

## PROIZVODNI SISTEMI 4.0 PRODUCTION SYSTEMS 4.0

Andela Đorđević, Biljana Cvetić  
Fakultet Organizacionih Nauka, Univerzitet u Beogradu  
Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade

**REZIME:** Svrha ovog rada je razumevanje konceptata Industrije 4.0 i njenih proizvodnih sistema. Domen istraživanja su pametne fabrike i pametna proizvodnja u odnosu na tradicionalnu proizvodnju. Metodološki postupak podrazumeva uporednu analizu tradicionalnih proizvodnih linija i proizvodnih sistema pametne fabrike. Rezultat rada je obezbeđen dopunjenom uporednom anaizom korišćenjem dostupne literature. U radu je prikazan i kategorički okvir proizvodnih sistema Industrije 4.0, koji predstavlja dobru osnovu za razvoj Industrije 4.0. Kao rezultat rada su i eksplicitno navedeni koncepti, koje programabilni proizvodni sistemi treba da dostignu, kako bi u potpunosti ispunili zahteve proizvodnih sistema 4.0.

**KLJUČNE REČI:** Industrija 4.0, napredni proizvodni sistemi, pametna fabrika, pametna proizvodnja, sajber-fizički sistemi.

**ABSTRACT:** The purpose of this paper is understanding of Industry 4.0 concepts and production systems. Research domain are smart factories and smart manufacturing compared to traditional manufacturing. Methodological approach involves comparative analysis of traditional production lines and smart factory production systems. Result of the paper is ensured with extended comparative analysis based on literature review. In this paper, a categorical framework of Industry 4.0 manufacturing which represents a solid basis for Industry 4.0 development, is also shown. As the paper's result, concepts which programmable production systems need to reach in order to completely fulfill production systems 4.0 requirements, are also explicitly stated.

**KEY WORDS:** Industry 4.0, advanced production systems, smart factory, smart manufacturing, syber – physical systems.

### 1. UVOD

Proizvodna industrija je jedna od značajnijih industrija koja proizvodi i stvara širok spektar proizvoda u cilju zadovoljavanja potreba krajnjih korisnika. Ova vrsta industrije ima veliki uticaj na ekonomski napredak zemlje i kvalitet života njenih stanovnika.

Pod uticajem globalizacije, savremenih uslova poslovanja i sve različitijih zahteva kupaca, industrija se drastično menjala. Zbog ovakvih uslova na tržištu, postalo je sve teže predvideti tražnju. Od prve industrijske revolucije pa do danas, industrija je prošla kroz radikalne promene. Počev od mašina koje su sa napajale vodom i parom pa do automatizovane električne i digitalne proizvodnje [11].

U ovom radu fokus je na naprednim proizvodnim sistemima u Industriji 4.0. Industrija 4.0 se odnosi na revolucionaran način na koji kompanije proizvode, unapređuju i distribuiraju svoje proizvode. U Industriji 4.0 je ključna integracija proizvoda i proizvodnih operacija sa novim tehnologijama, poput interneta stvari *IoT* (*Internet of Things*), *cloud* tehnologije, analitike, veštačke inteligencije i mašinskog učenja.

Nakon predstavljanja svojstava Industrije 4.0 pažnja je usmerena na pametnu proizvodnju i pametne fabrike. Predstavljen je kategorički okvir proizvodnih sistema Industrije 4.0. Na kraju rada je data uporedna analiza tradicionalne proizvodne linije i proizvodnih sistema pametne fabrike.

### 2. INDUSTRIJA 4.0

Ime Industrija 4.0 se odnosi na četvrtu Industrijsku revoluciju. Ona nastaje putem *IoT* i interneta usluga *IoS* (*Internet of Services*), koji se integrišu sa proizvodnim okruženjem [3]. Industrija 4.0 je zajednički termin za tehnologije i koncepte organizacije lanaca vrednosti. U okviru modularno struktuirane

pametne fabrike, sajber – fizički sistemi *CPS* (*Cyber – Physical Systems*) nadgledaju fizičke procese, stvaraju virtuelnu kopiju fizičkog sveta i donose decentralizovane odluke. Preko *IoT*-a, sajber – fizički sistemi komuniciraju i saraduju jedni sa drugima i sa ljudima u realnom vremenu. Putem *IoS*-a učesnici lanca vrednosti nude i koriste interne i međuorganizacione usluge. Industrija 4.0 se oslanja na integraciju dinamičkih mreža za stvaranje vrednosti, s obzirom na integraciju osnovnog fizičkog sistema i softverskog sistema sa ostalim granama i ekonomskim sektorima, a takođe i sa ostalim vrstama industrije [14]. Kako bi se u potpunosti razumela Industrija 4.0, neophodno je sagledati kompletan lanac vrednosti koji uključuje dobavljače i poreklo neophodnih materijala i komponenti za različite oblike pametne proizvodnje, digitalni lanac snabdevanja od početka do kraja i krajnje odredište proizvodnje, bez obzira na broj među koraka [6]. Termin Industrija 4.0 se u potpunosti susreće sa širokim spektrom konceptata, uključujući korake u mehanizaciji i automatizaciji, digitalizaciji, umrežavanju i minijaturizaciji [7]. Industrija 4.0 je digitalna transformacija proizvodnje, povezanih industrija i procesa stvaranja vrednosti. Odnosi se na inteligentno umrežavanje mašina i procesa uz pomoć informacionih i komunikacionih tehnologija *ICT* (*Information and Communication Technology*).

Vizija Industrije 4.0 je da će u budućnosti industrijska preduzeća izgraditi globalne mreže koje povezuju njihove mašine, fabrike i skladišne objekte u vidu sajber – fizičkih sistema, koji se međusobno inteligentno kontrolišu deljenjem informacija koje pokreću radnje. Sajber – fizički sistemi će biti u obliku pametnih fabrika, pametnih mašina, pametnih skladišnih objekata i pametnih lanaca snabdevanja. Centar vizije Industrije 4.0 su pametne fabrike koje će transformisati način na koji se vrši proizvodnja. Proizvodnja će biti zasnovana na pametnim mašinama, ali i na pametnim proizvodima. Sajber – fizički sistemi, poput pametnih mašina neće biti jedini koji su

inteligentni. Proizvodi koji se sastavljaju će takođe imati ugrađenu inteligenciju, kako bi bili lako identifikovani i locirani u bilo koje vreme tokom proizvodnog procesa. Minijaturizacija radio frekventnih identifikacionih *RFID (Radio Frequency Identification)* oznaka omogućava proizvodima da budu inteligentni, da znaju šta su, kada su proizvedeni i što je najvažnije, koje je njihovo trenutno stanje i korake koji su potrebni kako bi dostigli željeno stanje. Ovo znanje o industrijskom procesu proizvodnje je ugrađeno u proizvode i omogućava im da obezbede alternativne rute u proizvodnom procesu. Četiri glavne karakteristike Industrije 4.0 su [3]:

1. Vertikalna integracija pametnih proizvodnih sistema;
2. Horizontalna integracija putem mreža globalnog lanca vrednosti;
3. Praćenje celokupnog životnog ciklusa proizvoda i
4. Ubrzanje proizvodnje.

Postoji potreba za umrežavanjem pametnih fabrika, pametnih proizvoda i drugih pametnih proizvodnih sistema. Suština vertikalnog umrežavanja proizlazi iz upotrebe sajber – fizičkih proizvodnih sistema koji omogućavaju proizvodnim postrojenjima da brzo i adekvatno reaguju na promenljive, kao što su nivoi tražnje, zaliha, mašinski defekti i nepredviđena kašnjenja. Umrežavanje i integracija uključuju i pametne logističke i marketinške usluge organizacije, kao i njene pametne usluge, s obzirom da je proizvodnja prilagođena direktno potrebama krajnjih kupaca. Integracija olakšava uspostavljanje i održavanje mreže koja stvara i dodaje vrednost. Cela industrija lanca vrednosti podrazumeva praćenje životnog ciklusa proizvoda od proizvodnje do zasićenja tržišta. Ovde se podrazumeva inženjerska integracija od početka do kraja [15]. Tri ključna izazova tradicionalne logističke industrije koja će se prevazići u logističkoj Industriji 4.0 su [5]:

1. Prikupljanje, skladištenje i obrada podataka;
2. Sigurnost podataka i nedostatak standarda i
3. Nedostatak digitalne strategije.

Zbog konstantnog rasta količine generisanih struktuiranih i nestruktuiranih podataka, raste i potreba za različitim načinima skladištenja i obrade podataka. Ulaganja u inovativna *ICT* rešenja opremljena sa senzorima rastu sa povećanjem njihovih dodatnih performansi i sposobnosti prikupljanja, skladištenja i prenosa podataka. Koristi se centralizovan sistem baza podataka. Preduzeća moraju konstantno da dele podatke kako bi održavali logističke procese najboljim. Jedna od prednosti jeste minimalan nivo zaliha. Neautorizovan pristup osetljivim podacima uglavnom dovodi do neplaniranih, visokih troškova.

Duž lanca snabdevanja podaci moraju biti vertikalno i horizontalno integrisani i dostupni svim uključenim strankama. Vertikalna integracija se odnosi na integraciju različitih *ICT* rešenja sa kompleksnim informacionim sistemom. Horizontalna integracija je integracija procesa između zainteresovanih strana duž lanca snabdevanja. Ovo podrazumeva razmenu podataka između različitih sektora (poput nabavke, proizvodnje i prodaje) nekoliko logističkih kompanija duž čitavog lanca snabdevanja zatvorene petlje. Industrija 4.0 se zasniva na šest definisanih principa [3]:

1. interoperabilnost,
2. virtualizacija,
3. decentralizacija,
4. delovanje u realnom vremenu,
5. uslužna orijentisanost i
6. modularnost.

Interoperabilnost zahteva celokupno okruženje sa fluidnim interakcijama i fleksibilnom saradnjom između svih komponenti. Nadgledanje stvarnih procesa i mašina se odvija u fizičkom svetu, dok se dobijeni podaci povezuju sa virtuelnim modelima. Na ovaj način, procesni inženjeri ili dizajneri mogu da personalizuju, menjaju i testiraju promene u kompletnoj izolaciji, bez uticaja na fizičke procese koje su virtuelizovali. Industrija 4.0 podržava decentralizaciju koja omogućava različitim sistemima u okviru pametne fabrike da donose nezavisne odluke, bez odstupanja od puta ka jedinstvenom, krajnjem organizacionom cilju. Napori Industrije 4.0 su usmereni ka tome da postignu da se sve odvija u realnom vremenu. Proizvodni proces, prikupljanje podataka, povratne informacije i nadgledanje procesa moraju da se odvijaju u realnom vremenu. *IoS* je izuzetno važna komponenta Industrije 4.0. Fleksibilnost je ključna kako bi se pametne fabrike lako prilagođavale promenljivim okolnostima i zahtevima.

### 3. PROIZVODNI SISTEMI 4.0

Pod proizvodnim sistemom se podrazumeva sistem koji transformiše ulaze u obliku materijala, energije, informacija i novčanih sredstava u izlaze koji imaju vrednost za krajnje korisnike. Kako bi se održala konkurentnost na dinamičkom tržištu, neophodan je novi dizajn proizvodnih sistema. U četvrtoj industrijskoj revoluciji, proizvodna industrija prelazi sa „samo“ internet i klijent-server modela na sveprisutnu mobilnost, koja integriše digitalno i fizičko okruženje, poznatije kao sajber-fizički sistemi. Ovo se može postići integracijom *ICT*, poput *IoT* i *Big Data* sa operativnim tehnologijama (npr, saradnički roboti i veštačka inteligencija), što fabrikama Industrije 4.0 omogućava automatizaciju i optimizaciju na potpuno nove načine i podiže pametnu fabriku na viši nivo. Industrija 4.0 podrazumeva pametnu proizvodnju koja uključuje: *Big Data* i analitiku, autonomne robote, simulaciju, horizontalnu i vertikalnu integraciju sistema, *IoT*, sajber sigurnost, *cloud*, aditivnu proizvodnju, uvećanu stvarnost *AR (Augmented Reality)*, veštačku inteligenciju i *blockchain* tehnologiju. *Blockchain* je javna, decentralizovana i distribuirana digitalna knjiga koja se koristi za evidentiranje transakcija [8].

#### 3.1. Pametna proizvodnja

Pametna proizvodnja obuhvata: pametno projektovanje, pametnu obradu, pametno nadgledanje, pametnu kontrolu i pametan raspored [16]. Tradicionalno projektovanje je postalo pametno zahvaljujući brzom razvoju novih tehnologija, kao što su virtuelna stvarnost *VR (Virtual Reality)* i *AR*. Softveri za projektovanje, poput računarski podržanog projektovanja *CAD (Computer Aided Design)* i računarski podržane proizvodnje

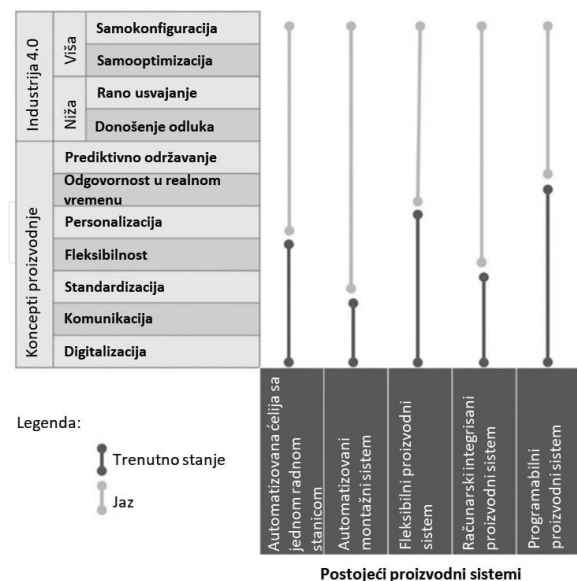
CAM (Computer Aided Manufacturing) sada mogu da ostvare interakciju sa pametnim, fizičkim prototipnim sistemima u realnom vremenu pomoću 3D štampanja integrisanog sa CPS i AR. Pametna obrada se postiže uz pomoć pametnih robota i drugih pametnih uređaja koji mogu da saraduju u realnom vremenu. CPS i IoT su ključne tehnologije koje omogućavaju pametno nadgledanje. Podaci sa različitih proizvodnih objekata se prikupljaju u realnom vremenu. Pametno projektovanje pruža ne samo grafičku vizualizaciju tih podataka, već i upozorava kada dođe do abnormalnosti. Pametna kontrola se uglavnom izvršava radi fizičkog upravljanja različitim pametnim mašinama ili alatima pomoću platforme zasnovane na cloud-u. Krajnji korisnici mogu da ugase mašinu ili robota svojim pametnim telefonom. Tehnike zasnovane na podacima i napredna arhitektura odlučivanja se koriste za pametno raspoređivanje.

Pametna proizvodnja omogućava menadžerima fabrike automatsko prikupljanje i analizu podataka u cilju boljeg donošenja odluka i optimizacije proizvodnje. Pametna proizvodnja se svodi na prikupljanje podataka; podaci govore šta treba da se uradi i kada to treba da se uradi. Proizvodna oprema je podložna progresivnom trošenju. Upravo zbog toga, procesi održavanja i nadgledanja su neizostavni. Budući da moraju da nadgledaju potencijalno nepristupačna okruženja bez prekida uglavnom kontinuirane proizvodnje, proizvodni procesi su glavni kandidati za tehnike daljinskog praćenja. Upotreba senzora u industrijskim operacijama se naglo povećava zbog značajnog smanjenja troškova senzora, napretka u toj tehnologiji i uvođenja naprednih, analitičkih aplikacija koje se mogu koristiti za izvlačenje i otkrivanja uvida u podatke [9].

Pametna proizvodnja zasnovana na podacima omogućava [13]: 1) Razvoj proizvoda prilagođenih kupcima, korišćenjem prikupljenih podataka o kupcima za prilagođeni dizajn proizvoda. Zahtevi, sklonosti i ponašanje kupaca mogu biti precizno kvantifikovani korišćenjem Big Data analize, čime se postiže proizvodnja prilagođenih proizvoda i usluga; 2) Samoorganizovanje, eksploatacijom proizvodnih resursa i podataka o zadacima za pametno planiranje proizvodnje. Planovi proizvodnje mogu se kreirati na osnovu internih i eksternih podataka sa različitih proizvodnih lokacija; 3) Samoizvršavanje, korišćenjem različitih podataka o proizvodnom procesu za preciznu kontrolu. Odgovarajuće sirovine i delovi mogu se poslati na bilo koje proizvodno mesto koje se zahteva u bilo koje vreme, dok proizvodna oprema može automatski da obrađuje sirovine ili da montira delove po potrebi; 4) Samoregulaciju, korišćenjem podataka o statusu u realnom vremenu za praćenje procesa proizvodnje. Proizvodni sistem može automatski da odgovori na neočekivane događaje i 5) Samostalno učenje i prilagođavanje, korišćenjem istorijskih i podataka u realnom vremenu za proaktivno održavanje i kontrolu kvaliteta. Otkazi mašina i eventualni defekti proizvoda mogu biti predviđeni i sprečeni pre nego što se pojave.

Autori Qin i dr. su 2016. godine [10] sproveli istraživanje kojim je utvrđen jaz između postojećih proizvodnih sistema i onih koje zahteva Industrija 4.0. Industrija 4.0 se razvila iz proizvodnih sistema koji se nadalje predstavljaju. Automatizovane ćelije sa jednom radnom stanicom su u potpunosti auto-

matizovane i njihov cilj je konstantna izrada serija proizvoda. Automatizovani sistemi montaže koriste sisteme za rukovanje koji zamenjuju radnu snagu. U potpunosti automatizovani sistem montaže je unapred dizajniran da izvrši fiksni nalog rasporeda montaže na određenom proizvodu. Fleksibilni proizvodni sistem FMS (Flexible Manufacturing System) podrazumeva visoko automatizovanu primenu grupne tehnologije, čija je ključna karakteristika fleksibilnost. FMS je dizajniran za specifičnu familiju proizvoda, što znači da nije u potpunosti fleksibilan. Računarski integrisani proizvodni sistemi podrazumevaju u potpunosti automatizovanu proizvodnju gde računar kontroliše sve funkcije. Programabilni proizvodni sistemi su dizajnirani za prilagođavanje naglim promenama na tržištu ili drugim zahtevima u okviru iste familije proizvoda. Opisani jaz je prikazan na slici 1. Na ovoj slici su uzeti u obzir samo skoro automatizovani proizvodni sistemi zato što se koncept Industrije 4.0 razmatra na digitalnom nivou proizvodnje i generalne karakteristike proizvodnih sistema. Može se zaključiti da trenutna proizvodnja nije sveobuhvatno dostigla nivo Industrije 4.0, iako mnogi istraživači i kompanije rade na tome. Svaki trenutno postojeći proizvodni sistem zadovoljava neke koncepte Industrije 4.0, uglavnom interoperabilnost. Automatizovane ćelije sa jednom radnom stanicom su digitalne i povezane kako bi se postigla fleksibilnost. Postojeći automatizovani montažni sistem teško uspostavlja standardizaciju, što se postiže računarski integrisanim proizvodnim sistemom. Postojeći FMS nije u stanju da odgovara na zahteve u realnom vremenu. Fleksibilni i programabilni proizvodni sistem su najbliži Industriji 4.0. Na slici 1. se vidi da donošenje odluka i rano usvajanje inovacija predstavljaju početni nivo dostizanja Industrije 4.0, dok samooptimizacija i samokonfiguracija obezbeđuju potpuno dostizanje Industrije 4.0. Programabilni proizvodni sistemi treba da se fokusiraju na dostizanje samokonfiguracije, samooptimizacije, ranog usvajanja i prediktivnog održavanja u budućnosti kako bi se u potpunosti približili naprednim proizvodnim sistemima.



Slika 1. Istraživački jaz između postojećih proizvodnih sistema i Industrije 4.0, prema [1]

### 3.2. Pametne fabrike

Pametna fabrika se definiše kao proizvodno rešenje koje obezbeđuje fleksibilne i prilagodljive proizvodne procese koji će rešavati probleme koji se javljaju kod proizvodnih ustanova u dinamičnim i brzo menjajućim uslovima [4]. Prilikom implementacije pametne fabrike dolazi do brojnih izazova koje su Sjodin i dr. 2018. godine [12] podelili u tri grupe: ljudi, tehnologija i procesi. Zaposlenima jedne fabrike često nedostaje razumevanje i zajednička vizija za pametnu fabriku. Izuzetno složena priroda tehnologija i sistem pametne fabrike otežavaju procenu potencijalnih prednosti, stvarajući nesiguran poslovni model za implementaciju. Veoma visoki početni troškovi implementacije pametne fabrike pogoršavaju neizvesnost, jer će se koristiti od ulaganja steći tek u određeno vreme u budućnosti.

Pametne fabrike ne mogu da funkcionišu samostalno. Postoji potreba za umrežavanjem pametnih fabrika, pametnih proizvoda i drugih pametnih proizvodnih sistema. Sve ovo zahteva od pametnih proizvoda da znaju svoju istoriju, kao i buduće procese koji su potrebni za njihovu transformaciju do kompletnih proizvoda. Ovo znanje je ugrađeno u proizvode i omogućava im da obezbede alternativne rute u proizvodnom procesu. Pametni proizvodi omogućavaju bolje donošenje odluka i dinamičku kontrolu procesa, zbog mogućnosti i fleksibilnosti izmene dizajna u poslednjem trenutku ili promene proizvodnje u skladu sa preferencijama kupaca. Pametna fabrika uključuje i pametne logističke i marketinške usluge organizacije, kao i njene pametne usluge, s obzirom da je proizvodnja prilagođena direktno potrebama krajnjih kupaca [3].

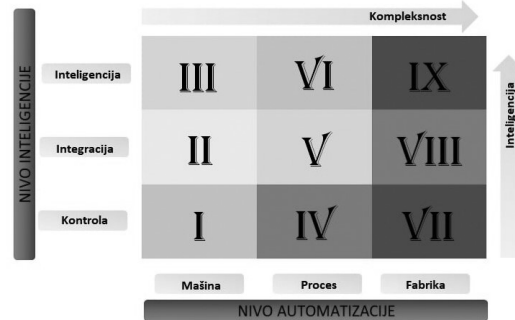
### 3.3. Kategorički okvir proizvodnih sistema Industrije 4.0

Kategorički okvir proizvodnih sistema Industrije 4.0 je prikazan na slici 2. Prilikom razmatranja tehnologija koje će biti korišćene u kategoričkom okviru proizvodnih sistema za Industriju 4.0, one su klasifikovane prema nivou inteligencije od niske do visoke inteligencije: nivo kontrole, nivo integracije i nivo inteligencije. Na nivou automatizacije, tehnologije poput računarski - numeričkog upravljanja, programabilno logičkog upravljanja i analize verovatnoće koriste se za zamenu radne snage i optimizaciju efikasnosti proizvodnje. Na nivou integracije, *IoT* i *CPS* tehnologija će se primenjivati u proizvodnji na osnovu tehnologija na nivou kontrole, generišući digitalno proizvodno okruženje i mreže. Ne samo da se povezuje hardver, već se uspostavlja i komunikacija između kontrolnih sistema. Podaci se prikupljaju sa senzora, mašina, proizvodnih linija, sistema za kontrolu proizvodnje i sistema upravljanja, dok se sa druge strane primaju i povratne informacije od potrošača i lanca snabdevanja. Na ovom nivou (nivou integracije) dolazi se do vrednijih informacija, što doprinosi poboljšavanju proizvodnje. Na nivou inteligencije, proizvodnja koristi podatke ili informacije dobijene na nivou integracije za izradu plana ili donošenje odluka pomoću inteligentnih tehnologija, poput naprednog „rudarenja“ podataka i *Big Data* analize. Pored toga, inteligentni proizvodni sistem ima sposobnosti samousvajanja, samokonfiguracije i samooptimi-

zacije, što su ujedno i koncepti Industrije 4.0. Primene nivoa inteligencije teže da budu implementacija Industrije 4.0. U ovom radu, proizvodni sistem se razmatra kao opseg tehnoloških ciljeva. Moderna industrija ne uključuje samo proizvodni sistem koji deluje u fabrici, poput mašina, robota, proizvodnog procesa i fabričkog sistema, već i proizvodni sistem koji uzima u obzir i druge karakteristike: potrošače, logistiku i resurse.

Prvenstveno, proizvodni sistem je osnovna stavka industrije, najviše je povezan sa inženjeringom, na koji je lako primeniti brojne tehnologije. Efektivnost, produktivnost i troškovi proizvodnje se jednostavno i tačno mogu izmeriti u proizvodnom sistemu. Prema tome, sa različitim nivoima transparentnosti i automatizacije, proizvodni sistem se može podeliti na tri nivoa automatizacije, a to su: mašinski nivo, proizvodni proces i fabrički sistem.

Kombinovanjem nivoa inteligencije sa nivoom inženjeringa, generisan je hijerarhijski okvir koji je prikazan na slici 2. sa ukupno devet inteligentnih primena, tri tehnologije inteligentnog nivoa koje se koriste u tri sekcije inženjerskog nivoa.

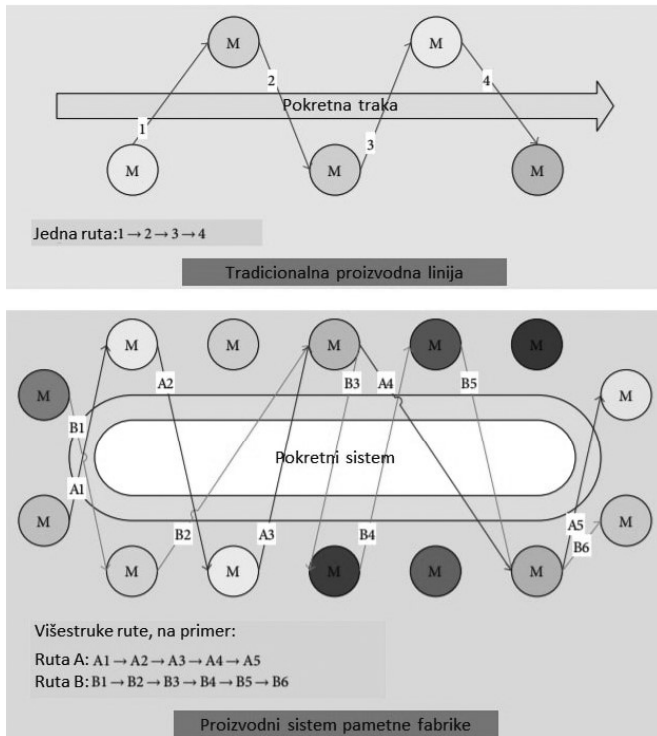


Slika 2. Kategorički okvir proizvodnih sistema za Industriju 4.0, prilagođeno prema [deset]

Spomenutih devet primena se kreću od niske inteligencije i jednostavne automatizacije do visoke inteligencije i kompleksne automatizacije. Od I ka IX primeni, proizvodni sistem postaje sve automatizovaniji, fleksibilniji i inteligentniji. Neophodno je naglasiti da su ciljevi i tehnologije višeg nivoa zasnovani na nižem nivou, što znači da ovaj okvir funkcioniše sekvencijalno. Na nivou fabrike, inteligentna tehnologija se zasniva na integracionoj tehnologiji, koja je izgrađena na osnovu tehnologije automatizacije. Na nivou integracije, primena fabričkog sistema se zasniva na proizvodnim procesima koji uključuju mašine. IX primena je definisana kao inteligentna tehnologija koja se primenjuje u fabričkom sistemu. Takva fabrika nudi nekoliko prednosti, poput prediktivnog održavanja, ranog usvajanja inovacija, itd. Neki istraživači posmatraju IX primenu kao implementaciju pametnih fabrika, što je zapravo tipična implementacija niže Industrije 4.0, tj. donja granica ispunjenja koncepata Industrije 4.0. To znači da gornja granica ispunjenja koncepata Industrije 4.0 zahteva inteligentnije tehnologije primenjene na širem proizvodnom opsegu. Okvir prikazan na slici 2. uključuje samo primene proizvodnje u fabričkom opsegu i niže inteligentne tehnologije, dok je Industrija 4.0 mnogo iznad toga. Međutim, ovaj okvir predstavlja dobru mapu puta za razvoj Industrije 4.0.

**3.4. Uporedna analiza tradicionalnih proizvodnih linija i pametnih fabrika**

Prikaz tradicionalne proizvodne linije i proizvodnog sistema pametne fabrike je dat na slici 3. Tradicionalna proizvodna linija teži da proizvodi jednu vrstu proizvoda. Uglavnom se sastoji od nekoliko mašina i pokretne trake. Na slici 3. može se videti da pokretna traka nije zatvorena što znači da jedan kraj služi za ulaze, a drugi za izlaze, dok su mašine poredane duž trake. Kako se nedovršeni deo/proizvod kreće duž trake, svaka mašina obavlja svoj predefinisani deo posla. Nijedna mašina nije višak. Proizvodni sistem pametne fabrike teži da proizvodi različite vrste proizvoda. Mašine su programabilne i prilagođavaju se različitim vrstama proizvoda. Pokretna traka je zatvorena kako bi se omogućile različite rute proizvoda, što znači da nema unapred definisanog ulaza i izlaza. Različite rute povećavaju produktivnost [15].



**Slika 3.** Tradicionalna proizvodna linija i proizvodni sistem pametne fabrike, prema [15]

Pametne fabrike koriste raznovrsne resurse u cilju proizvodnje različitih vrsta proizvoda, dok kod tradicionalne proizvodne linije resursi moraju biti pažljivo izračunati, odabrani i konfigurisani. Kada se prelazi sa proizvodnje jednog na drugi proizvod, rute koje spajaju potrebne resurse moraju automatski da se reprogramiraju. Kod tradicionalne proizvodne linije postoji jedna fiksna ruta. U pametnim fabrikama mašine, proizvodi, informacijski sistemi i ljudi su povezani i međusobno komuniciraju putem mrežne infrastrukture velike brzine. Kod tradicionalne proizvodne linije određena transportna sredstva mogu da se koriste za povezivanje kontrolora sa njegovim pomoćnim stanicama, dok komunikacija među mašinama nije potrebna. Pametna fabrika posluje u umreženom okruženju gde *cloud* integriše sve fizičke entitete i informacijske sisteme

radi formiranja *IoT* i *IoS*. Tradicionalna proizvodna linija odvajala fizičke entitete od informacijskih sistema, dakle ne postoji njihova integracija. Kod pametne fabrike kontrolna funkcija je distribuirana na više entiteta. Ti pametni entiteti pregovaraju jedni sa drugima u cilju organizovanja i izlaska na kraj sa dinamikom sistema. Kod tradicionalne proizvodne linije, svaka mašina je unapred programirana da izvršava dodeljene funkcije. U slučaju otkaza jedne mašine, doći će do otkaza cele linije. Pametni entiteti mogu da proizvedu ogromne podatke, mreža širokog propusnog opsega može da ih prenese, a *cloud* može da obrađuje velike podatke. Tradicionalne mašine mogu da evidentiraju svoje obradne informacije, ali te informacije retko koriste druge mašine u liniji. Uporedna analiza tradicionalnih proizvodnih linija i proizvodnih sistema pametnih fabrika data je u tabeli 1.

**Tabela 1:** Uporedna analiza tradicionalne proizvodne linije i proizvodnog sistema pametne fabrike, prilagođeno prema [15]

Kriterijumi	Tradicionalna proizvodna linija	Proizvodni sistem pametne fabrike
Resursi	Ograničeni i predefinisani	Raznovrsni
Tip rutiranja	Fiksno	Dinamično
Infrastruktura fabrike	Kontrolna mreža u radnji	Sveobuhvatne veze
Integrisanost	Odvojeni sloj	Duboka konvergencija
Organizacija i kontrola	Nezavisna kontrola	Samoorganizacija
Skladištenje informacija	Izolovane informacije	<i>Big Data</i>
Mašine	Fiksne	Programabilne
Proizvodi	Uglavnom jedna vrsta	Različite vrste

**4. ZAKLJUČAK**

Industrija 4.0 je proizvodna industrija koja koristi najsavremenije tehnologije, opremu, procese i metode rada. Ona donosi velike prednosti preduzećima poput povećane produktivnosti, konkurentnosti i profita. Postojeći proizvodni sistemi uglavnom još uvek ne primenjuju sve koncepte Industrije 4.0, što treba da se promeni u bliskoj budućnosti. Taj jaz koji je otkriven istraživanjem, treba popuniti većim procentom zadovoljenja konceptata Industrije 4.0. Programabilni proizvodni sistem je najpribližniji proizvodnom sistemu koji zahteva Industrija 4.0. Kako bi se dostigli svi principi Industrije 4.0 potrebno je fokusirati se na koncepte, u odnosu na koje postojeći proizvodni sistemi najviše odstupaju od Industrije 4.0, kao što su samokonfiguracija, samooptimizacija, rano usvajanje i prediktivno održavanje.

U radu je ukazano na jaz koji postoji između trenutnih i naprednih proizvodnih sistema. Dat je predlog daljeg razvoja programabilnih proizvodnih sistema kako bi se ispunili svi zahtevi Industrije 4.0. Predstavljen je kategorički okvir proizvodnih sistema Industrije 4.0 sa devet različitih primena, koji predstavlja dobru osnovu za razvoj Industrije 4.0. Na kraju, prikazana je uporedna analiza tradicionalne proizvodne linije i proizvodnog sistema pametne fabrike.

Prethodna verzija ovog rada je objavljena na XIII Skupu privrednika i naučnika, SPIN '21 pod nazivom „Industrija 4.0 - mogućnosti, izazovi i rešenja za digitalnu transformaciju privrede“, gde je rad i izabran za jedan od najboljih radova prezentovanih na pomenutom skupu, videti [2].

#### LITERATURA

- [1] Akdogan, A. (2020). Mass Production Processes, *IntechOpen*, DOI:10.5772/intechopen.83280, ISBN:978-1-83880-215-8.
- [2] A. Đorđević, B. Cvetić (2021), „Napredni proizvodni sistemi Industrije 4.0“, XIII Skup privrednika i naučnika – SPIN '21, „Industrija 4.0 – mogućnosti, izazovi i rešenja za digitalnu transformaciju privrede“, Zbornik radova, Beograd, 08.-09. novembar 2021, Fakultet organizacionih nauka/Centar za operacioni menadžment, Beograd i Privredna komora Srbije – Privredna komora Beograda.
- [3] Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0: The Industrial Internet Of Things, *Apress*. DOI 10.1007/978-1-4842-2047-4.
- [4] Hozdić, E. (2015). Smart Factory for Industry 4.0: A Review, *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, ISSN 2067–3604, Vol. VII, No. 1.
- [5] Ilin, V., Simić, D., Saulić, D. (2019). Logistics Industry 4.0: Challenges and Opportunities, 4<sup>th</sup> Logistics International Conference, *LOGIC*, 23-25 May 2019, Belgrade, 293-301.
- [6] Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained. Available online: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>, poslednji put pristupano 08.03.2022.
- [7] Lasi, H., Fettke, P., Feld, T., Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0, *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4/>
- [8] Morabito, V. (2017). Business Innovation Through Blockchain: The B3 Perspective, Department of Management and Technology, Bocconi University, Milan, Italy.
- [9] Pethuru, R., Preetha, E. (2020). Advances in Computers – The Digital Twin Paradigm for Smarter Systems and Environments: The Industry Use Cases, Volume 117, Academic Press, eBook ISBN: 9780128187579.
- [10] Qin, L., Liu, Y., Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond, *Mechanical and Manufacturing Engineering*. Cardiff University.
- [11] Rahman, A. A. A. (2020). Revolution of Production System for the Industry 4.0, *IntechOpen*, DOI: 10.5772/intechopen.90772.
- [12] Sjödin, D.R., Parida, V., Leksell, M., Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation, *Research-Technology Management*, 61:5,22-31, DOI: 10.1080/08956308.2018.1471277.
- [13] Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A. (2018). Data – Driven Smart Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, The Society of Manufacturing Engineers, 48(C), 157-169, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- [14] Ustundag, A., Cevikcan, E. (2018). Industry 4.0: Managing The Digital Transformation, Springer.
- [15] Wang, S., Wan, J., Li, D., Zhang, C. (2015). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1). <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>.
- [16] Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R.Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., Xu, X. (2018). Smart Manufacturing Systems for Industry 4.0: Conceptual Framework, Scenarios, and Future Perspectives, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150. doi: 10.1007/s11465-018-0499-5.

#### Andela Đorđević

Andela Đorđević je saradnik u nastavi na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Diplomirala je na smeru Operacioni menadžment, dok je master diplomu stekla na modulu Računarski integrisana logistika, proizvodnja i lanci snabdevanja na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Njena trenutna istraživačka interesovanja su mogućnosti integracije Blockchain tehnologije i lanaca snabdevanja. Doktorske studije, smer Kvantitativni menadžment na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu je upisala 2021. godine.



#### Biljana Cvetić

Biljana Cvetić je docent na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Diplomirala, magistrirala i doktorirala je na smeru Operacioni menadžment na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Takođe je stekla master diplomu iz sistema industrijskog inženjeringa na Ecole Centrale Paris u Francuskoj. Njena istraživačka interesovanja obuhvataju logistiku i upravljanje lancima snabdevanja, kao i upravljanje računarski integrisanom proizvodnjom.



## info m

### UPUTSTVO ZA PRIPREMU RADA

1. Tekst pripremiti kao Word dokument, A4, u kodnom rasporedu 1250 latinica ili 1251 ćirilica, na srpskom jeziku, bez slika. Preporučeni obim – oko 10 strana, single prored, font 11.
2. Naslov, abstrakt (100-250 reči) i ključne reči (3-10) dati na srpskom i engleskom jeziku.
3. Jedino formatiranje teksta je normal, bold, italic i bolditalic, VELIKA i mala slova (tekst se naknadno prelama).
4. Mesta gde treba ubaciti slike, naglasiti u tekstu (Slika1...)
5. Slike pripremiti odvojeno, VAN teksta, imenovati ih kao u tekstu, radi identifikacije, u sledećim formatima: rasterske slike: jpg, tif, psd, u rezoluciji 300 dpi 1:1 (fotografije, ekranski prikazi i sl.), vektorske slike – cdr, ai, fh,eps (šeme i grafikoni).
6. Autor(i) treba da obavezno priloži svoju fotografiju (jpg oko 50 Kb), navede instituciju u kojoj radi, kontakt i 2-4 oblasti kojima se bavi.
7. Maksimalni broj autora po jednom radu je 5.

Redakcija časopisa Info M