

PROIZVODNE PARADIGME I KONCEPTI PROIZVODNJE U POGLEDU ZNANJA

Seid Žapčević

Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, ul. Dr. I. Ljubijankića bb, 77000 Bihać,
zapcevic.seid@gmail.com

Ključne riječi: Proizvodni sistemi, proizvodne paradigme, znanje.

SAŽETAK

Prikazana je evolucija proizvodnje kroz promjene proizvodnih paradigmi i razvoj proizvodnih sistema s ciljem, da istaknemo ulogu znanja u proizvodnji.

1. UVOD

Proizvodnja se može definisati kao skup procesa i entiteta, koji su potrebni za projektovanje, razvoj, izradu i distribuciju proizvoda [1]. Proizvodnja je danas, kao što je bila u prošlosti, kamen temeljac ekonomije razvijenih država. Proizvodna industrija se počela razvijati krajem osamnaestog stoljeća, u periodu, koji je nazvan industrijska revolucija. Od tada pa do danas, proizvodna industrija je pretrpila nekoliko revolucionarnih promjena paradigmi, koje su bile izazvane od: (1) promjena zahtjeva tržišta i ekonomije te (2) promjenom društvenih potreba, koje proizlaze iz promjenjenog ponašanja kupaca [2].

2. RAZVOJ PROIZVODNIH PARADIGMI I KONCEPATA U POGLEDU ZNANJA

Promjenom zahtjeva tržišta i društvenih potreba, dolazi kao posljedica do razvijanja novih tipova sistema za proizvodnju industrijskih proizvoda i novih poslovnih modela za njihovu prodaju. Integracija novih proizvodnih sistema sa novim poslovnim modelima i sa arhitekturom proizvoda stvara novu proizvodnu paradigmu [2, 3]. Razvoj nove paradigme je omogućen uvođenjem novih tehnologija, koje omogućuju razvoj novih tipova proizvodnih sistema. Evolucija proizvodnih sistema kroz proizvodne paradigme je diskutirana u [3, 4]. Za svaku novu paradigmu, bio je razvijen novi tip proizvodnog sistema – sistem, koji je utemeljen na novoj tehnologiji i koji omogućava i adresira imperative paradigme. Danas, možemo identificirati pet glavnih proizvodnih paradigmi, koje su označile proizvodnju industrijskih proizvoda u zadnja dva stoljeća: (1) zanatska proizvodnja, (2) masovna proizvodnja, (3) fleksibilna proizvodnja, (4) masovno prilagođavanje i personalizacija te (5) otvoreni kompleksni i adaptivni sistemi. U tabeli 1 predstavljene su glavne karakteristike navedenih proizvodnih paradigmi.

Zanatska proizvodnja označava proizvodnju proizvoda, kojeg zahtjeva kupac, dakle individualnu proizvodnju. Karakteristike zanatske proizvodnje su visoka raznolikost proizvoda, veoma niska količina jednakih proizvoda; mašine su univerzalne, za obavljanje različitih proizvodnih operacija; značajan je ljudski faktor, koji zahtjeva visoko kvalificirane radnike. U zanatskoj proizvodnji znanje o proizvodu, procesima i poslovanju je skoncentrirano uглавama majstora, koji su nerijetko i vlasnici zanatskih radionica. Učenje u radionicama je zasnovano na ugledanju na vješte majstore i učenju na

temelju ličnog iskustva. Dobiveno znanje je skriveno, prešutno znanje, i nalazi se u glavama iskusnih radnika.

Tabela 1: Promjene proizvodnih paradigmi [5].

Paradigma	Zanatska proizvodnja	Masovna proizvodnja	Fleksibilna proizvodnja	Masovno prilagodavanje i personalizacija	Otvoreni kompleksni i adaptivni proizvodni sistemi
Početak perioda paradigmе	~1850	1913	~1980	2000	2020
Društvene potrebe	Prilagođeni proizvodi	Niska cijena proizvoda, produktivnost	Različitost proizvoda	Prilagođeni proizvodi	Na zahtjev prilagođeni proizvodi
Karakteristika tržišta	Veoma mala količina po proizvodu	Stalna potražnja – velike serije	Smanjenje veličine serije	Globalna proizvodnja i promjenjiva potražnja	Globalna proizvodnja i promjenjiva potražnja
Poslovni model	Vuci: prodaj-izradi-sklopi	Guraj: razvij-izradi-sklopi-prodaj	Guraj-Vuci: razvij-izradi-prodaj-sklopi	Vuci: razvij-prodaj-izradi-sklopi	Vuci: razvij-prodaj-izradi-sklopi
Ključna tehnologija	Električna energija	Izmjenljivi sastavni dijelovi	Računarska tehnologija	Informacijska tehnologija	Informacijska i komunikacijska tehnologija
Ključna proizvodna tehnologija	Alatne mašine	Pokretna montažna traka	Fleksibilni proizvodni sistem, industrijski robot	Rekonfigurableni proizvodni sistem	Samo-organizirajući agenti
Znanje	Vještina i iskustvo pojedinca	Principi naučnog upravljanja	Pohranjivanje i korištenje podataka i informacija	Upravljanje znanjem	Sljedeća generacija upravljanja znanjem

Masovna proizvodnja tradicionalno demonstrira prednost u proizvodnji velikih serija, gdje proizvedene količine mogu snositi velike troškove ulaganja u opremu, rad alatom, inženjeringu i učenje. Zbog većih količina jednakih proizvoda proizvodni troškovi su na jedinicu proizvoda niži i to povećava broj osoba, koje mogu kupiti proizvod. Fordova inovacija pokretne trake za montažu iz 1913. godine označava početak ove paradigmе, koja je cvjetala veći dio 20. stoljeća. U ovom tipu proizvodnje razvili su se namjenski proizvodni sistemi, kao što su namjenske proizvodne linije, u kojima su mašine zamjenile ljudske vještine. Ova paradigma temelji na principima naučnog upravljanja [6]. Suštinu naučnog pristupa čini pronaalaženje tzv. „najboljeg načina“ obavljanja određenog posla. Naučno upravljanje je pojam, kojim se označava filozofija i grupa metoda i tehniku, koje se zasnivaju na proučavanju organizacije posla na nivou operacija s ciljem povećanja efikasnosti. Ovdje se pokušava kroz procedure i normative o radu prenijeti znanje iskusnih radnika iz tacitnog znanja u eksplisitno znanje.

Fleksibilna proizvodnja je paradigma koja treba da odgovori na zahtjeve za brzom promjenom u strukturi mašinske i programske opreme, čime se mogu brzo podešiti kapaciteti i funkcionalnost u okviru familije proizvoda. Fleksibilni proizvodni sistem (FPS) je definisan kao [3]: „*Integrirana grupa procesnih jedinica, takvih kao CNC alatnih mašina, povezanih automatiziranim sistemom za*

rukovanje materijala, čiji rad je upravljan nadzornim kompjuterom. Njegova struktura često sadrži prekomjernu sposobnost, koja rezultira u nepotrebnim troškovima za kupce [7]. Pri tom su FPS projektirani za definisani spektar proizvoda, zato su kompleksni i nisu dovoljno pogodni za prilagođavanje u smislu kapaciteta u pogledu na potrebe. Također, nije moguća postupna promjena njihove funkcionalnosti [8]. FPS su u osnovi konfigurabilni ali ih kasnije nije moguće rekonfigurirati. Sposobnost pohranjivanja i upotrebe podataka i informacija pokazala se kao jedan od ključnih faktora za efikasnost fleksibilnih proizvodnih sistema. U fleksibilnoj proizvodnji se počelo sa širokom upotrebljom podataka, koji su prvi nivo znanja, da bi osigurali konstantnu kvalitetu proizvoda i optimizaciju proizvodnih procesa u smislu vremena. Ponekad označeni kao sirova inteligencija ili evidencija, podaci rezultiraju iz promatranja i mjerjenja i mogu biti korišteni u primitivnim porukama automatizacije niskog nivoa. Da bi podesno koristili podatke za analizu i optimizaciju oni moraju biti organizirani tj. uređeni, klasificirani i indeksirani. Ova kontekstualizacija transformira podatke u informaciju [9]. Posljedica masovnog prikupljanja podataka je razvoj novih tehnologija, kao što su kompjuterom podržano upravljanje dokumenta i upravljanje bazama podataka. Dalji razvoj je donio tehnologije inženjeringu znanja i ekspernih sistema. Koncept ekspernih sistema dopunjava upotrebu znanja iz tradicionalnih pisanih izvora, kao što su knjige i revije, koji čekaju kao „pasivni objekti“ da budu nađeni, interpretirani i onda korišteni, s novim interaktivnim izvorima, koje je moguće međusobno povezati da djeluju i surađuju sa korisnicima.

Masovno prilagođavanje je paradigma, koja proizlazi iz promjenjive potrebe društva i koju bi mogli definisati kao „*proizvođenje dobara i usluga da bi ispunili individualne potrebe kupca sa učinkovitošću blizu masovnoj proizvodnji*“ [10]. Društvena potreba za većim izborom proizvoda je imperativ ove paradigmе. Pri tom je cilj povećanje različitosti proizvoda po niskoj cijeni proizvodnje. Uvođenje kompjutera u industrijske operacije je pobudilo razvoj fleksibilne automatizacije, koja omogućava masovno prilagođavanje – to jest proizvođenje varijabilnih proizvoda u okviru familije proizvoda po konkurentnoj cjeni. Ovo omogućava prodaju mnogim različitim kupcima „prilagodenih“ proizvoda po cijenama, koje su uporedive sa cijenama masovne proizvodnje [2, 3]. Karakteristike FPS perfektno odgovaraju tržištu sa stabilnom potražnjom, koje zahtjevaju sistemi sa fiksiranim kapacetetom. FPS, ipak ne odgovaraju nestabilnim tržištu sa fluktuacijom u potražnji proizvoda kao što je slučaj u eri globalizacije. Odgovor istraživanja i razvoja na ovu novu situaciju su rekonfigurabilni proizvodni sistemi (RPS). U RPS se kapacitet može brzo prilagoditi zahtjevima tržišta. Također, sistem može brzo prilagoditi strukturu za proizvodnju novog proizvoda, ili da nadograđi funkcionalnost za proizvođenje različite vrste proizvoda. RPS dakle omogućava preduzeću, da se brzo odziva na nove uvjete tržišta, s čim omogućava konkurentnu prednost preduzeća. Rekonfigurabilni proizvodni sistem je definisan kao [11]: „*Rekonfigurabilni proizvodni sistem (RPS) dizajniran je za nagle promjene u strukturi, kao i u hardverskim i softverskim komponentama, da bi brzo prilagodio proizvodni kapacitet i funkcionalnost u okviru familije dijela u odgovoru na iznenadne promjene na tržištu ili regulatornim zahtjevima*“. Kroz evoluciju fleksibilnih proizvodnih sistema i kompjuterom integrirane proizvodnje poboljšali su se postupci za upravljanje informacijama i podigli na novi nivo, tj. upravljanje znanjem. Znanje je, za podatke i informacije, što je integrirano preduzeće za fleksibilnu proizvodnju [9]. Ova misao, zajedno sa standardizacijom podržanom od integrirane infrastrukture, je označila promjenu u upravljanju znanjem, novu disciplinu u obradi podataka koja je počela da se prepozna i razvija. Razvojem informacionih tehnologija dolazi do brzog razvoja upravljanja znanjem u globalnoj proizvodnoj paradigmi, tako da prepoznajemo dvije generacije upravljanja znanjem. Prva generacija upravljanja znanjem radi na principu da znanje već postoji, i ono može biti upravljano u eksplicitnom obliku – svjet kodifikacije. To je iskorištanje onoga što mi već imamo. Druga generacija fokusira na učenju i povezivanju informacija sa pojedincima. U ovoj generaciji upravljanja znanjem stvara se novo znanje kroz učenje. Znanje je „ljepljivo“ i mora biti povezano sa pojedincem ili zajednicom.

Otvoreni kompleksni i adaptivni sistemi predstavljaju proizvodnu paradigmu budućnosti. Ne postoji sumnja da će jedna od glavnih karakteristika kompleksnih i adaptivnih proizvodnih platformi u budućnosti biti sve veća iskoristivost informacionih i komunikacionih tehnologija. Kompleksni sistemi se opisuju kao nova naučna granica koja napreduje u posljednjim desetljećima u naprednu i

modernu tehnologiju i povećava interes prema ponašanju prirodnih sistema. Glavna ideja nauke u kompleksnim sistemima je razvoj kroz konstantni proces rekonstruisanja modela sa stalnim poboljšavanjem znanja. Karakteristike sistema više komponenata su da se razvijaju i prilagođavaju usljud unutarnjih i vanjskih dinamičkih interakcija. Općenito, kompleksni sistemi imaju mnogo autonomnih jedinica (holoni, agensi, sudionici, pojedinci) sa adaptivnim sposobnostima (samoorganizacija, evolucija, učenje, itd.) koji kroz interakciju pokazuju važan pojavn fenomen, koji ne može biti izveden na bilo koji jednostavan način iz znanja pojedinog elementa. Jedan od najvećih izazova nauke o kompleksnim sistemima je razumjevanje veze element – sistem ili kako odrediti osobine na mikro nivou ili bar utjecaj tih osobina na ponašanje sistema na makro nivou. Nova granica za proizvodnu industriju je u postizanju bržeg odgovaranja na tržišne promjene kao i zahtjeve kupaca. Upravljanje znanjem u paradigmi otvorenih kompleksnih i adaptivnih proizvodnih sistema se temelji na trećoj generaciji upravljanja znanja, koja fokusira na ugrađivanju upravljanja znanja u radne procese i procese odlučivanja. Dijeljenje znanja postaje svakodnevni posao, koje je ugrađeno u radne procese i ostvareno od strane vođstva. Ono postaje dio kulture preduzeća. Dalje su predstavljeni neki uspješni i za dalji razvoj proizvodnih sistema važni koncepti, koji su se razvili u posljednje dvije decenije.

2.1. Holonski proizvodni sistem

Holonski proizvodni sistem (HPS) je jedan od novijih proizvodnih koncepcata, koji pokazuje jedan od trendova razvoja prema paradigmi otvorenih kompleksnih adaptivnih proizvodnih sistema. HPS se sastoje od autonomnih, inteligentnih, fleksibilnih, distribuiranih i kooperativnih agenata ili holona. Riječ „holon“ je sastavljena iz grčke riječi „holos“ što znači cjelina i sufiksa „-on“, kao u proton ili neutron, koji sugeriraju česticu ili dio. U [12] definirana su tri osnovna tipa i to holoni resursa, holoni proizvoda i holoni narudžbe, koji zajedno s glavnim informacionim tokovima tvore cjelinu ili HPS. Holon resursa sadrži fizički dio, naime jedan resurs za proizvodnju (npr. obradna mašina), koja sačinjava proizvodni sistem i dijela za obradu informacija, koji kontrolira pripadajući resurs. Holon resursa je apstrakcija proizvodnih sredstava, takvih kao fabrika, radionica, mašina, robota, transporter, cjevovoda, paleta, komponenata, sirovina, alata, nosača alata, skladišta materijala, osoblja, energije, površina itd. Holon proizvoda raspolaže sa znanjem o procesu i proizvodu, da bi osigurao korektnu izradu proizvoda sa odgovarajućom kvalitetom. Holon proizvoda raspolaže sa cjelovitim i aktuelnim informacijama o životnom ciklusu proizvoda, zahtjevima kupaca, konstrukciji, planovima procesa, materijalu, procedurama za osiguranja kvalitete, itd. Holon proizvoda djeluje kao informacioni server za druge holone u HPS. Holon narudžbe predstavlja proizvodni nalog. Odgovoran je za tačno i pravovremeno izvođenje dodjelenog rada. Upravlja s fizičkom proizvodnjom koja se proizvodi, modelom stanja proizvoda i obrađuje sve logističke informacije povezane za posao. Holon narudžbe može predstavljati narudžbe kupaca, narudžbe za pravljenje zaliha, narudžbe za izradu prototipa, narudžbe za održavanje i popravku resursa, itd. Holon narudžbe izvodi zadatke, koji su tradicionalno dodjeljeni dispečeru, poslovođi i mikroplaneru. Znanje o procesu sadrži informacije i metode o tome, kako izvesti određeni proces na određenom resursu. To je znanje o sposobnostima resursa, sposobnosti procesa, relevantnim parametrima procesa, mogućim rezultatima procesa, itd. Znanje o proizvodnji predstavlja informacije i metode o tome, kako proizvesti određeni proizvod koristeći odredene resurse. To je znanje o mogućim nizovima procesa, koji bi se izvršili na određenim resursima, strukturama podataka da predstave rezultate procesa, metodama za pristup informacijama planova procesa, itd. Znanje o izvršenju proizvodnog procesa sadrži informacije i metode u pogledu napretka izvršavanja procesa na resursima. To je znanje o tome, kako pripremiti resurse za početak izvođenja procesa, pripremiti rezervacije termina, nadgledati napredak izvršavanja, kako prekinuti i ponovo pokrenuti proces, itd.

2.2. Fraktalni proizvodni sistem

Fraktalni proizvodni sistem (FrPS) je koncept, izведен iz koncepta fraktalne fabrike [13]. Fraktalni proizvodni sistem je baziran na konceptu autonomnih agenata, koji kooperiraju, označenih kao

fraktali. Riječ fraktal dolazi iz latinske riječi „fractus“, koja znači isprekidan ili raskomadan. Glavna komponenta FrPS je osnovna fraktalna jedinica, koja se sastoji od pet funkcionalnih modula: posmatrač, analizator, rješavač, organizator i izvještač. Termin „fraktal“ može predstavljati cijelu proizvodnu radionicu na najvišem nivou ili fizički mašinu na najnižem nivou. Svaka osnovna fraktalna jedinica pruža usluge sa individualnim ciljem i djeluje nezavisno. Da bi funkcionirao kao koherentna cjelina, ipak, konsistencija cilja se održava kroz proces formiranja cilja, koji je podržan mehanizmom nasljedstva. Glavne karakteristike fraktala su samo-organizacija, samo-optimizacija, ciljana orijentacija, samo-sličnost i dinamičnost. Takve karakteristike mogu biti opisane i modelirane koristeći „koncepte agenta“ u distribuiranoj okolini.

2.3. Bionički proizvodni sistem

Bionički proizvodni sistemi su predloženi [14] kao koncept sljedeće generacije proizvodnih sistema. Njihov cilj je, da se bave sa nedeterminističkim promjenama u proizvodnim okolinama s idejama i konceptima, koji proizlaze iz bioloških sistema, kao što su rast, samo-organizacija, oporavak, adaptacija i evolucija. Ove funkcije su u biološkim organizmima kodirane u dva tipa bioloških informacija, tj. genetske informacije, koje evoluiraju kroz generacije (DNA-tip) i individualne informacije, koje se postignutu za vrijeme životnog vijeka pojedinog organizma (BN-tip). Ujedinjenje genetskih i individualnih informacija omogućava, da su živi sistemi kompleksni i adaptivni. Svi elementi bioničkih proizvodnih sistema, kao što su materijali, alatne mašine, transporteri, roboti itd. su uporedivi sa autonomnim organizmima. Sirovine, iz kojih je izrađen proizvod, unose svoje vlastite informacije DNA-tipa. Proizvodna oprema omogućava „rast“ proizvoda na osnovi informacije, koje su većinom BN-tipa. Proizvod kroz upotrebu neprekidno dobiva informacije BN-tipa kao znanje. Na toj osnovi je proizvod sposoban, da se autonomno bavi kvarovima, da se lako reciklira i odlaže, da se ove informacije upotrebljavaju pri razvoju – evoluciji sljedeće generacije proizvoda.

2.4. Proizvodne mreže

Iako je kooperacija u industriji već bila praksa proizvodnih preduzeća, u skorašnjim godinama ekonomski pritisak se znatno povećao i prisilio preduzeća, da uspostave kooperativne strukture. Dalji korak razvoja oblika sudjelovanja između proizvodnih preduzeća je oblikovanje proizvodnih mreža ili mreža za snabdjevanje. Mreže preduzeća nude novi potencijal za poboljšavanje procesa dodavanja dodatne vrijednosti [15]. Glavna ideja proizvodnih mreža je zajednička upotreba resursa i zajedničko planiranje procesa za ostvarivanje dodatne vrijednosti [16]. Proizvodne mreže, koje temelje na komunikacijskim mrežama, su prepoznate kao važni organizacioni oblici, koji se pojavljuju u proizvodnji. Mreže predstavljaju realni izazov za planiranje i upravljanje proizvodnih sistema. U mrežama, upotreba modernih komunikacionih tehnologija će postati glavni faktor uspjeha [15]. „*Proizvodna mreža predstavlja osnovu za konkurentnost, inovativnost, agilnost i prilagodljivost omogućavajući međusobno povezanim partnerima da (1) obrazuju dugoročne poslovne koalicije, (2) razvijaju zajedničko razumjevanje i povjerenje, (3) zajednički reagiraju na poslovne prilike, (4) dobivaju sinergetske efekte kooperacijom, i (5) dijele informacije, znanje, resurse, kompetencije i rizike*“ [17]. Poznata su dva pristupa u strukturiranju proizvodnih mreža: (1) proizvodne mreže čiji su čvorovi cijela proizvodna preduzeća [15] i (2) proizvodne mreže, čiji su čvorovi autonomne jedinice [17]. Da bi upravljali strukturalnu kompleksnost proizvodne mreže, u [17] se predlaže koncept autonomnog radnog sistema (AWS), koji predstavlja čvor mreže. U ovom slučaju, blokovi za izgradnju koji sačinjavaju mrežu su relativno jednostavne strukture sa autonomnim ponašanjem.

3. ZAKLJUČAK

Znanje u proizvodnim sistemima, poslovnim modelima i arhitekturi proizvoda je odlučujući faktor za uspjeh i razvoj proizvodnog preduzeća, bez obzira o kojoj se proizvodnoj paradigmi radi. Razvojem proizvodnih paradigmi mijenja se način upotrebe znanja, koji postaje sve značajniji, a razvojem novih tehnologija dolazi do omogućavanja upravljanja znanjem. U zanatskoj proizvodnji dobiveno znanje je

skriveno, prešutno znanje, i nalazi se u glavama iskusnih radnika. U masovnoj proizvodnji se pokušava kroz procedure i normative o radu prenijeti znanje iskusnih radnika iz tacitnog znanja u eksplisitno znanje. U fleksibilnoj proizvodnji se počelo sa širokom upotrebatom podataka, koji su prvi nivo znanja, koji rezultiraju iz promatranja i mjerjenja i mogu biti korišteni u automatizaciji niskog nivoa. Posljedica masovnog prikupljanja podataka je razvoj novih tehnologija, kao što su kompjuterom podržano upravljanje dokumenta i upravljanje bazama podataka. Dalji razvoj je donio tehnologije inženjeringu znanja i ekspernih sistema. Razvojem informacionih tehnologija dolazi do brzog razvoja upravljanja znanjem u globalnoj proizvodnoj paradigmi, tako da prepoznajemo dvije generacije upravljanja znanjem. Prva generacija upravljanja znanjem radi na principu da znanje već postoji, i ono može biti upravljano u eksplisitnom obliku – svjet kodifikacije. To je iskorištavanje onoga što mi već imamo. Druga generacija fokusira na učenju i povezivanju informacija sa pojedincima. U ovoj generaciji upravljanja znanjem stvara se novo znanje kroz učenje. Znanje je „leppljivo“ i mora biti povezano sa pojedincem ili zajednicom. Upravljanje znanjem u paradigmci otvorenih kompleksnih i adaptivnih proizvodnih sistema se temelji na trećoj generaciji upravljanja znanja, koja fokusira na ugrađivanju upravljanja znanja u radne procese i procese odlučivanja.

4. LITERATURA

- [1] Bollinger, J., et al.: *Visionary manufacturing challenges for 2020*, Washington, D.C.: National Academy Press, 1998.
- [2] Jovane, F., Koren, Y. & Boer, C.R.: *Present and future of flexible automation: Towards new paradigms*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52/1:543-560, 2003.
- [3] Koren, Y.: *The global manufacturing revolution, Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2010.
- [4] Wiendahl, H.-P., et al: *Changeable manufacturing – Classification, design and operation*. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 56/2:783-809, 2007.
- [5] Žapčević, S.: *Model samoučećega proizvodnega delovnoga sistema*. Doktorsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2013.
- [6] Taylor, F.W.: *The principles of scientific management*, New York, Herper & Brothers, 1911.
- [7] Landers, R.G., Ruan, J. & Liou, F.: *Reconfigurable manufacturing equipment*, In A.I. Dashchenko, ed. *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories*, Berlin / Heidelberg: Springer Verlag, 79-110, 2006.
- [8] Mehrabi, M.G., Ulsoy, A.G., Koren, Y. & Heytler, P.: *Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems*, Journal of Intelligent Manufacturing, 13:135-146, 2002.
- [9] Dumitache, I. & Caramihai S.I.: *The intelligent manufacturing paradigm in knowledge society*, In P. Virtman & N. Helander, eds. *Knowledge Management*, InTech, 2010.
- [10] Tseng, M.M., Jiao, J. & Merchant M.E.: *Design for mass customization*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 45/1:153-156, 1996.
- [11] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsov, G. & Van Brussel, H.: *Reconfigurable manufacturing systems*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 48/2:527-540, 1999.
- [12] Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L. & Peeters, P.: *Reference architecture for Holonic manufacturing systems: PROSA*. Computers in Industry, 37/3:255-274, 1998.
- [13] Warnecke, H.J.: *The Fractal Company: a revolution in corporate culture*, Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- [14] Ueda, K., Vaario, J. & Ohkura, K.: *Modelling of biological manufacturing systems for dynamic reconfiguration*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 46/1:343-346, 1997.
- [15] Wiendahl, H.-P. & Lutz, S.: *Production in networks*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 51/2:537-586, 2002.
- [16] Frayret, J., D'Amours, S., Montreuil, B. & Cloutier, L.: *A network approach to operate agile manufacturing systems*, International Journal of Production Economics, 74:239-259, 2001.
- [17] Butala, P. & Sluga, A.: *Autonomous work systems in manufacturing networks*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55/1:521-524, 2006.