

OBRAZOVANJE INŽENJERA PROIZVODNOG MAŠINSTVA ZA INDUSTRIJU 4.0 – IZAZOVI, ŠANSE, MOGUĆNOSTI

Milenko Sekulić¹, Mijodrag Milošević², Anđelko Aleksić³, Stevo Borojević⁴, Branislav Sredanović⁵

^{1,2,3} Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

^{4,5} Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

¹milenkos@uns.ac.rs, ²mido@uns.ac.rs, ³andjelkoa94@uns.ac.rs, ⁴stevo.borojevic@mf.unibl.org,

⁵branislav.sredanovic@mf.unibl.org

Kratak sadržaj: Pojava Industrije 4.0 (I4.0) je potpuno transformisala način na koji industrija ili poslovanje funkcionišu i evoluiraju. Uprkos svetskoj tendenciji da koncept Industrije 4.0 zaživi u praksi, usvajanje ovog koncepta je ograničeno zahtevima da radna snaga poseduje specifične veštine. Iz tog razloga se univerziteti moraju prilagoditi i modernizovati postojeće programe i infrastrukturu. Predmet istraživanja u ovom radu je analiza uticaja koncepta Industrije 4.0 na transformaciju univerzitetskog obrazovanja inženjera proizvodnog mašinstva, u cilju stvaranja radnika i stručnjaka sa neophodnim kompetencijama u eri nove industrijalizacije.

Cilj istraživanja je da se identifikuje trenutno stanje u oblasti obrazovanja inženjera proizvodnog mašinstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu (FTN-NS) i Mašinskom fakultetu u Banjoj Luci (MF-BL), sa aspekta digitalizacije i Industrije 4.0. Drugi cilj istraživanja je da se na osnovu sagledavanja trenutnog stanja i potreba Industrije 4.0, definišu nova obrazovna polja koja u budućnosti treba da budu sastavni deo obrazovanja inženjera proizvodnog mašinstva.

Ključne reči: Industrija 4.0/obrazovanje/proizvodno mašinstvo

EDUCATING PRODUCTION ENGINEERS FOR INDUSTRY 4.0 – CHALLENGES, CHANCES, OPPORTUNITIES

Abstract: The advent of Industry 4.0 (I4.0) has completely changed the way an industry or company operates and develops. Despite the global tendency for the concept of Industry 4.0 to take root, the adoption of this concept is limited by the requirements for the workforce to have specific skills. For this reason, universities need to adapt and modernize existing programs and infrastructures. The research object of this paper is to analyze the impact of the concept of Industry 4.0 on the transformation of the university education of production engineers with the aim of creating workers and experts with the required skills in the era of new industrialization.

The aim of the research is to identify the current situation in the field of education of production engineers at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad (FTS-NS) and the Faculty of Mechanical Engineering in Banja Luka (FME-BL) from the perspective of digitalization and Industry 4.0. The second goal of the research is to define, based on the current state and needs of Industry 4.0, new areas of training that should be an integral part of the education of production engineers.

Key Words: Industry 4.0/education/production engineering

1. UVOD

Termin Industrija 4.0 (I4.0) označava četvrtu industrijsku revoluciju, koja je definisana kao novi nivo organizacije i kontrole u celom lancu vrednosti životnog ciklusa proizvoda. U skladu sa novim tehnologijama, prisutna je i potreba za promenama u savremenom obrazovanju, pogotovo univerzitetskom, sa ciljem efikasne edukacije kadrova koji se susreću sa izazovima nove ere u industrijalizaciji.

Neke od osnovnih tehnologija koje su obuhvaćene I4.0 koncepcijom u proizvodnji su: Kibernetско-fizički sistemi (Cyber-Physical Systems); Industrijski internet stvari (Industrial Internet of Things); Proizvodni oblak (Cloud Manufacturing); Veliki podaci (Big Data); M2M (Machine-to-Machine) komunikacija; Proširena i virtuelna stvarnost (Augmented & Virtual Reality); Digitalni blizanac (Digital Twin); Pametno održavanje (Smart Maintenance); Monitoring energetske efikasnosti (Energy Efficiency Monitoring); Rekonfigurabilna, povezana i pametna fabrika (Reconfigurable, Connected & Smart Factory); itd. [1]. Ove tehnologije su osnovne paradigme I4.0 i predstavljaju stubove za promenu od tradicionalne kompanije ka digitalnoj, odnosno razvoj potpuno novog koncepta u automatizaciji proizvodnje. Brze promene koje se dešavaju, kao posledica razvoja komunikacionih tehnologija, se ne mogu jasno predvideti, pa samim tim i pitanja kako i šta obrazovati postaju fundamentalne teme. Iz tog razloga je sadržaj istraživanja u ovom radu usmeren na analizu i identifikovanje oblasti, na koje u budućnosti treba da budu fokusirani programi obrazovanja inženjera proizvodnog mašinstva, u skladu sa zahtevima I4.0.

2. KLJUČNE KOMPETENCIJE I VEŠTINE ZA INDUSTRIJU 4.0

Današnji univerziteti su osnovani iz perspektiva tri prethodne industrijske revolucije, koje ne nude kompetencije za Industriju 4.0. Iz tog razloga univerziteti i sistemi visokog obrazovanja se moraju prilagoditi, radi obuke i pripreme inženjera za buduće industrije. Tradicionalne metode nastave su pokazale veliki broj nedostataka i ograničenja u razvoju kompetencija budućih inženjera. Potrebni su novi pristupi učenju koji će: dozvoliti obuku u realnim proizvodnim okruženjima, modernizovati proces učenja i približiti ga industrijskoj praksi, iskoristiti industrijsku praksu kroz usvajanje novih proizvodnih znanja i tehnologija, itd.

Da bi naše inženjere transformisali u "Inženjere 4.0", koji su spremni za sledeću rundu inovacija, univerziteti i fakulteti moraju istraživati, prilagođavati se i modernizovati svoje studentske programe. Od ključnog značaja je koje znanje i tehnologije će biti nužni za praktičnu implementaciju koncepta I4.0 u proizvodnji. Onog momenta kada istražimo (utvrdimo) i identifikujemo oblasti novih znanja, potrebno je da počnemo kao fakulteti da se brzo prilagođavamo. Da bi naši inženjeri proizvodnog mašinstva bili na "vrhu igre" koja se zove Industrija 4.0, moramo kao fakulteti rano usvojiti nove paradigme ili rizikovati da budućnost dočekamo na marginama obrazovanja.

Nove veštine i kompetencije koje Industrija 4.0 traži od radnika se mogu podeliti na: **tehničke, metodološke, socijalne i lične** [2]. Svaka od ovih veština ima odgovarajući značaj, u zavisnosti od uloge zaposlenog u kompaniji. Očigledno je da, na primer tehnička radna snaga mora imati dobro poznavanje opreme, procesa i tehnologija proizvodnje.

Inženjeri proizvodnog mašinstva i rukovodioci proizvodnih pogona, naravno moraju imati i neophodna znanja za **metodološki pristup, kreativnost, rešavanje problema, donošenje odluka i veštine analize i istraživanja**. Njihove društvene i lične veštine (komunikacija, saradnja, liderstvo, autonomija, fleksibilnost i odgovornost) nisu ništa manje važne od tehničkih i metodoloških veština. Novi tehnološki svet će zahtevati ljude koji mogu da donose brze odluke na osnovu informacija koje su im dostupne.

3. NOVI PROFIL INŽENJERA PROIZVODNOG MAŠINSTVA U INDUSTRIJI 4.0

Novi profil inženjera proizvodnog mašinstva u Industriji 4.0 treba da se zasniva na sledećih pet stubova, slika 1. [3]: **osnovno tehničko znanje** iz oblasti proizvodnog inženjerstva; **metodološke veštine** kao što su procesno i sistemsko razmišljanje; **osnovna međudisciplinarna znanja** iz oblasti mašinstva, elektrotehnike i elektronike, kao i nauke o podacima za računarstvo; **kontekstualno znanje**, odnosno poznavanje uslova, zahteva i perspektiva u drugim oblastima i disciplinama; i **interdisciplinarnе veštine**, posebno sposobnost rada u timu, nezavisnost, motivisanost, veštine rešavanja problema, sposobnost učenja i prilagođavanja, otvorenost i komunikacijske veštine.



Slika 1. Kuća znanja proizvodnog mašinstva u Industriji 4.0

U Industriji 4.0 zadaci će biti složeni i zahtevaće saradnju sa mašinama. Inženjeri proizvodnog mašinstva će u Industriji 4.0 imati zadatak da obavljaju sledeće poslove: **predproizvodnju i planiranje** (istraživanje, razvoj i dizajn proizvoda; planiranje resursa i nabavka; povećanje osoblja i menadžment), **proizvodnju i logistiku** (mašinska obrada, proizvodnja i montaža; upravljanje lancem snabdevanja; skladištenje i transport), **monitoring i upravljanje** (operacija, održavanje i kontinuirano poboljšanje; kvalitet, rizik i usklađenost; zdravlje, bezbednost i životna sredina), **nove paradigme** (sajber bezbednost; proizvodno-servisni sistemi; održivost i cirkularna ekonomija).

3.1 Aktuelno stanje nastavnih planova i programa proizvodnog mašinstva na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i Mašinskom fakultetu u Banjoj Luci

Trenutno u Republici Srbiji i Bosni i Hercegovini ne postoje smernice za nacionalne kurikule za obrazovanje proizvodnih inženjera u kontekstu Industrije 4.0. Iz tog razloga, analiza usklađenosti sadašnjih nastavnih planova i programa proizvodnog inženjerstva sa zahtevima Industrije 4.0 je veoma složen zadatak. U ovoj analizi važno je imati na umu da rezultati brojnih studija pokazuju da kompanije sve više zahtevaju meke veštine, posebno veštine komunikacije, iznad tehničke ekspertize. Pored veština čitanja i pisanja, veštine stranog jezika su takođe deo ovih komunikacijskih veština i veoma su tražene od strane kompanija.

Na oba fakulteta (FTN-NS i MF-BL) su akademske studije (bečelor i master) organizovane po Bolonjskoj deklaraciji, po sistemu 4+1. Poslednja akreditacija studijskih programa proizvodnog mašinstva na FTN-NS je bila 2020. godine (nije bilo promena u odnosu na akreditaciju iz 2013. godine), a na MF-BL 2016. godine (model studija je promenjen sa 3+2 na 4+1).

Analiza usaglašenosti aktuelnih nastavnih planova i programa proizvodnog mašinstva, sa zahtevima Industrije 4.0, izvršena je upoređivanjem znanja koje nude ovi programi sa zadacima koje će inženjeri proizvodnog mašinstva (zadaci su prikazani na vrhu slike 1.) morati da obavljaju u kontekst Industrije 4.0, tabela 1.

Tabela 2. Glavne obrazovne discipline proizvodnog mašinstva u kontekstu Industrije 4.0

Glavni zadatak	Podzadaci	Discipline	FTN-NS	MF-BL
Predproizvodnja i planiranje	Istraživanje, razvoj i dizajn proizvoda	Nauka u kontekstu proizvodnog mašinstva (matematika, fizika, mehanika, termodinamika, mehanika fluida, materijali, itd.)	+	+
		Osnovno interdisciplinarno znanje (elektrotehnika, mehatronika*)	(+/-)*	+
		Računarsko programiranje	-	+
		Primenjeno programiranje i računarstvo	-	-
		Inženjerske grafičke komunikacije	+	+
		Osnove dizajna	+	+
		CAD tehnike i rapid prototyping	+	+
		Reverzibilno inženjerstvo	+	-
		Virtuelna, proširena i mešana realnost	+	-
	Planiranje resursa i nabavka	Verovatnoća i statistika	(+/-)***	(+/-)****
		Primenjena inženjerska statistika i analiza vremenskih serija (Big Date analysis)	-	-
		Baze podataka proizvodnih procesa	+	+
		Proizvodni sistemi	(+/-)***	+
	Povećanje osoblja i menadžment	Modeliranje, optimizacija i simulacija proizvodnih sistema pomoću metoda veštačke inteligencije	(+/-)****	(+/-)****
		Organizacija proizvodnje	+	+
		Automatizacija u proizvodnom mašinstvu – numeričko upravljanje mašinama i sistemima	+	+
Proizvodnja i logistika	Mašinska obrada, proizvodnja i montaža	Proizvodne tehnologije (obrade rezanjem, obrade deformisanjem, zavarivanje, itd.), mašine alatke, alati i pribori	+	+
		Aditivna proizvodnja	(+/-)**	(+/-)****
		CAD/CAE/CAM/CIM sistemi	+	+
		Planiranje procesa i CAPP sistemi	+	+
		Savremena industrijska metrologija	+	+
		Tehnologije montaže	(+/-)****	+
		Digitalne fabrike	-	-
	Upravljanje lancima snabdevanja	Optimizacija i logistika u proizvodnji	+	-
	Skladištenje i transport	Robotika	-	+
		Autonomna vozila u okviru skladišta	-	-
Monitorin g i kontrola	Operacije, održavanje i kontinuirano poboljšanje	Savremene tehnike održavanja	-	+
	Kvalitet, rizik i	Kontrola kvaliteta	+	+

	usklađenost			
	Zdravlje i bezbednost na radu, životna sredina	Osnovi zaštite na radu na mašinama alatkama	+	-
		Ekološke tehnologije i sistemi	+	-
Nove paradigme	Sajber bezbednost	Sajber bezbednost u proizvodnji	-	-
	Proizvodno-servisni sistemi	PLM sistemi	-	+
	Održivost i cirkularna ekonomija	Cirkularni proizvodni sistemi	-	-

* Ovaj deo materije se ne sluša

** Materiju slušaju samo studenti na nekim usmerenjima proizvodnog mašinstva

*** Izborni predmet

**** Materija se sluša u jako malom fondu časova (npr. kao deo nekog predmeta)

4. DISKUSIJA REZULTATA

Kada se analiziraju discipline koje se izučavaju u nastavnim planovima i programima proizvodnog mašinstva na FTN-NS i MF-BL, jasno je da se ove discipline najčešće bave tradicionalnim proizvodnim procesima i tehnologijama. Postojeći nastavni planovi i programi još uvek ne obuhvataju u potpunosti veštine i kompetencije u kontekstu Industrije 4.0, iako su ovi nastavni planovi i programi revidirani 2020., odnosno 2016. godine.

Većina disciplina u predmetima proizvodnog mašinstva se fokusira na proizvodne procese i tehnologije, dok se vrlo mali broj disciplina bavi računarstvom, primenjenim programiranjem, primenjenom inženjerskom statistikom, analizom vremenskih serija (analiza velikih podataka) i veštačkom inteligencijom, a ove discipline su stubovi na kojima počiva Industrija 4.0. Pored toga, potrebno je u oba studijska programa uključiti discipline koje se odnose na digitalne fabrike, sajber bezbednost u proizvodnji i cirkularne proizvodne sisteme. Studijski program proizvodnog mašinstva na FTN-NS treba da bude obogaćen i dodatnim znanjima iz oblasti mehatronike, robotike, autonomnih vozila u skladištu, savremenih tehnika održavanja i PLM sistema.

Studijski program proizvodnog inženjerstva na MF-BL, treba dodatno obogatiti i znanjima iz oblasti virtuelne, proširene ili mešovite stvarnosti, aditivne proizvodnje, autonomnih vozila u skladištu, optimizacije i logistike u proizvodnji, osnova zaštite na radu na mašinama za obradu, ekoloških tehnologija i sistema.

5. ZAKLJUČAK

Digitalizacija će doneti nove izazove i promeniti veštine potrebne za uspešno proizvodno mašinstvo. Cilj ove studije je bio da se ispita uticaj Industrije 4.0 na razvoj nastavnih planova i programa proizvodnog mašinstva na Univerzitetu u Novom Sadu i Univerzitetu u Banjoj Luci. Očigledno je, da trenutni nastavni planovi i programi proizvodnog mašinstva na FTN-NS i MF-BL, u skorije vreme treba da budu u određenoj meri redizajnirani, kako bi uključili veštine i kompetencije koje zahteva Industrija 4.0.

6. LITERATURA

- [1] Milenko Sekulić, Mijodrag Milošević, Anđelko Aleksić, Stevo Borojević, Branislav Sredanović, *Education of production engineers for Industry 4.0*, 10th International Scientific Conference IRMES 2022 “Machine design in the context of Industry 4.0 – Intelligent products”, Belgrade, Serbia, 26 May 2022.
- [2] Dimitris Mourtzis, *Development of Skills and Competences in Manufacturing Towards Education 4.0: A Teaching Factory Approach*, In: Ni, J., Majstorovic, V., Djurdjanovic, D. (eds) *Proceedings of 3rd International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing AMP 2018*, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89563-5_15,
- [3] Milenko Sekulic, Mijodrag Milosevic, Stevo Borojevic, Branislav Sredanovic, Andjelko Aleksic, Jovica Ilic, *Production engineering curriculum in the context of Industry 4.0 – current state of art and necessary changes in AP of Vojvodina and Republic of Srpska*, International Scientific Journal “Industry 4.0”, Published by Scientific Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”, Bulgaria, Year VII, Issue 6/2022, pp. 240-243.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje (rad) je podržao Pokrajinski sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost AP Vojvodine kroz projekat br. 142-451-1792/2022-01/2 - “Uticaj koncepta Industrije 4.0 na transformaciju savremenog univerzitetskog inženjerskog obrazovanja u AP Vojvodini i Republici Srpskoj”.