnološkog postupka
- Mogućnost monitoringa na daljinu
- Mogućnost ažuriranja parametara na daljinu

Dalji razvoj prototipa, usmeren je izradi jedinice za fino brušenje i poliranje medaljona, odnosno izrade šaržera priprema i gotovih proizvoda, odnosno automatizaciju postavljanja

neobrađenih medaljona iz rinfuznog skladišta u nosač pripremaka, odnosno gotovih medaljona, i vađenja obrađenih medaljona iz nosača, te okretanje medaljona.



Slika 4. Razvijeni prototip rešenja.  
Figure 4. Developed prototype.

## **LITERATURA**

- Gogolak, L., & Furstner, I. (2021). Wireless sensor network aided assembly line monitoring according to expectations of industry 4.0, *Applied Sciences*, 11(1), 25.
- Koschnick, G. (2015). The reference architectural model industrie 4.0 – RAMI 4.0. Retrieved March, 1, 2021, from [sa https://www.zvei.org/en/press-media/publications/the-reference-architectural-model-industrie-40-rami-40/](https://www.zvei.org/en/press-media/publications/the-reference-architectural-model-industrie-40-rami-40/).
- Magrab, E. B., Gupta, S. K., McCluskey, F. P., & Sandborn, P. (2009). *Integrated product and process design and development: the product realization process*. CRC Press.
- Platform Industrie 4.0. (2021). Shaping a globally secure Industrie 4.0 Ecosystem. Plattform Industrie 4.0 sekretariat. Retrieved March 4, 2021, from <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Home/home.html>
- Wichmann, R.L., Eisenbart, B., & Kilian, G. (2019). The direction for industry: a literature review on industry 4.0. *In proceedings International conference on engineering design ICED19* (pp. 2129-2138). Delft, Netherlands.

## **INTRODUCTION OF THE PRINCIPLES OF INDUSTRY 4.0 IN THE PRODUCTION PROCESS OF MICRO-ENTERPRISE – CASE STUDY**

Igor Fürstner, László Gogolák, Árpád Pletikoszity

Subotica Tech - College of Applied Sciences, Marka Oreškovića 16, 24 000 Subotica, Serbia  
ifurst@vts.su.ac.rs

### **ABSTRACT**

Today's development of technology enables the application of the principles of development of production processes defined by the goals of Industry 4.0, and the adaptation of existing automated production processes developed according to the principles of Industry 3.0. The question is whether in the case of micro-enterprises, i.e. craft shops, where the production process can at best be described according to the principles of Industry 2.0, the production process can be transformed in a sustainable way in accordance with current trends, i.e. to be in accordance with indications of the next industrial revolution, which, according to some predictions, will rely to a much greater extent on the interaction of people and the industrial environment. The paper presents a case study of the transformation of a manual-mechanized production process of a micro-company engaged in the production of decorative medallion tiles, into a production process that corresponds to trends defined by Industry 4.0 principles, and conclusions related to possible development trends in this type of company.

**Keywords:** Industry 4.0, Product development.