

INDUSTRIJA 4.0: STVARNOST ILI PREDVIĐANJE (Pozivni referat)

Hon.D.Sc. Predrag Dašić, email: dasicp58@gmail.com

Faculty of Strategic and Operational Management (FSOM), 11070 Novi Beograd, Republic of Serbia; SaTCIP Publisher Ltd., 36210 Vrnjačka Banja, Republic of Serbia

Prof.dr. Raul Turmanidze, email: inform@gtu.ge

Georgian Technical University (GTU), Tbilisi (GEORGIA)

Sažetak: U novom realnom svetu sve postaje digitalno i pametno (smart): digitalni gradovi, pametne fabrike, pametne kuće, pametni automobili, pametni telefoni itd. Pametne fabrike predstavljaju novu proizvodnu filozofiju nazvanu Industrija 4.0 (četvrta industrijska revolucija). To je nova generacija digitalizovanih fabrika koje su zasnovane na kombinaciji sajber-fizičkih sistema (CPS) i digitalnih tehnologija, za obezbeđenje integralnog i inteligentnog sadejstva procesa proizvodnje, u kojoj se povezuju fizički, digitalni i virtuelni svet. U radu je dat pregled sistema i tehnologija u novim pametnim fabrikama (Industriji 4.0).

Ključne reči: Industrija 4.0, pametna fabrika, sajber-fizički sistem (CPS).

INDUSTRY 4.0: REALITY OR PREDICTION (Keynote paper)

Abstract: In the new real world everything becomes digital and smart: digital cities, smart factories, smart homes, smart cars, smartphones, etc. Smart factories represent a new manufacturing philosophy called Industry 4.0 (the fourth industrial revolution). It is a new generation of digitized factories that are based on a combination of cyber-physical systems (CPS) and digital technologies, to provide an integrated and intelligent synergy in production process, linking the physical, digital and virtual world. This paper provides an overview of systems and technologies in new smart factories (Industry 4.0).

Keywords: Industry 4.0, smart factory, cyber-physical system (CPS).

1. Uvod

Promene u dinamici razvoja društva tokom vremena dovode do sve bržih promena i razvoja različitih koncepcija naučno-tehnološkog progressa. U dosadašnjem razvoju društva, odn. naučno-tehnološkom progressu, primena znanja na različita područja ljudske delatnosti dovela su do revolucionarnih promena. Razlikuju se četiri koncepcije u razvoju društva, počev od poljoprivrednog društva, preko industrijskog do informatičkog i društva znanja.

U novom društvu glavni proizvod je znanje. Otuda i ona poznata izreka "Znanje je moć". Da bi zemlja imala uspeh i da bi proizvodila u budućnosti u novom društvu znanja ona mora da transformiše proizvodnju od delatnosti zasnovane na radnoj snazi u delatnost koja je zasnovana na znanju, pa samim tim i na savremene softverske tehnologije i sisteme i pametne fabrike (zasnovane na znanju i cloud-u).

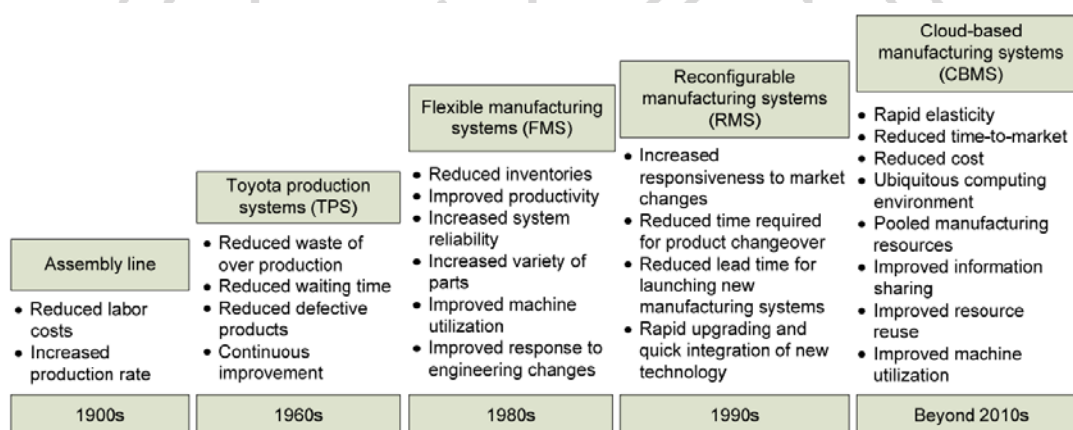
2. Razvoj novih proizvodnih sistema

Trend razvoja proizvoda i tehnologija uslovljen je i prati i trend razvoja proizvodnih sistema ili obrnuto.

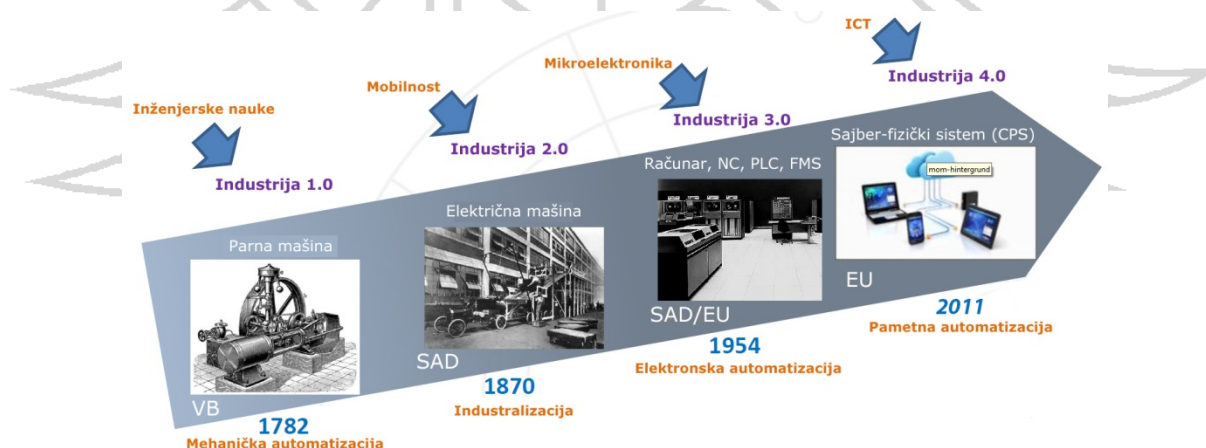
Razvoj novih proizvodnih sistema (materijalne tehnologije), koje su omogućile automatizaciju i upravljanje tehnoloških procesa u proizvodnji, podrazumeva razvoj i primenu fleksibilnih, agilnih, rekonfigurabilnih, inteligentnih, održivih, cloud-zasnovanih i sl. proizvodnih sistema (FMS, AMS, RMS, IMS, SMS, CBMS i sl.), robota, upravljačkih jedinica (NC, CNC i DNC), kontrolera (PLC, PIDC, DMC, IMC, MFC, MPC, MRC i sl.), mikro-procesorskih tehnologija, mikro-računara, mašina upravljanih računarom, nano-tehnologija itd.

U zavisnosti od autora evolucija proizvodnih sistema posmatrana je sa dva kompatibilna aspekta:

- evolucija razvoja različitih tipova proizvodnje i različitih tipova proizvodnih sistema (od AL, PL, MPS, TPS, LM, FMS, IMS, RMS, AMS, HMS, ABMS, BMS, SMS, do CPS i CBMS) (sl. 1) i
- evolucija različitih industrija ili različitih generacija industrijskih koncepata proizvodnje (od Industrije 1.0, 2.0, 3.0 do 4.0) (sl. 2).



Slika 1: Evolucija različitih tipova proizvodnih sistema



Slika 2: Evolucija različitih generacija industrijskih koncepata proizvodnje

3. Od Industrije 1.0 do Industrije 4.0

Industrija 1.0 (prva industrijska revolucija) podrazumeva mehanizaciju proizvodnje i mehaničku automatizaciju proizvodnih sistema. Početak Industrije 1.0 povezana je sa pronalaskom prve parne mašine, koju je 1764. godine usavršio škot James Watt. Ona je izazvala veliki preokret u proizvodnji, jer se ručna proizvodnja počela menjati u mašinsku, pa samim tim i na mašine sa pogonom na vodu i paru. Industrija 1.0 je počela u Velikoj Britaniji (VB) i proširila se na Zapadnu Evropu i Severnu Ameriku u toku nekoliko sledećih decada.

Industrija 2.0 (druga industrijska revolucija) podrazumeva industrijalizaciju sa korišćenjem montažnih linija (AL), proizvodnih linija (PL), masovne proizvodnje (MP) i proizvodnih sistema sa upotrebom električne energije. Industrija 2.0 odvijala se u drugoj polovini XIX i prvoj polovini XX veka i nju karakteriše upotreba novih pogonskih goriva (nafta i električna energija) i primena montažnih (AL) i proizvodnih linija (PL).

Drugu polovinu XIX veka karakteriše otkriće prvog izvora nafte 1859. godine u SAD, pronalazak prve električne sijalice koju je 1879. godine izumeo Thomas A. Edison i pronalazak motora sa naizmeničnom strujom kojeg je 1887. godine izumeo Nikola Tesla.

Primena montažnih (AL) i proizvodnih linija (PL) krajem XIX i u prvoj polovini XX veka karakteriše početak serije inovacija različitih pokretnih traka koje je, od 1892. godine pa nadalje, realizovao Thomas Robins, koje su dovele do razvoja pokretnih traka, koje su se koristile za prenos uglja, ruda i drugih proizvoda, implementacija prve montažne linije sa pokretnom trakom u automobilske industriji u 1913. godini od strane Henry Ford-a u svojoj firmi Ford Motor Co. i sl.

Industrija 3.0 (treća industrijska revolucija) podrazumeva kombinaciju računarske i elektronske automatizacije proizvodnih procesa upotrebom računara i novih tehnologija. Bila je aktuelna u drugoj polovini XX veka. Karakteriše primenu savremenih proizvodnih sistema (LPS, FMS, AMS, RMS, IMS, BMS, HMS, SMS, CBMS i sl.), robota, upravljačkih jedinica (NC, CNC i DNC), kontrolera (PLC, PIDC, DMC, IMC, MFC, MPC, MRC i sl.), standardnih softverskih tehnologija (CAA, CAD, CAE, CAM, CAMA, CAP, CAPP, CAQ, CAR, CAS, CASE, CIM, PLM i sl.) i industrijskih softvera (SCADA i sl.), komunikacionu infrastrukturu, bezbednosni sistem, digitalizovane industrijske servise i sl.) itd.

Početak Industrije 3.0 povezan je sa instalacijom prvog elektronskog računara ENIAC 1946. godine (koji je bio dizajniran i korišćen za izračunavanje balističkih tablica za američku vojsku) i nastavak razvoja računarstva i njihovih tehnologija (razvoj hardvera i softvera).

Drugi pravac povezan je sa početkom numeričkog upravljanja (NC) mašinama alatima i realizacijom prve mašine sa NC pravljanjem 1952. godine u laboratoriji MIT instituta, za potrebe vojnog vazduhoplovstva.

Treći pravac povezan je sa razvojem i primenom automatizacije procesa, mašina alatki i proizvodnih sistema primenom PLC, PIDC, DMC, IMC, MFC, MPC, MRC i drugih kontrolera.

Četvrti pravac povezan je sa razvojem i primenom velikog broja softverskih tehnologija, softverskih sistema i alata i organizacionih i menadžment strategija (nematerijalne tehnologije), kao što su npr.:

- menadžment proizvodne paradigme za planiranje i upravljanje, kao što su npr.: JAT (Just-Ahead-of-Time - upravo ispred vremena), JIC (Just-in-Time - upravo na

događaj), JIT (Just-in-Time – upravo na vreme), SAT (Strategically-Ahead-of-Time - strategijski ispred vremena);

- Mendžment poslovne paradigme, kao što su npr.: TQM (Total Quality Management – totalno upravljanje kvalitetom), TQEM (Total Quality Environmental Management – totalno upravljanje kvalitetom i životnom sredinom), TPM (Total Productive Maintenance – totalno održavanje proizvodnje), CIM (Computer Integrated Manufacturing – računarski integrisana proizvodnja), PLM (Product Life-Cycle Management - upravljanje životnim ciklusom proizvoda) i sl.;
- softverski sistemi i tehnologije podržane računarom CAX (Computer Aided "x"), kao što su npr.: CAA (Computer Aided Assembly - montaža pomoću računara), CAD (Computer Aided Design - projektovanje pomoću računara), CAE (Computer Aided Engineering - inženjering pomoću računara), CALS (Commerce at Light Speed - trgovina brzinom svetla), CAM (Computer Aided Manufacturing - proizvodnja pomoću računara), CAMA (Computer Aided Maintenance - održavanje pomoću računara), CAP (Computer Aided Planning - planiranje pomoću računara), CAPP (Computer Aided Process Planning - planiranje procesa pomoću računara), CAQ (Computer Aided Quality - kvalitet pomoću računara), CAR (Computer Aided Roboting - robotizacija pomoću računara), CAS (Computer Aided Service - servis ili usluge pomoću računara), CAS (Computer Aided Simulation - simulacija pomoću računara), CASE (Computer Aided Software Engineering - softverski inženjering pomoću računara) itd.;
- softverski sistemi za obradu i čuvanje podataka, kao što su npr.: IS (Information System – informacioni sistem), TPS (Transaction Processing System - sistem za transakcionu obradu), MIS (Management Information System - upravljački informacioni sistem), IMIS (Intelligent MIS - inteligentni MIS), OAS (Office Automation System - sistem za automatizaciju kancelarije), OLTP (On-Line Transaction Processing - on-line obrada transakcija), GIS (Geographic Information System - informacioni sistem u geografiji), BIS (Business Information System - poslovni informacioni sistem), ES (Expert System - ekspertni sistem), EIS (Executive Information System - izvršni informacioni sistem), OLAP (On-Line Analytical Processing - on-line analitička obrada), IES (Information Expert System – informaciono-ekspertni sistem) itd.;
- softverske aplikacije za podršku odlučivanju, kao što su npr.: DSS (Decision Support System - sistem za podršku odlučivanju), EDSS (Expert DSS – ekspertni DSS), GDSS (Group DSS – grupni DSS), ODSS (Organizational DSS – organizovan DSS), KB-DSS (Knowledge-Based DSS – DSS zasnovan na znanju), MADSS (Multi-Attribute Decision Support System), MCDSS (Multi-Criteria Decision Support System), MDSS (Multi-Participant DSS – višeučesnički DSS), WB-DDS (Web-Based DSS – DSS zasnovan na Web-u) itd.;
- softverske aplikacije za podršku upravljanju, kao što su npr.: ERP (Enterprise Resource Planning - planiranje resursa preduzeća), SCM (Supply Chain Management - upravljanje lancem nabavki), CRM (Customer Relationship Management - upravljanje odnosima sa kupcem), WfMS (WorkFlow Management System - sistem za upravljanje radnim tokom), E-Commerce itd.

Industrija 4.0 (četvrta industrijska revolucija) je nova generacija digitalizovanih fabrika koje su zasnovane na kombinaciji sajber-fizičkih sistema (CPS) [21-23] i digitalnih tehnologija [9,

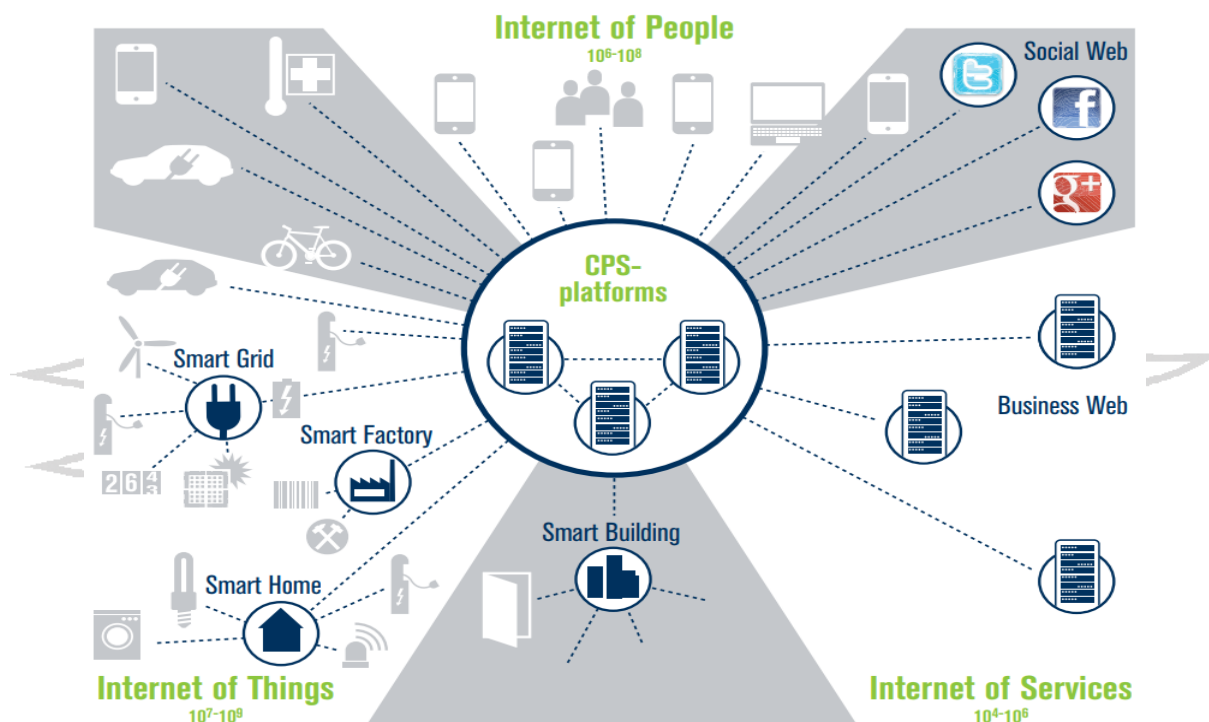
18], za obezbeđenje integralnog i inteligentnog sadejstvo procesa proizvodnje, u kojoj se povezuju fizički, digitalni i virtuelni svet.

U Industriji 4.0 dominiraju nove nematerijalne softverske i menadžment tehnologije, u odnosu na materijalne.

Koristi proizvodne sisteme (FMS, RMS, IMS, AMS, CMS, RMS, SMS, CBMS i sl.), robote, upravljačke jedinice (NC, CNC i DNC), kontrolere (PLC, PIDC, DMC, IMC, MFC, MPC, MRC i sl.) u kombinaciji sa digitalnim tehnologijama [9, 18]: Internet servisi (Internet of Services - IoS), Internet ljudi (Internet of People - IoP), Internet stvari (Internet of Things - IoT), industrijski Internet stvari (Industrial Internet of Things - IIoT), Internet svega (Internet of Everything - IoE), cloud računarstvo (Cloud Computing - CC), sajber-fizički sistemi (Cyber-Physical Systems - CPS), socijalni-sajber-fizički sistemi (Social-Cyber-Physical Systems - SCPS) itd. Na sl. 3 prikazana je struktura i međuzavisnost sistema Industrije 4.0 i pametnih fabrika kao dela Internet tehnologija (IoP, IoT i IoS).

Takođe koristi sve standardne tehnologije primenjene u Industriji 3.0: softverske tehnologije (CAA, CAD, CAE, CAM, CIMA, CAP, CAPP, CAQ, CAR, CAS, CASE, CIM, PLM i sl.) i industrijski softver (SCADA i sl.), komunikacionu infrastrukturu, bezbednosni sistem, digitalizovane industrijske servise i sl.), veliki podaci (BD) i sl. Industrija 4.0 podrazumeva potpunu digitalizaciju svih procesa proizvodnje i primenu pomenutih digitalnih tehnologija prilikom kreiranja ideje o nekom proizvodu, inženjeringu proizvoda, organizaciji proizvodnje, realizaciji proizvodnje, kontroli procesa i pružanja industrijskih usluga. U njoj sve postaje digitalno i pametno (smart): digitalni gradovi, pametne fabrike, pametne kuće, pametni automobili, pametni telefoni itd.

Različiti sistemi Industrije 4.0 i implementacija prikazani su u radovima [1, 3-6, 8, 12-13, 15-17, 19-20, 25], bezbednost u okviru Industrije 4.0 u radovima [1, 10].



Slika 3: Industrija 4.0 i pametne fabrike kao deo Internet ljudi (IoP), Internet stvari (IoT) i Internet servisa (IoS) [11]

Na slici 4 prikazan je radni okvir Industrije 4.0 u kojem su istraživačke oblasti kategorizovane kao pametne: pametno projektovanje i dizajn, pametne mašine, pametni monitoring, pametna kontrola, pametno vremensko terminiranje, pametno planiranje itd. [24].



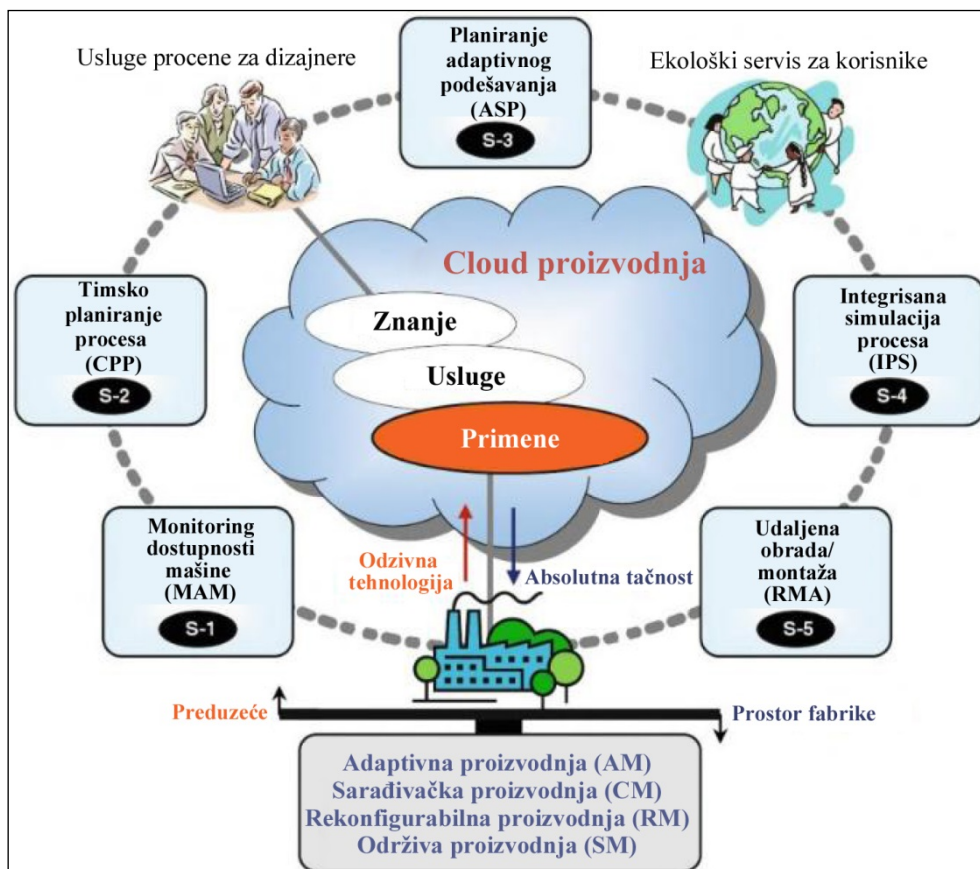
Slika 4: Radni okvir Industrije 4.0 [24]

Nekada, a u nekim delovima sveta i danas, na pomisao da neko može sa komandnog punkta, udaljenog računara ili mobilnog telefona da pokrene ili zaustavi fabriku ili nekoliko fabrika na različitim lokacijama širom sveta bila je samo naučna fantazija ili misaona imenica. Danas je to stvarnost (sl. 4).



Slika 4: Deo koncepta Industrija 4.0 firme Mercedes Benz

Trenutno najsavršeniji oblik proizvodnje predstavlja cloud-zasnovana proizvodnja (CBM) ili kraće cloud proizvodnja (CM) (sl. 6) [2]. CBM obuhvata adaptivnu proizvodnju (AM), sarađivačku proizvodnju (CM), rekonfigurabilnu proizvodnju (RM), održivu proizvodnju (SM), virtualnu proizvodnju (VM) i sl. Koristi cloud servisni model nazvan proizvodnja kao servis (MaaS) [7, 14].



Slika 6: Cloud proizvodna platforma za budućnost [2]

Termin Industrija 4.0 objavljen je 2011. godine na sajmu u Hannover-u (Nemačka). Početkom 2012. godine u Nemačkoj se formira radna grupa za Industriju 4.0 (Industry 4.0 WG), koja je u oktobru 2012. godine nemačkoj saveznoj vladi predstavila niz preporuka za implementaciju nove proizvodne filozofije nazvane Industrija 4.0. Na taj način se članovi radne grupe za Industriju 4.0 (Industry 4.0 WG) smatraju osnivačima i pokretačkom snagom Industrije 4.0. Evropska unija (EU) planira da u narednom periodu digitalizuje svu svoju industriju, od čega se, u narednih pet godina, očekuje povećanje prihoda industrijskog sektora za više od 110 milijardi evra. Takođe, EU planira da, do 2030. godine, investira 1.350 milijardi evra u Industriju 4.0.

4. Zaključak

Iz prethodno navedenih razloga potpuno je opravdana i tvrdnja svetski poznatih ekonomista kako je automatizacija, kompjuterizacija i robotizacija prve tri stvari kojima zemlje u razvoju i tranziciji moraju pristupiti, ako žele da uhvate korak sa razvijenim. Nove proizvodne paradigme: društvo zanja, Industrija 4.0, pametne fabrike i sl., sve više ukazuju da dosadašnji

razvoj ljudske civilizacije, uopšte, a naročito razvoj ljudske civilizacije u budućnosti sve više će zavisiti od položaja nauke i njene primene, a sve manje od količine uloženog rada i proste količine sredstava koja pojačavaju njegovu snagu. Smatra se da će nauka i naučnici postati avangarda novog društva, a nauka i tehnologija su u savremenom svetu osnova naučno-tehnološkog progressa, čiji je razvoj nezamisliv bez transfera znanja i tehnologija.

Sa razvojem Industrije 4.0 povećava se primena, pa samim tim i proizvodnja, automatizovanih i kompjuterizovanih mašina alatki, sistema za automatsko upravljanje i kontrolu, transportnih sistema i robota, a smanjuje proizvodnja klasičnih mašina i sistema.

Dok velika većina srednje razvijenih i nerazvijenih zemalja samo posmatra i čuje o Industrij 4.0 i pametnim fabrikama, to naučnici i istraživači iz razvijenih zemalja već planiraju i osmišljavaju osnovne koncepte Industrije 5.0, pa čak i Industrije 6.0.

Literatura

- [1]Benias, N. & Markopoulos, A.P.: A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0. In: *Proceedings of the South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM-2017)*; Kastoria, Greece; 23-25 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 1-5. eISBN 978-618-83314-0-2. doi: 10.23919/SEEDA-CECNSM.2017.8088234.
- [2]Bi, Z.M. & Wang, L.: Chapter 5: Manufacturing paradigm shift towards better sustainability. In: *Cloud Manufacturing: Distributed Computing Technologies for Global and Sustainable Manufacturing*. London (United Kingdom): Springer-Verlag London Ltd., 2013, pp. 99-119. ISSN 1860-5168 and ISBN 978-1-4471-4934-7. doi: 10.1007/978-1-4471-4935-4_5.
- [3]Dašić, P.: Put ka društvu znanja i trendovi Evropske RTD misije. *IMK-14 Istraživanje i razvoj*, Vol. 12, br. 1-2 [24-25] (2006), str. 77-92. ISSN 0354-6829.
- [4]Dašić, P.; Šerifi, V. & Bulatović, Lj.: Wisdom in knowledge management strategy. *Annals of the Oradea University – Fascicle of Management and Technological Engineering*, Vol. 10 (XX), No. 2 (2011), pp. 5.40-5.48. ISSN 1583-0691. doi: 10.15660/AUOFMTE.2011-2.2291.
- [5]Fricke, A. & Schöneberger, J.C.: Mastering software programming and architecture in Industry 4.0. *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 88, Issue 9 (September 2016), pp. 1226. ISSN 0009-286X. doi: 10.1002/cite.201650485.
- [6]Ganzarain, J.& Errasti, N.: Three stage maturity model in SME's towards Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Vol. 9, Issue 5 (2016), pp. 1119-1128. ISSN 2013-8423. doi: 10.3926/jiem.2073.
- [7]Goldhar, J.D. & Jelinek, M.: Manufacturing as a service business: CIM in the 21st century. *Computers in Industry*, Vol. 14, Issue 1-3 (May 1990), pp. 225-245. ISSN 0166-3615. doi: 10.1016/0166-3615(90)90126-A.
- [8]Hermann, M.; Pentek, T. & Otto, B.: Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: *Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-2016)*; Koloa, Hawaii, USA; 5-8 January 2016. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2016, pp. 3928-3937. ISSN 1530-1605 and eISBN 978-0-7695-5670-3. doi: 10.1109/HICSS.2016.488.

- [9]Höller, J.; Tsiatsis, V.; Mulligan, C.; Karnouskos, S.; Avesand, S. & Boyle, D.: *From machine-to-machine to the internet of things: Introduction to a new age of intelligence*. Oxford (United Kingdom): Academic Press Ltd., 2014. - 352 pp.. ISBN 978-0-12-407684-6.
- [10]Jaradat, O.; Sljivo, I.; Habli, I. & Hawkins, R.: Challenges of safety assurance for Industry 4.0. In: *Proceedings of the 13th European Dependable Computing Conference (EDCC-2017)*; Geneva, Switzerland; 4-8 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 103-106. eISBN 978-1-5386-0602-5. doi: 10.1109/EDCC.2017.21.
- [11]Kagermann, H.; Wahlster, W. & Helbig, J.: *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Munich (Germany): National Academy of Science and Engineering (acatech), 2013. - 80 pp.
- [12]Kaygalak, I. & Reid, N.: The geographical evolution of manufacturing and industrial policies in Turkey. *Applied Geography*, Vol. 70 (May 2016), pp. 37-48. ISSN 0143-6228. doi: 10.1016/j.apgeog.2016.01.001.
- [13]Meissner, H.; Ilse, R. & Aurich, J.C.: Analysis of control architectures in the context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*, Vol. 62 (2017), pp. 165-169. ISSN 2212-8271. doi: 10.1016/j.procir.2016.06.113.
- [14]Moghaddam, M.; Silva, J.R. & Nof, S.Y.: Manufacturing-as-a-Service - From e-work and service-oriented architecture to the cloud manufacturing paradigm. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 28, Issue 3 (May 2015), pp. 828-833. ISSN 2405-8963. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.186.
- [15]Sarvari, P.A.; Ustundag, A.; Cevikcan, E.; Kaya, I. & Cebi, S.: Chapter 5: Technology roadmap for Industry 4.0. In: *Springer Series in Advanced Manufacturing (SSAM): Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Edited by Alp Ustundag & Emre Cevikcan. Cham (Switzerland): Springer International Publishing A.G., 2018, pp. 95-103. ISBN 978-3-319-57869-9. doi: 10.1007/978-3-319-57870-5_5.
- [16]Shehadeh, M.A.; Schroeder, S.; Richert, A. & Jeschke, S.: Hybrid teams of industry 4.0: A work place considering robots as key players. In: *Proceedings of the International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC-2017)*; Banff, AB (Alberta), Canada; 5-8 October 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 1208-1213. eISBN 978-1-5386-1645-1. doi: 10.1109/SMC.2017.8122777.
- [17]Ustundag, A. & Cevikcan, E.: *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. Cham (Switzerland): Springer International Publishing A.G., 2018. - 286 pp. ISBN 978-3-319-57869-9. doi: 10.1007/978-3-319-57870-5.
- [18]Varghese, A. & Tandur, D.: Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. In: *Proceedings of the International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I-2014)*; Mysore, India; 27-29 November 2014. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2014, pp. 634-638. eISBN 978-1-4799-6629-5. doi: 10.1109/IC3I.2014.7019732.
- [19]Wijaya, T.; Caesarendra, W.; Pappachan, B.K.; Tjahjowidodo, T.; Wee, A. & Roslan, M.I.: Robot control and decision making through real-time sensors monitoring and analysis for industry 4.0 implementation on aerospace component manufacturing. In: *Proceedings of the Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM-2017)*; Victoria, BC (British Columbia), Canada; 21-23 August 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics

- Engineers (IEEE), 2017, pp. 1-6. eISBN 978-1-5386-0700-8. doi: 10.1109/PACRIM.2017.8121928.
- [20] Yan, H.; Wang, J.; Wang, Y. & Zhou, X.: An example for Industry 4.0: Design and implementation of a mobile app for industrial surveillance based on cloud. In: *Proceedings of the Enterprise Systems 5th International Conference on (ES-2017)*; Beijing, China; 22-24 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 331-336. eISSN 2572-6609 and eISBN 978-1-5386-0936-1. doi: 10.1109/ES.2017.61.
- [21] Yao, X.; Zhou, J.; Zhang, J. & Boër, C.R.: From intelligent manufacturing to smart manufacturing for Industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. In: *Proceedings of the Enterprise Systems 5th International Conference on (ES-2017)*; Beijing, China; 22-24 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 311-318. eISSN 2572-6609 and eISBN 978-1-5386-0936-1. doi: 10.1109/ES.2017.58.
- [22] Zezulka, F.; Marcon, P.; Vesely, I. & Sajdl, O.: Industry 4.0 – An introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, Issue 25 (2016), pp. 8-12. ISSN 2405-8963. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.12.002.
- [23] Zhang, J.; Yao, X.; Zhou, J.; Jiang, J. & Chen, X.: Self-organizing manufacturing: Current status and prospect for Industry 4.0. In: *Proceedings of the Enterprise Systems 5th International Conference on (ES-2017)*; Beijing, China; 22-24 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 319-326. eISSN 2572-6609 and eISBN 978-1-5386-0936-1. doi: 10.1109/ES.2017.59.
- [24] Zhong, R.Y.; Xu, X.; Klotz, E. & Newman, S.T.: Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, Vol. 3, Issue 5 (October 2017), pp. 616-630. ISSN 2095-8099. doi: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.
- [25] Zhou, J.; Yao, X. & Zhang, J.: Big data in wisdom manufacturing for Industry 4.0. In: *Proceedings of the Enterprise Systems 5th International Conference on (ES-2017)*; Beijing, China; 22-24 September 2017. Piscataway (New Jersey – USA): Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017, pp. 107-112. eISSN 2572-6609 and eISBN 978-1-5386-0936-1. doi: 10.1109/ES.2017.24.