

OMOGUĆAVAJUĆE TEHNOLOGIJE ZA STRUKTURIRANJE SOCIJALNO-KIBERNETSKO-FIZIČKIH PROIZVODNIH SISTEMA

ENABLING TECHNOLOGIES FOR STRUCTURING SOCIO-CYBER- PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS

Elvis Hozdić¹, Seid Žapčević², Zoran Jurković³, Peter Butala¹

¹University of Ljubljana, Aškerčeva ulica 6, SI-1000, Ljubljana, Slovenia

²University of Bihać, Faculty of Technical Engineering Bihać, Ul. "dr Irfana Ljubijankica" bb, 77 000 Bihać

³University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, HR -51000 Rijeka, Croatia

SAŽETAK:

U uslovima sveobuhvatne globalizacije i težnje da zadovolje sve veće zahtjeve globalnog tržišta, a da pri tom ostanu konkurentna, proizvodna preduzeća nastoje strukturirati svoje proizvodne sisteme primjenom savremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija. U radu su predstavljene tehnologije koje omogućavaju takva strukturiranja. Na temelju tehnologija vještačke inteligencije (VI) i internet tehnologija strukturiran je socio-cyber-fizički radni sistem (SKFRS) kao osnovni gradivni element za izgradnju kibernetičkih proizvodnih sistema (KFPS).

Ključne riječi: *Proizvodni sistem, Socijalno-kibernetički radni sistemi*

ABSTRACT:

In the conditions of all-embracing globalization and aspirations to meet the increasing demands of the global market, while remaining competitive, manufacturing companies are trying to structure their manufacturing systems using modern information and communication technologies. This paper presents technologies that enable such structuring. Based on the technology of artificial intelligence (AI) and internet technology, socio-cyber-physical work system (SCPWS) is structured as the basic building block for the building of cyber-physical production systems (CPPS).

Keywords: *Manufacturing system, Socio-cyber-physical work systems*

1. UVOD

Revolucija u svijetu informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT) je prouzročila pojavu interneta. Internet karakteriziraju robusnost i pouzdanost, kvaliteta usluge, skalabilnost i standardizacija. Zahvaljujući internetu danas imamo razvijena pametna okruženja, u vidu pametnih stvari i usluga koja su sposobna komunicirati u cilju postizanja zajedničkih ciljeva, a koji djeluju u sferi kibernetičkog svijeta. U domenu industrijskih procesa internet je doprinio stvaranju pametnih tvornica predstavljajući glavni integrativni faktor u proizvodnom okruženju što je omogućilo povezivanje fizičkih i kibernetičkih elemenata sistema. Savremena informacijsko-komunikacijska i tehnologija vještačke inteligencije omogućuju izgradnju kibernetičkih proizvodnih sistema.

2. SAVREMENE TEHNOLOGIJE ZA STRUKTURIRANJE NAPREDNIH PROIZVODNIH SISTEMA

2.1. Tehnologije vještačke inteligencije

Vještačka inteligencija (*Artificial Intelligence – AI*), predstavlja granu računarske znanosti koja se bavi inteligentnim ponašanjem i pokušava napraviti kompjuterski sistem koji ima znanja za samostalno izvršavanje postavljenih zadataka. Neophodno je odvojiti tradicionalne pristupe od savremenih u pogledu učenja i stvaranja znanja. Znanje je faktor koji definira rješenje zadataka. Računarski sistemi se temelje na dostupnom znanju, a ako znanje nije u redu, posljedično i donošenje odluka bi bilo pogrešno. Vještačku inteligenciju od ostalih računarskih sistema odvaja to što je ona sposobna obavljati pojedine akcije s neizvjesnim ili čak nepotpunim i netačnim znanjem [1]. Te mogućnosti predstavljaju ključne sposobnosti vještačke inteligencije. Danas je razvijeno više metodologija za ostvarivanje tih sposobnosti. Nekoliko ih se uspješno koristi u upravljanju i kontroli distribuiranih proizvodnih sistema, kao što su ekspertni sistemi, vještačke neuronske mreže, genetski algoritmi, fuzzy logika i inteligentni agenti.

Ekspertni sistem (*Expert System - ES*) [2] je inteligentni sistem koji se koristi za rješavanje onih problema koji zahtijevaju znanje, iskustvo i vještina eksperta u danoj oblasti. Savremeni ekspertni sistemi omogućavaju stvaranje inteligentnih softverskih sistema koji su sposobni da rješavaju problem na isti način kao i ljudski stručnjaci u momentu kada se susreću sa određenim problemima. To je moguće na temelju odgovarajućeg znanja koje je pohranjeno u formatu prikladnom za razumijevanje računaru. Znanje, koje je razumljivo mašinama, odnosno zapisano u odgovarajućem mačinskom jeziku, pohranjuje se u tzv. bazama znanja. Ta znanja ekspertni sistem koristi za donošenje odluke u procesu odlučivanja. Osnovni elementi eksperternog sistema su komunikacijski međusklopovi, mehanizmi zaključivanja, baza podataka i baza znanja. Značajna primjena ovakvih sistema je u procesima planiranja, kontrole, održavanja, dijagnosticiranja, monitoringa i inspekcija.

Vještačke neuronske mreže (*Artificial Neural Network – ANN*) razvijene su s namjerom da se fizičkim modelom zamjeni bilo koji biološki sistem. Vještačke neuronske mreže građene su od međusobno povezanih vještačkih neurona (procesora), pri čemu svaki od njih može imati malu lokalnu memoriju. Vještački neuroni predstavljaju programske forme sa osobinama bioloških neurona. Inspirirane su biološkim neuronskim mrežama, te stoga predstavljaju imitaciju visoko paralelne distribuirane računarske strukture ljudskog mozga. Vještačka neuronska mreža je masovni paralelni distribuirani procesor koji posjeduje mogućnost pamćenja iskustvenog znanja [3]. Vještačke neuronske mreže su uglavnom dizajnirane za obavljanje učenja. One mogu generirati nova znanja kroz učenje na temelju primjera iz proizvodnih događaja.

Genetski algoritmi (*Genetic Algorithms – GA*) [4] su heuristička metoda optimizacije koja rješava određene računarske probleme simulirajući mehanizam prirodne evolucije. Genetski algoritmi oponašaju prirodnu evoluciju tako da proces koji se optimizira predstavlja okolinu u kojoj jedinke egzistiraju. Svaka jedinka predstavlja potencijalno rješenje razmatranog problema optimizacije, tj. jednu kombinaciju ulaznih parametara, kodiranih na odgovarajući način. Genetski algoritmi se razlikuju od konvencionalnih optimizacijskih metoda i procedura u temeljnim vidicima kao što su: djelovanje sa kodiranim rješenjima, generiranje rješenja iz populacije rješenja i pojedinačnih rješenja, upotreba troškovne funkcije, upotreba vjerojatnosnih pravila. Značajna primjena genetskih algoritama je u području planiranja i terminiranja, projektovanju radnih naloga, upravljanje transportom i mnogim drugim područjima.

Neizrazita logika (*Fuzzy Logic – FL*) je posebno razvijena metodologija za obradu nesigurnih znanja. Fuzzy logika predstavlja proširenje konvencionalne logike, jer svojom viševrijednosnim statusom omogućava da složene pojave iz realnog svijeta budu opisane matematičkim fuzzy skupovima. Neke od značajnijih primjena su u klimatizacijskoj tehnici, fuzzy regulatori temperature u industriji, mikro-kontrolori u procesnoj i automobilskoj industriji, na području robotskih i transportnih sistema [5].

Istraživanje autonomnih agenata je područje koje se nalazi na samom vrhu vještačke inteligencije. Agentska paradigma predstavlja najdosljedniji pristup za implementaciju distribuiranih sistema. Uz pomoć agenata moguće je u potpunosti realizirati koncept autonomnih distribuiranih

proizvodnih sistema. Agenti [6] predstavljaju softverske komponente postavljene u distribuirano okruženje, koje su u stanju da autonomno obrađuju velike količine informacija, a da pri tome pružaju izvjesnu količinu inteligencije i sposobnosti komunikacije. Inteligentni agenti su softverski entiteti koji izvršavaju određeni skup operacija u korist korisnika ili drugog programa sa izvjesnim stepenom nezavisnosti, a za to koriste izvjesno znanje ili reprezentaciju korisnikovih želja ili ciljeva [7]. Više-agentski sistem (MAS) [8] je sistem koji se sastoji od skupa inteligentnih agenata koji surađuju pomoću definiranih komunikacijskih protokola te su sposobni utjecati na svoju okolinu. Svaki agent ima definirano područje djelovanja nad kojim ima određenu količinu kontrole tj. količinu utjecaja.

2.2. Internet tehnologije

Internet stvari (*Internet of Things – IoT*) je nova brzo razvijajuća paradigma koja se razvija na području savremenih (bežičnih) telekomunikacijskih tehnologija. U biti ideje je skup minijaturnih i primitivnih računarskih uređaja, tj. stvari kao što su RFID, senzora, aktuatora, mobilnih telefona i drugih, koji se koriste sa odgovarajućom shemom, koji grade internetsku mrežu, sposobni da surađuju jedni s drugima u okruženju s namjerom postizanja zajedničkih ciljeva. Prema klasteru Europskih istraživačkih projekata Internet stvari je [9]: “*Stvari su aktivni sudionici u poslovnom, informacijskom i društvenom procesu u kojem im je omogućeno da komuniciraju međusobno i sa okruženjem razmjenjuju podatke i dobivaju informacije od senzora iz okruženja, dok reagiraju samostalno sa stvarima/fizičkim svijetom, djeluju pokretanjem procesa koji generiraju akcije i usluge, sa ili bez direktnе intervencije čovjeka*”. Grubo govoreći, internet stvari znači svjetsku mrežu međusobno povezanih i jednolično povezanih objekata za komunikaciju putem standardnih protokola.

Osnovna ideja internet usluga (*Internet of service – IoS*) je sistemsko korištenje interneta za novi način stvaranja vrijednosti u proizvodnom sektoru. Postoje različiti kutovi iz kojih se može pogledati ovakav pristup. Iz perspektive IKT, uslužno orijentiranih arhitektura (SOA), software-as-a service (SaaS), platform-as-a service (PaaS), i infrastrukture-as-a service (IaaS). SaaS, PaaS, i IaaS su tri najčešće vrste modela pružanja usluga [10]. Ove usluge se obično isporučuju putem standardnih industrijskih interfejsa, kao što su web servisi i servisno orijentirane arhitekture (SOA).

Socijalne mreže (*Social Network – SN*) su jedan od najčešćih pojmovima u svijetu Interneta. One virtualno okupljaju ljude i organizacije ovisno o tome za što su specijalizirane. Tako postoje poslovne, organizacijske i druge socijalne mreže. Socijalnu mrežu može se definirati kao socijalnu strukturu koju sačinjavaju skupine socijalnih aktera (osobe ili organizacije) i kompleksni skup između aktera.

3. KIBERNETSKE STRUKTURE UTEMELJENE NA SAVREMENIM TEHNOLOGIJAMA

Proizvodni sistemi su kompleksni tehnološko-ekonomsko-socijalni sistemi, koji obuhvaćaju subjekte-ljude, znanje, proizvodne procese i pripadajuće mašine i uređaje za izvođenje procesa s namjerom transformacije materijala, energije, informacija i znanja u proizvode i usluge, koji imaju upotrebnu i tržišnu vrijednost uz stalni dinamički utjecaj poremećaja, ograničenja i ciljeva, koji djeluju iz okoline. Proizvodni proces se izvršava uz interaktivno djelovanje materijalnih elemenata, kao što su obradne mašine, obraci, alati, transportna sredstva itd., sa nematerijalnim elementima, kao što su znanje, informacioni tokovi, te također organizacijske i upravljačke strukture [11].

Proizvodne mreže, koje se temelje na komunikacijskim mrežama su prepoznate kao važan organizacijski oblik koji se javlja u proizvodnji. One predstavljaju pravi izazov za planiranje i upravljanje proizvodnim sistemima [12]. Proizvodna mreža pruža osnovu za konkurentnost, inovativnost, agilnost i adaptivnost što omogućava partnerima u mreži međusobnu povezanost kroz (1) oblik dugoročne poslovne koalicije, (2) razvoj međusobnog razumijevanja i sticanja povjerenja, (3) zajedničko reagiranje na poslovne mogućnosti, (4) ostvarenje dobiti sinergijskim učincima koji nastaju kao produkt suradnje i (5) imaju jednak udjel informacija, znanja, resursa, sposobnosti i rizika u poslovnim aktivnostima [12]. Mreže su prepoznate kao kompleksni adaptivni sistemi, koji nastaju na principima geneze a ne kao namjenski projektirane celine [13]. Poznata su dva pristupa za strukturiranje proizvodnih mreža: (1) proizvodne mreže kod kojih su čvorovi mreže cjelokupna

proizvodna preduzeća [14] i proizvodne mreže kod kojih su čvorovi mreže obilježeni autonomnim jedinicama [12]. Iz koncepta proizvodnih mreža čiji čvor definiraju autonomne jedinice proizašao je koncept autonomnog radnog sistema (ARS). ARS raspolaže s funkcionalnošću i kompetencijama, koje su potrebne za upravljanje i operiranje njegovih ključnih proizvodnih procesa, kao što su komunikacija u mreži.

Koncept adaptivnih distribuiranih proizvodnih sistema (ADPS) je zasnovan na konceptu kompleksnih adaptivnih proizvodnih sistema (KAPS) i konceptu dinamičnih proizvodnih struktura [15]. Osnovni element za izgradnju ovakvog koncepta je elementarni radni sistem (ERS).

ERS je osnovni element za izgradnju svakog proizvodnog sistema. ERS čine proces, naprava za implementaciju procesa (NIP) i subjekt. Da bi se postigla odgovarajuća učinkovitost proizvodnog sistema bitno je njegovo strukturiranje. To znači da ne može postojati samo jedan oblik strukture, koji bi bio optimalan za različite proizvodne zadatke. Dakle, strukturu treba razviti za proizvodnju svakog proizvoda pojedinačno. Kompleksni zadatak je strukturiran s razgradnjom zadataka u manje složene zadatke. Za realizaciju koncepta ADPS potrebno je definirati osnovne blokove za izgradnju sa samoučenjem, koje imaju sposobnosti i vještine za obavljanje određenih proizvodnih postupaka. U ADPS uveden je virtualni radni sistem (VRS) [16], sa ciljem da zastupa ERS distribuiran u okolinu.

VRS je agent koji zastupa ERS u informacijskom domenu kao njegov duplikat. Agent VRS je programski entitet koji ima četiri osnovna funkcionalna elementa: perceptor, procjenitelj, efektor i mehanizam zaključivanja. ERS i VRS su povezani preko sučelja. Sučelje omogućava mapiranje informacije o statusu procesa i drugih elemenata ERS za VRS i operatera – subjekta. Autonomija, sposobljenost za određene zadatke, odzivnost, reaktivnost, fleksibilnost i sposobnost za učenje komunikacija su ključni atributi VRS. S tim je radni sistem stekao funkcionalnost potrebnu za rad u distribuiranom okruženju.

Na temelju razvoja savremene informacijsko-komunikacijske infrastrukture (IKI) i interneta stvoreni su uvjeti za stvaranje novog koncepta savremenih proizvodnih sistema sa ciljem povezivanja kibernetskih i fizičkih komponenti proizvodnih sistema.

3.1. Kibernetsko-fizički sistemi

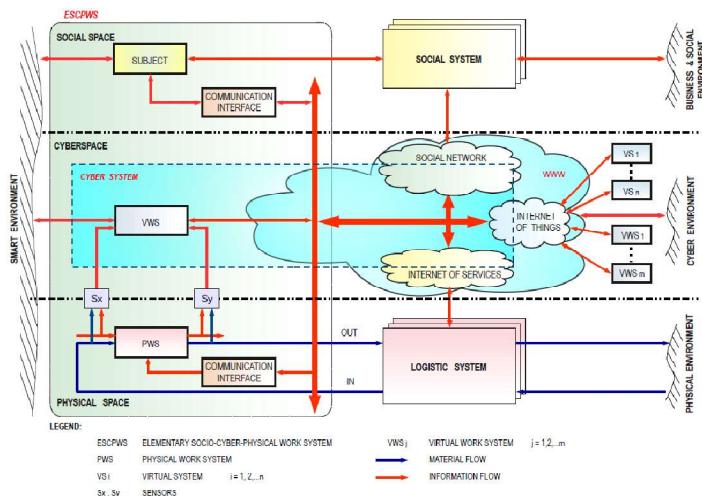
Kibernetsko-fizički sistemi (KFS) su nova generacija sistema koji integriraju računarske i fizičke sposobnosti. Kibernetski sistemi predstavljaju zbir logike i senzorskih jedinica, dok su fizički sistemi zbir aktuatorских jedinica. Kroz sposobnost za interakciju i proširenje sposobnosti fizičkog svijeta koristeći računarsku snagu, komunikacijske tehnologije i kontrolne mehanizme, KFS omogućuju povratne petlje, poboljšanje proizvodnih procesa i optimalnu podršku ljudima u svim procesima donošenja odluka. Oni postavljaju temelje za pouzdano planiranje proizvodnje prema unaprijed automatizovanim proizvodnim procesima uz mogućnost za razmjenu i prijenos informacija [17]. Korištenjem odgovarajuće senzorske tehnologije, KFS su u mogućnosti primiti izravno fizičke podatke i pretvoriti ih u digitalne. Oni omogućavaju dijeljenje informacija na digitalnim mrežama, tvoreći na taj način Internet stvari. Prva područja primjene KFS u industrijskoj proizvodnji svakako su područja robotike i mehatronike, te adaptivnih distribuiranih proizvodnih sistema. Implementacija KFS će biti presudna za efikasan razvoj i rad autonomnih, samoupravnih, proizvodnih sistema temeljenih na znanju i senzorima [18].

3.2. Kibernetsko-fizički proizvodni sistemi

Oslanjajući se na najnoviji razvoj računarskih znanosti, informacijskih i komunikacijskih tehnologija, proizvodne znanosti i tehnologije kibernetsko-fizički proizvodni sistemi nedvojbeno mogu dovesti do nove industrijske revolucije, ili često u naučnim krugovima nazvanoj Industrija 4.0. Razvoj KFPS utemeljen je na postojećim instaliranim sistemima, preko umreženih instaliranih sistema integriranih internetom. Temeljna postavka u pogledu KFPS ogleda se u istraživanju i definiranju odnosa kroz prizmu autonomnosti, kooperativnosti, optimizacije i odziva na postavljene zadatke. Integracijom analitičkih i simulacijskih baziranih pristupa moguće je ta predviđanja opisati podrobnije nego bilo kada ranije. Ovakvi sistemi se moraju suočiti sa nizom novih izazova u pogledu operativnih senzorskih mreža, pametnih aktuatora, baza podataka i mnoštva drugih, prije svega, komunikacijskih protokola. Novi način komunikacije između čovjeka i mašina mora biti uspostavljen već pri samoj

implementaciji novih kibernetičko-fizičkih proizvodnih sistema [19]. Takav sistem danas je moguće prestrukturirati u SKFPS zahvaljujući ekstremno brzom razvoju inteligentnih tehnologija koje uvodimo svakodnevno u proizvodne sisteme. Za strukturiranje SKFPS potrebno je definirati osnovni gradivni element takvih distribuiranih sistema u vidu elementarnog socijalno-kibernetičko-fizičkog radnog sistema (ESKFRS), slika 1 [20]. Ovakav radni sistem koji smo prikazali na slici 1 se sastoji iz tri osnovne cjeline:

- Fizički sistem kao elementarni radni sistem (obradni centar ili više njih, sistemi pozicioniranja, automatizovani stezni pribori, mjerni sistemi i sl.),
- Kibernetički (apstraktni) sistem koji u osnovi čine agentski sistemi (upravljački sistemi, oprema za koordiniranje senzorskih sistema i sl.),
- Socijalni sistem u kom se nalaze radnici, operateri koji upravljaju i nadziru rad radnog sistema u cijelini.



Slika 1: Elementarni socijalno-kibernetičko-fizički radni sistem [20]

Napredni proizvodni sistemi utemeljeni na integraciji fizičkog i kibernetičkog podsistema i podistema ljudi stvaraju mrežne SKFRS, koje predstavljaju sučelje između proizvodnih mreža s jedne i socijalnih, društvenih mreža s druge strane. Ovakvi mrežni sistemi djeluju u pametnom proizvodnom okruženju. Pametno okruženje integrira socijalno-kibernetičko-fizičke elemente omogućavajući im međusobne interakcije. Te interakcije se odvijaju između dodijeljenih pametnih agenata. Pametni agenti učinili su da fizičke komponente proizvodnog okruženja postanu pametni elementi koji komuniciraju sa digitalnim svijetom. Pametni agenti se repliciraju u kibernetičkom podsistemu i grade više-agentske platforme na kojima komuniciraju razmjenjuju informacije socijalno-kibernetičko-fizički elementi pametnog proizvodnog okruženja [21].

U domenu ovakve platforme djeluje inteligentni agent koji zastupa subjekta. Subjekt sa svojim agentom komunicira preko inteligentnih interfejsa, najčešće preko pametnih aplikacija. Daljnja komunikacija subjekta sa ostalim elementima pametnog okruženja odvija se kroz interakciju pametnog agenta subjekta sa agentima koji zastupaju kibernetičke i fizičke elemente pametnog proizvodnog okruženja. Ta komunikacija je kolaborativna što je posljedica sažimanja socijalnih i proizvodnih mreža u pametnom okruženju. Zbog heterogenosti takvih mreža interakcije između agenata unutar platforme su učestale, nepredvidive i sa sobom nose široku lepezu informacija koje utječu na rad sistema. Proizvodni sistemi su izloženi utjecajima koje sa sobom nose proizvodne i socijalne mreže. Ti utjecaji najčešće se impliciraju na karakteristike proizvodnih sistema, kao što su robusnost, proizvodnost, fleksibilnost i pouzdanost. Pametno proizvodno okruženje predstavlja skupni prostor za stvaranje autonomnih radnih jedinica utemeljenih na mrežnom povezivanju osnovnih gradbenih elemenata u vidu SKFRS.

4. ZAKLJUČAK

Kibernetsko-fizički proizvodni sistemi (KFPS), utemeljeni na KFS, se sastoje od autonomnih i kooperativnih elemenata i podsistema, koji se povezuju komunikacijama i interakcijama u različitim situacijama, na svim razinama proizvodnje, od mašina, procesa do proizvodnih i logističkih mreža. Ovakvi mrežni sistemi djeluju u pametnom proizvodnom okruženju. Pametno okruženje integrira socijalno-kibernetsko-fizičke elemente omogućavajući im međusobne interakcije.

5. LITERATURA

- [1] L. Benyoucef and B. Grabot, *Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management*. London: Springer London, 2010.
- [2] E. Turban and J. E. Aronson, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice - Hall Int. 6 Sub edition, 2000.
- [3] I. Aleksandar and H. Morton, *An Introduction to Neural Computing*. International Thomson Computer Press, 1995.
- [4] T. Bach, D. B. Fogel, and Z. Michalewicz, *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators*. CRC Press, 1st edition, 2000.
- [5] F. M. McNeill and E. Thro, *Fuzzy logic: a practical approach*. AP Professional, 1994.
- [6] M. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent Agents: Theory and Practice," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 10, pp. 115 – 152, 1995.
- [7] M. Knopik and J. Johnson, *Developing intelligent agents for distributed systems: exploring architecture, technologies, & applications*. New York, NY, USA: McGraw - Hill, 1998.
- [8] L. Monostori, J. Vancza, and S. R. T. Kumara, "Agent - based systems for manufacturing," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 2, pp. 697 – 720, 2006.
- [9] H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelffle, "Vision and challenges for realising the Internet of Things," *Claster Eur. Res. Proj. Internet Things - CERP IoT*, 2010.
- [10] X. Xu, "From cloud computing to cloud manufacturing," *Robot. Comput. Integrat. Manuf.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–86, Feb. 2012.
- [11] S. Žapčević, *Model samoučečega proizvodnega delovnega sistema*, Doktorsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo Ljubljana, 2013.
- [12] P. Butala and A. Sluga, "Autonomous work systems in manufacturing networks," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 521–524, Jan. 2006.
- [13] T. Y. Choi, K. J. Dooley, and M. Rungtusanatham, "Supply networks and complex adaptive systems," *J. Oper. Manag.*, vol. 19, no. 3, pp. 351–366, 2001.
- [14] H. P. Wiendahl and S. Lutz, "Production in networks," *Ann. CIRP*, vol. 51, no. 2, pp. 573–586, 2002.
- [15] J. Peklenik, "Complexity in Manufacturing Systems," *CIRP J. Manuf. Syst.*, vol. 24, pp. 17 – 25, 1995.
- [16] P. Butala and A. Sluga, "Dynamic structuring of distributed manufacturing systems," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 127–133, Apr. 2002.
- [17] M. Broy, *Cyber-Physical Systems*. Berlin: Springer, 2010.
- [18] D. Spath, S. Gerlach, and S. Schlund, "Cyber-physical system for self-organised and flexible labour utilisation," in *22nd International Conference on Production Research, ICPR 2013*, 2013, p. 6.
- [19] L. Monostori, "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges," in *Procedia CIRP*, 2014, vol. 17, pp. 9–13.
- [20] E. Hozdić, R. Vrabić, and P. Butala, "Conceptualization of socio-cyber-physical production systems (unpublished manuscript)," in *Research work: Model of cyber-physical production system*, 2016.
- [21] E. Hozdić, S. Žapčević, and P. Butala, "Kibernetsko-fizičke strukture za nove autonomne radne sisteme," in *10th International Scientific Conference on Production Engineering, Development and Modernization of Production*, Dubrovnik, 2015.