

DIGITALIZACIJA I AUTOMATIZACIJA – PRIMENA INDUSTRIJE 4.0 ZA UNAPREĐENJE UPRAVLJANJA PROIZVODNOM

DIGITALIZATION AND AUTOMATION – APPLICATION OF INDUSTRY 4.0 FOR PRODUCTION MANAGEMENT IMPROVEMENT

COBISS.SR-ID 162603785

Teodora Rajković

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Katedra za upravljanje proizvodnjom i usluga, Jove Ilića 154, Beograd, Republika Srbija, e-mail: teodora.rajkovic@fon.bg.ac.rs

Izvod

Digitalizacija i automatizacija predstavljaju glavne faktore za unapređenje proizvodnog procesa koje ne mogu da se ostvare bez primene savremenih tehnologija. Mnoge tehnologije, koje čine koncept Industrije 4.0, koriste se za digitalizaciju i automatizaciju proizvodnih procesa, poput: Interneta „inteligentnih“ uređaja, robota, veštačke inteligencije, aditivne proizvodnje, proširene stvarnosti i druge. Cilj ovog rada je da se ukaže na značaj primene tehnologija Industrije 4.0 u proizvodnim preduzećima u cilju digitalizacije i automatizacije proizvodnih procesa. Svrha rada je da se prikažu uspešni primeri primene tehnologija Industrije 4.0 za unapređenje digitalizacije i automatizacije proizvodnih procesa u proizvodnim preduzećima. Namera ovog rada je da se ukaže na značaj primene tehnologija Industrije 4.0, odnosno značaj digitalizacije i automatizacije proizvodnih procesa u cilju unapređenja upravljanja proizvodnjom, kao i poboljšanja konkurentne pozicije preduzeća na tržištu. Ovaj rad će biti od velikog značaja za sva proizvodna preduzeća koja teže primeni savremenih tehnologija, odnosno digitalizaciji i automatizaciji proizvodnih procesa.

Ključne reči: Industrija 4.0, digitalizacija, automatizacija, proizvodnja, primeri

Abstract

Digitalization and automation present the main factors for the improvement of the production process, that cannot be achieved without the application of modern technologies. Many technologies, that form the concept of Industry 4.0, are used for the digitalization and automation of production processes, such as the Internet of Things, robots, artificial intelligence, additive manufacturing, augmented reality and others. The main aim of this paper is to point out the importance of the application of Industry 4.0 technologies in manufacturing companies to digitalize and automate production processes. The purpose of this paper is to present successful examples of the application of Industry 4.0 technologies for the improvement of digitalization and automation of production processes in manufacturing companies. The intention of this paper is to highlight the importance of the application of Industry 4.0 technologies, that is, the importance of digitalization and automation of production processes to improve production management, as well as to improve the competitive position of a company in the market. This paper will be of great importance for all production companies that strive to apply modern technologies, i.e. digitalization and automation of production processes.

Keywords: Industry 4.0, digitalization, automation, manufacturing, examples

1. UVOD

Savremeno poslovno okruženje podrazumeva stalan razvoj proizvoda/usluga, kao i promena u upravljanju proizvodnim procesima [1]. Tehnologije za digitalizaciju i automatizaciju proizvodnog procesa su zastupljene u velikoj meri u savremenom poslovanju, s obzirom da njihova primena u preduzećima pozitivno utiče na smanjenje troškova rada [2]. Digitalizacija i automatizacija procesa proizvodnje omogućava održavanje proizvodnih procesa, donošenje odluka u realnom vremenu i sprovođenje mnogih aktivnosti, od planiranja do realizacije [3]. Ono poboljšava poslovne rezultate i poslovne performanse, štedi vreme, smanjuje korišćenje ljudskih resursa, troškove, kao i broj grešaka koje se pojavljuju u poslovanju i omogućava dostupnost podataka u realnom vremenu. Takođe, digitalizacija povećava nivo automatizacije, prethodeći optimizaciji poslovnih procesa i njihovom reinženjeringu. Autor Schvertner smatra da „digitalna poslovna transformacija predstavlja primenu tehnologija za izgradnju novih poslovnih sistema, modela, softvera i procesa koji rezultiraju većom efikasnošću, većom konkurentskom prednošću i profitabilnijim prihodima”. [4] Isti

autor smatra da su ciljevi digitalne strategije preduzeća povećanje efikasnosti, transformacija poslovanja i unapređenje inovacija, korisničkog iskustva i donošenja odluka. Implementacija digitalnih tehnologija u proizvodnom procesu poboljšava upravljanje performansama, osnažujući proizvodna preduzeća da postignu ili održe konkurentnost na tržištu.

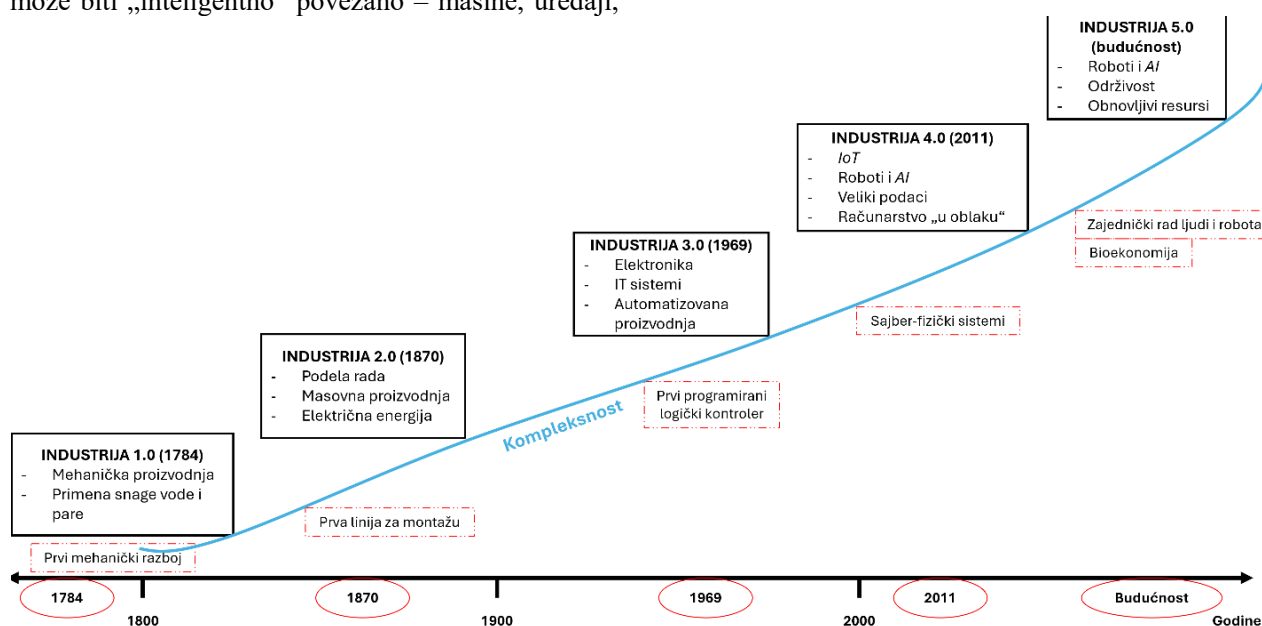
Koncept Industrije 4.0 nastao je u Nemačkoj 2011. godine [5]. Pod ovim konceptom podrazumeva se usvajanje i unapređenje savremenih tehnologija sa namerom da se unapredi nivo primene savremenih tehnologija u preduzećima širom sveta i stvori povezani digitalni svet. Primarni fokus Industrije 4.0 jeste na fleksibilnoj proizvodnji i pružanju bolje podrške za pojedinačnu ili maloserijsku proizvodnju [6]. Zanimljivo je istaći da se industrijska revolucija razvijala dugi niz godina.

Na slici 1. prikazan je razvoj industrijske revolucije, od Industrije 1.0 do danas.

Mnogi autori su se bavili temom industrijske revolucije. Prema većem broju autora [8-14], prva industrijska revolucija (Industrija 1.0), poznata kao doba pare, započeta je sredinom XVIII veka, gde je prvi put

primenjena mehanizacija, tkalački razboj i parna snaga kao zamena za rad ljudi i životinja, ali i povećana je efikasnost rada. Druga industrijska revolucija (Industrija 2.0), poznata kao doba električne energije, nastala je početkom XX veka i podrazumevala je primenu električne energije, trake za montažu i masovnu proizvodnju. Treća industrijska revolucija (Industrija 3.0), poznata kao doba informacija, započeta je krajem XX veka, pojavom računara, mobilnih telefona i drugih tehnoloških uređaja koji su ubrzali komunikaciju i deljenje informacija. Podrazumevala je primenu elektronike, računara i automatike. Četvrta industrijska revolucija (Industrija 4.0), poznata kao doba digitalizacije, započeta je u XXI veku i definisana je kao era digitalizacije, sa fokusom na primeni Interneta, gde sve može biti „inteligentno” povezano – mašine, uređaji,

prostor za skladištenje u „oblaku” i drugo. Podrazumeva primenu mreža, Interneta „inteligentnih” uređaja i sajber-fizičkih sistema. U Industriji 4.0, mašine rade autonomno sa ograničenim učešćem čoveka ili čak bez ljudske intervencije, uglavnom fokusiranih na automatizaciju procesa, kao i na digitalizaciju od početka do kraja procesa. Industrija 4.0 se i dalje razvija, sa snažnom tendencijom potpunog prelaska na novu, petu industrijsku revoluciju (Industriju 5.0). Industrija 5.0 predstavlja budućnost, odnosno potpunu transformaciju proizvodnje u moderan koncept, gde ljudi i mašine zajedno rade u cilju brže i preciznije proizvodnje, sa velikim akcentom na proizvodnji personalizovanih proizvoda i sa ciljem da se želje i potrebe kupaca zadovolje u najvećoj meri.



Slika 1. Razvoj industrijske revolucije, od Industrije 1.0 do Industrije 5.0 (prilagođeno prema [7])
Figure 1 Development of industrial revolution, from Industry 1.0 to Industry 5.0 (adjusted according to [7])

U ovom radu, nakon uvodnog poglavlja, u drugom poglavlju prikazani su osnovni koncepti Industrije 4.0, navedene su osnovne tehnologije koje čine ovaj koncept, kao i objašnjen njihov značaj i primena. U trećem poglavlju predstavljeni su primeri digitalizacije i automatizacije u proizvodnim preduzećima širom sveta. U ovom poglavlju su predstavljeni i rezultati istraživanja sprovedenih u proizvodnim preduzećima Republike Srbije, ukazujući na nivo implementacije ovih tehnologija, kao i spremnost nacionalnih preduzeća za unapređenje poslovanja putem digitalizacije i automatizacije proizvodnje. U četvrtom poglavlju su izvedeni zaključci ovog rada.

2. INDUSTRIJA 4.0 – OSNOVNI KONCEPTI I TEHNOLOGIJE

Autori Buer i sar. [15] razmatraju dva aspekta ključnih pokretača za Industriju 4.0. Prvi aspekt je tehnološki pritisak – brz razvoj tehnologije, poput Interneta „inteligentnih” uređaja, analitike i velikih podataka, sajber-fizičkih sistema, veštačke inteligencije i proširene stvarnosti, dok drugi aspekt odražava potražnju proizvodnih preduzeća za nižim troškovima rada primenom savremenih tehnologija. Autori Salkin i sar.

[16] smatraju da se „transformacija u Industriju 4.0 oslanja na osam osnovnih tehnoloških napretka: analitiku velikih podataka, simulaciju, adaptivnu robotiku, ugrađene sisteme, veštačku inteligenciju, komunikaciju i umrežavanje kao što su sistemi u „oblaku”, industrijski Internet „inteligentnih” uređaja, tehnologije virtualizacije i aditivna proizvodnja”. Autori Rußmann i sar. [17] predstavljaju transformaciju Industrije 4.0 putem: autonomnih robota, simulacije, horizontalne i vertikalne integracije, industrijskog Interneta „inteligentnih” uređaja, sajber sigurnost, računarstva u „oblaku”, aditivne proizvodnje, proširene stvarnosti, velikih podataka i analitike.

Prema različitim autorima [4,16,18-30], tehnologije koje se u najvećoj meri primenjuju za digitalizaciju i automatizaciju proizvodnje, pojedinačno ili integracijom dve ili više tehnologija, sa objašnjenjima kako se tehnologije mogu koristiti za unapređenje upravljanja proizvodnjom u proizvodnji su predstavljene u nastavku:

- **Internet „inteligentnih” uređaja (eng. Internet of Things - IoT) i industrijski Internet „inteligentnih” uređaja (eng. Industrial Internet of Things - IIoT):** predstavljaju međusobno povezane fizičke uređaje (objekte) na Internetu koji prenose i

obrađuju podatke. *IIoT* omogućava umrežavanje fizičkih objekata u proizvodnji i koristi „pametne“ objekte i „pametne“ mreže sa visokim potencijalom da poboljša proizvodne procese i omogući pravovremenu razmenu i prikupljanje podataka. *IIoT* primenjuje više tehnologija, poput tehnologija radio-frekventne identifikacije (eng. *Radio Frequency Identification - RFID*), koja se koristi za identifikaciju i lociranje materijala i proizvoda, bežičnih senzorskih mreža (eng. *Wireless Sensor Networks - WSN*), gde senzori detektuju temperaturu, vlažnost, objekte, tehnologiju mašinskog učenja i drugo;

- **Sajber bezbednost (eng. *Cyber Security - CS*):** koristi se za obezbeđivanje dostupnosti i pouzdanosti informacija i podataka u realnom vremenu. Prime-na *CS* štiti od neovlašćenog korišćenja ili pristupa privatnim i poslovnim podacima preduzeća, omogućavajući bezbedan pristup;
- **Sajber-fizički sistemi (eng. *Cyber-Physical Systems - CPS*):** predstavljaju sisteme koji se sastoje za objedinjavanje stvarnog i digitalnog okruženja, omogućavajući umrežavanje i sinhronizaciju digitalnih i fizičkih alata za postizanje udaljenog praćenja i kontrole akcija i aktivnosti;
- Računarstvo u „oblaku“ (eng. *Cloud Computing - CC*): omogućava skladištenje podataka, pristup podacima i softveru na „oblaku“ na Internetu. Ova tehnologija omogućava povećanu brzinu dostupnosti i korišćenja podataka, sa daljine, sa neophodnim podacima za prijavu, kako bi se sprečila zloupotreba podataka, kao i pristup neovlašćenih lica;
- **Veliki podaci (eng. *Big Data - BD*) i analiza podataka (eng. *Data Analysis - DA*):** veliki podaci predstavljaju veliku količinu strukturiranih i nestrukturiranih podataka akumuliranih iz različitih izvora u različitim oblicima čija obrada zahteva naprednu analitiku (analizu podataka). Prikupljeni podaci moraju biti u odgovarajućem obliku kako bi mogli da se obrađuju, analiziraju i transformišu za uspešno upravljanje proizvodnim procesom, kao i za predviđanja;
- **Aдитivna proizvodnja (eng. *Additive Manufacturing - AM*):** predstavlja tehnologiju koja transformiše digitalni model, napravljen u specijalno predviđenom *CAD* (eng. *Computer Aided Design*) softveru, u opipljiv trodimenzionalni (3D) model, putem aditivnog procesa 3D štampača. Materijali koji se koriste za štampanje na 3D štampaču mogu biti različitih vrsta, poput plastike, keramike, metala i drugo, pa tako pronalaze primenu u različitim industrijama. Aditivna proizvodnja koristi digitalni alat (softver za kreiranje 3D modela) i fizički alat (mašinu, 3D štampač, povezanog sa softverom, koji koristi fizički materijal za štampanje, odnosno transformaciju digitalnog modela u fizički). Ova tehnologija se uglavnom koristi za individualnu proizvodnju ili proizvodnju u malim serijama;
- **Roboti (eng. *Robots*):** predstavljaju mašine koje imaju mogućnost samostalnog i autonomnog izvršavanja određenih zadataka i aktivnosti, podižući nivo automatizacije procesa. Oni obavljaju ponavljajuće, složene i teške zadatke koji smanjuju vreme čekanja operatera na materijale, procese, kao i vreme za popunjavanje dokumentacije. S obzirom da

su roboti povezani sa informacionim sistemima koji optimizuju tokove materijala i prate indikatore i ključne indikatore performansi, primena robota smanjuje greške, minimizira količinu proizvoda za ponovnu obradu, odnosno preradu ili otpad, omogućava analizu podataka u realnom vremenu, smanjuje vreme proizvodnje i čekanja u toku izvršenja operacija, kao i troškove proizvodnje. Roboti prate unapred definisana i programirana uputstva i koriste senzore za skupljanje informacija o svom okruženju, a zatim obrađuju te informacije u cilju kontrole, koordinacije i donošenja odluka;

- **Virtuelna realnost (eng. *Virtual Reality - VR*) i proširena stvarnost (eng. *Augmented Reality - AR*):** predstavljaju tehnologije koje se koriste za virtualizaciju procesa i proširenje ljudske percepcije stvarnosti pomoću alata i opreme za pretvaranje stvarnosti u virtuelnu i proširenu. Ove tehnologije se koriste za proširenje okruženja korisnika i prikazivanje komandi ili vizuelnih prezentacija na korisničkom interfejsu potrebnih za izvršenje aktivnosti. Omogućavaju interakciju čoveka sa mašinom i najčešće se koriste u cilju obuke zaposlenih, kao i izvođenja zadataka u realnom vremenu po unapred definisanim instrukcijama. Za ovu tehnologiju koriste se mnogi dodatni uređaji, poput „pametnih“ naočara;
- **Digitalni blizanci (eng. *Digital Twins - DT*):** predstavljaju digitalnu repliku fizičkog sistema koji se koristi za simulaciju. Uz simulaciju, moguće je ispitati ponašanje sistema u ranoj fazi, bez rizika i troškova povezanih sa implementacijom u fizičkom sistemu. Primena digitalnog blizanca omogućava unapređenje upravljanja životnim ciklusom proizvoda, kao i unapređenje proizvodnje.

3. DIGITALIZACIJA I AUTOMATIZACIJA PRIMENOM TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 – PRIMERI PRIMENE U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA

U poslednjih nekoliko godina, tehnologije za digitalizaciju i automatizaciju su se eksponencijalno razvijale i, na taj način, uticale na preduzeća da poboljšaju efikasnost svog poslovanja, kao i konkurentsku prednost [31]. U radu [32] ističe se da digitalne tehnologije imaju suštinsku ulogu u pokretanju ključnih transformacija u poslovanju. Takođe, isti autori su utvrdili da planiranje proizvodnje, logistika, održavanje, životni ciklus proizvoda, upravljanje podacima i operacije imaju najveći uticaj na digitalnu transformaciju u proizvodnim preduzećima, dok autori [33] u svom radu ističu da je rezultat digitalizacije veći poslovni učinak. Implementacija tehnologija za digitalizaciju i automatizaciju značajno utiče na transformaciju upravljanja proizvodnjom.

Mnoga proizvodna preduzeća implementirala su neke od tehnologija Industrije 4.0, čime su unapredila poslovanje, smanjila troškove, broj grešaka, kao i broj povreda zaposlenih na radu. Zanimljivo je istaći da uslov za uspešnu implementaciju ovih tehnologija jesu zaposleni. Rezultati istraživanja prikazanih u [34] pokazuju da namera ponašanja zaposlenih i njihov stav prema digitalizaciji imaju pozitivan uticaj na samoe-

fikasnost u primeni digitalizacije, dok rezultati istraživanja sprovedenog u radu [35] pokazuje da zaposleni smatraju da primena ovih tehnologija poboljšava kvalitet i efikasnost rada, povećava produktivnost, dok smanjuje količinu otpada i grešaka u radu zaposlenih. Autori u radu [36] su predložiti konceptualni okvir za primenu tehnologije Industrije 4.0 u proizvodnom preduzeću, ukazujući na nivoe usvajanja tehnologije i implikacije za proizvodna preduzeća i ističući da su velika preduzeća spremnija za implementaciju Industrije 4.0, kao i da preduzeća koje ovladaju višim nivoom zrelosti mogu steći veću konkurentsku prednost. Isti autori ističu da tehnologija analitike velikih podataka ima ključnu ulogu u konkurentskoj prednosti, da primena veštačke inteligencije poboljšava operativne aspekte proizvodnje, dok tehnologije proširene stvarnosti i virtualne realnosti povećavaju produktivnost radnika. U nastavku su prikazani različiti primeri primene tehnologija za digitalizaciju i automatizaciju u proizvodnim preduzećima.

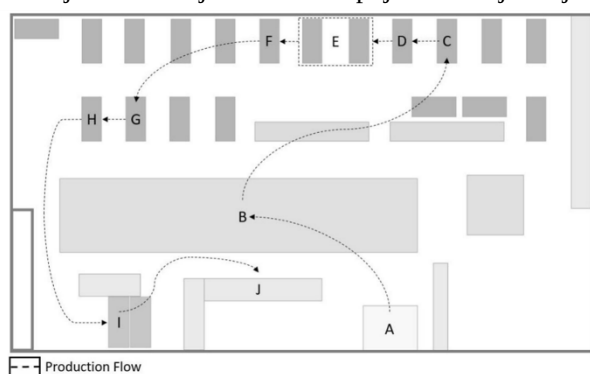
Jedan od primera unapređenja poslovanja primenom tehnologije proširene stvarnosti jeste preduzeće iz oblasti pomorske industrije, *Navantia* u Španiji. Ovo preduzeće primenilo je koncept *IAR* (eng. *Industrial Augmented Reality*), gde su radnici upotrebom „pametnog“ telefona, tableta i „pametnih“ naočara (slika 2), kao i uputstvima koja su sledili pomoću ovih uređaja, izvršavali zadatke brže, lakše i sa manje grešaka. Takođe, primenom istih uređaja, mogli su brže da lociraju mesto na kom se nalazi potreban alat za rad, kao i da brže izvrše neophodne popravke na mestima gde su nastajali kvarovi i time da unaprede održavanje plovinih objekata. Koristeći 3D kamere, zaposleni su vršili kontrolu kvaliteta plovinih objekata u realnom vremenu, a upotrebom softvera za rekonstrukciju, generisali su novi model skeniranog plovnog objekta, gde su unapredili već postojeći objekat i time definisali zadatke i zaduženja zaposlenih. Primenom *IAR*, operaterima na brodogradilištima je omogućen brži i lakši prenos informacija o zadacima koje treba da izvrše, dostupne su preciznije instrukcije za rad i pojednostavljena je

komunikacija. Primenom ovog koncepta unapređen je proces servisiranja i popravki, sa manjim brojem grešaka i zastoja u radu [37].

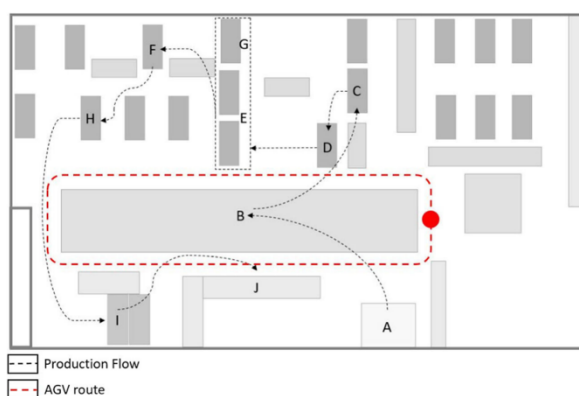


Slika 2. Upotreba „pametnog“ telefona za testiranje i čitanje informacija (2a i 2b) i lociranje potrebnih cevi putem „pametnih“ naočara (2c) [37]
Figure 2 Application of a "smart" phone to test and read the information (2a and 2b) and locating of required pipes via "smart" glasses (2c) [37]

Proizvodno preduzeće iz oblasti brze mode, izvršilo je digitalnu transformaciju proizvodnje i primenilo tehnologiju veštačke inteligencije za unapređenje proizvodnog toka (slika 3). Rezultati primene su bili sledeći: smanjen je potreban broj operatera na proizvodnoj liniji, povećana je efikasnost rada, dok je skraćeno ukupno vreme isporuke. Primenom tehnologije veštačke inteligencije, prepoznati su obrasci potražnje i unapređeno je predviđanje tražnje [38].



(3a)



(3b)

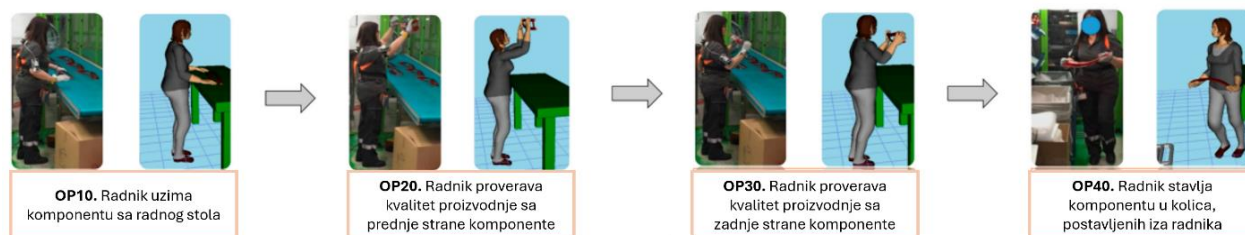
Slika 3. Proizvodni tok – pre (4a) i posle primene veštačke inteligencije (4b) [38]
Figure 3 Production flow – before (4a) and after the implementation of artificial intelligence (4b) [38]

Preduzeće iz oblasti automobilske industrije implementiralo je prenosive *IIoT* uređaje, odnosno senzore, kako bi u realnom vremenu snimalo određene parametre i merilo performanse proizvodnje, da bi na osnovu tih rezultata donelo odluke za unapređenje proizvodnje. Takođe, preduzeće je kreiralo i digitalne blizance pojedinih proizvodnih linija kod kojih su često

nastajala odstupanja u radu, kao i digitalne blizance radnih pozicija na tim linijama (slika 4). Vršena su simulacije rada u digitalnim blizancima, otklanjani su nedostaci, smanjena su odstupanja i vreme potrebno za proizvodnju, sa fokusom da se u potpunosti ispune potrebe tražnje [39].

Četiri globalna proizvodna preduzeća, *DHL*, *Samsung*, *Coca-Cola* i *Intel*, primenile su tehnologiju proširene stvarnosti uz pomoć „pametnih” naočara za upravljanje logistikom u skladištima. Primenom ove tehnologije, preduzeća su postigla sledeća unapređenja: povećana je bezbednost radnika, smanjen je rizik od povreda na radu, ubrzan je odabir i odvajanje paleta, veća je količina dostupnih informacija, smanjena je upotreba papira u vidu odštampanih uputstva, kao i papira potrebnog za administraciju u toku rada, smanjena je kompleksnost rada, povećana je količina preciznijih informacija o robi u objektu, smanjena je stopa nastanka grešaka od strane zaposlenih, omogućene su

promene u radnom okruženju, ubrzan je proces obuke, povećana je produktivnost zaposlenih, kao i preciznost, brzina i fleksibilnost radnika, poboljšano je i unapređeno merenje performansi, što rezultira povećanom sveukupnom produktivnošću. Međutim, u ovom radu, ističu se i nedostaci upotrebe ove tehnologije: investicija u ovu tehnologiju je skupa, a često i nepotrebna za mala preduzeća zbog manjeg broja proizvoda, „pametne” naočare imaju ograničenu izdržljivost i rok trajanja, kao i kapacitet baterije, a dugi rad sa njima može dovesti do pogoršanja vida i učestalih glavobolja [40].



Slika 4. Digitalni bliznac radne pozije na proizvodnoj liniji – stvarni scenario (slike levo) i digitalni bliznac (slike desno) [39]

Figure 4 A digital twin of a work position on the production line - real scenario (on the left) and digital twin (on the right) [39]

U preduzeću koje koristi mašine za brizganje, primenjena je tehnologija mašinskog učenja. Primena ove tehnologije je poboljšala razumevanje problema kvaliteta brizganja, a kao najvažniji parametri za merenje i praćenje u ovom preduzeću definisani su temperatura kalupa, temperatura rezervoara, vreme ubrizgavanja i vreme ciklusa. Rezultati postignuti primenom ove tehnologije su smanjenje troškova praćenja kvaliteta, kreiranje algoritama mašinskog učenja koji smanjuju potrebno vreme rada radnika za kontrolu mašina, kao i povećanje kapaciteta u proizvodnji [41].

U radu [42] istaknute su osnovne prednosti i nedostaci primene tehnologije aditivne proizvodnje u proizvodnim preduzećima u Poljskoj. Osnovne prednosti primene aditivne proizvodnje u ovim preduzećima jeste proizvodnja proizvoda složenih oblika koja nisu moguća primenom tradicionalnih metoda. Ova tehnologija omogućava projektovanje i proizvodnju proizvoda bilo kog geometrijskog oblika, u zavisnosti od očekivanja kupaca i potreba tržišta. Primenom ove metode doprinosi se smanjenju učešća ljudi u procesu i proizvodnji proizvoda specifičnih i nestandardnih oblika, koji ne zahtevaju dalju obradu ili sklapanje, smanjuje vreme proizvodnje i količinu resursa potrebnih za proizvodnju, jačajući konkurentsku prednost.

Preduzeće *Bosch* u Nemačkoj implementira koncept „zelenih” fabrika, primenjujući digitalizaciju u cilju praćenja i smanjenja potrošnje električne energije. U ovu svrhu preduzeće koristi softver *Nexeed Industry 4.0*, odnosno algoritme pomoću kojih može da se predvidi potrošnja električne energije, da se uoče nepravilnosti u radu mašina, kao i da se izbegnu velika opterećenja mašina. Primenom ovog softvera, preduzeće je smanjilo potrošnju električne energije po proizvedenom proizvodu za čak 40%. Takođe, primenom tehnologije veštačke inteligencije, mere se i povezuju podaci iz proizvodnje i logistike, poput planiranog i utrošenog vremena, cene potrošnje energije i drugo, na osnovu

kojih se analizom definišu preporuke za njihovo unapređenje, smanjenje troškova, utrošenog vremena i količine energije. Očekuje se da će primenom ove tehnologije posmatrana fabrika da smanji godišnji trošak električne energije za oko 5%. Takođe, ista fabrika je implementirala digitalnog blizanca proizvodnih linija, u kojima vrši simulacije sa ciljem optimizacije proizvodnih tokova i procesa, bez prekida u radu [43].

U cilju preciznog lociranja sredstava u proizvodnji i logistici, povećanja preciznosti za automatizaciju procesa, kao i unapređenog upravljanja podacima, preduzeće *Siemens* proizvelo je *Simatic Real-time Locating Systems (RTLS)*, jedinstveno tehnološko rešenje koje je namenjeno za digitalizaciju i automatizaciju proizvodnje. Praćenjem kretanja u proizvodnji, moguće je ukloniti uska grla, povećati efikasnost procesa i propusnost. Ovo rešenje koristi ePapir, što predstavlja dinamički ekran koji je povezan sa *RTLS* i omogućava praćenje tačnih informacija u realnom vremenu u vezi vremena, količina i ostalih parametara vezanih za proizvodnju, odnosno za proizvod, seriju proizvoda, procese, zaposlene i drugo. *RTLS* sistem ima mnogostruku primenu: smanjenje vremena potrebnog za traženje materijala i alata, kao i smanjenje i optimizacija zaliha kroz kontinuirano praćenje kretanja materijala i upravljanja skladištima, primenom tehnologija za lociranje, signalizaciju i označavanje materijala, alata i proizvoda pomoću *LED* dioda i ePapira, praćenje proizvodnih serija primenom *RFID* tehnologije, prenos podataka sa *RFID* na *RTLS* bez gubljenja podataka, automatsko i precizno snimanje vremena ulaska i izlaska materijala i proizvoda sa skladišne lokacije i sa radne stanice putem geograde, dinamički prilagodljiv ePapir sa precizno i u realnom vremenu navedenim informacijama vezanim za proizvod, automatska identifikacija kontejnera na radnoj stanici unutar geoograda, prikaz tačnog broja komponenti po kontejneru, kao i automatsko generisanje naloga za transport pri potpunom utovaru kontejnera [44].

Mnogi autori bavili su se temom digitalizacije i automatizacije u proizvodnim preduzećima u Republici Srbiji, ukazujući na stepen i značaj primene tih tehnologija u nacionalnim preduzećima. Zanimljivo je istaći da nacionalna preduzeća ulažu čak pet puta manje novca u implementaciju informaciono-komunikacionih tehnologija u odnosu na prosek ulaganja preduzeća u svetu [45]. Međutim, prema rezultatima istraživanja prikazanim u radu [46], za više od 50% preduzeća u Republici Srbiji, digitalna transformacija je preduslov za opstanak na tržištu.

Autori Kahrović i Avdović [33] sprovedli su istraživanje u proizvodnim preduzećima u Republici Srbiji, kako bi ispitali stepen prihvatanja i primene digitalnih tehnologija u cilju digitalne transformacije poslovanja. Rezultat njihovog istraživanja na uzorku od 98 preduzeća pokazuje da su mobilne tehnologije (upotreba mobilnih uređaja i laptopova) i računarstvo u „oblaku“ dominantno korišćene u cilju digitalizacije, dok je jako mali procenat preduzeća (ispod 20%) prepoznalo značaj upotrebe tehnologija Interneta „inteligentnih“ uređaja i analize velikih podataka. Međutim, isti autori ističu da tehnologije veštačke inteligencije i robota počinju da se prepoznaju kao izuzetno važne i primenljive. Autori u [47] navode da su u prerađivačkom sektoru u Republici Srbiji najčešće zastupljeni sledeći organizacioni koncepti:

1. Obuka na radnom mestu (u kategoriji Upravljanje ljudskim resursima),
2. Standardizovane i detaljno pisane radne instrukcije (u kategoriji Organizacija proizvodnje) i
3. Sertifikati standarda kvaliteta (u kategoriji Upravljanje proizvodnjom i kontrola),

ističući da je primena inovativnih organizacionih koncepata usko povezana sa primenom savremenih tehnologija, stvarajući pogodno okruženje za njihovu implementaciju.

Zanimljivo je istaći da su autori u [48] prikazali rezultate istraživanja gde je poznavanje tehnologija Industrije 4.0 važan preduslov za pozitivan stav prema njihovoj primeni u malim i srednjim preduzećima (MSP) u Republici Srbiji i regionu, kao i da pozitivan stav ima pozitivan uticaj na nameru za njihovu primenu. Neki od primera primene tehnologija za digitalizaciju i automatizaciju u proizvodnim preduzećima u Republici Srbiji su prikazani u radu [49].

4. ZAKLJUČAK

Iako primena tehnologija za digitalizaciju i automatizaciju utiče na smanjenje potrebnog broja zaposlenih, one mogu da se primene kao zamene za zaposlene u izvršavanju fizički teških poslova, kao i u slabije obezbeđenim ili nebezbednim uslovima, da ubrzaju izvršavanje poslova, automatizuju operacije koje se izvršavaju ručno, digitalizuju podatke i omogućе daljinski pristup. Na osnovu svega navedenog, primenu tehnologija treba shvatiti kao pomoć u sprovođenju aktivnosti na dnevnom nivou, za unapređenje procesa i sprečavanje grešaka i povreda na radu.

Digitalizacija i automatizacija proizvodnih procesa menjaju poslovna okruženja, poboljšavaju upravljanje proizvodnjom i moraju biti podržani od strane rukovodstva, strategije preduzeća, ali i od strane zaposlenih. Uvođenjem digitalizacije i automatizacije

procesu proizvodnje povećava se konkurentnost preduzeća na tržištu. Iz tog razloga, od velikog je značaja da preduzeća i zaposleni imaju svest o primeni, kao i da planiraju implementaciju ovih tehnologija u proizvodne procese.

Prepreke koje postoje jesu skupa i duga implementacija, kao i otpor zaposlenih, ali posmatrajući unapređenja koja donose, mnoga preduzeća treba da teže primeni ovih tehnologija. Primeri predstavljeni u ovom radu ukazuju na uspešne primere iz prakse velikih globalnih preduzeća, koja su unapredila svoje poslovanje primenom ovih tehnologija. Budući pravac istraživanja autora ovog rada je istraživanje dodatnih primena primene tehnologija za digitalizaciju i automatizaciju i dobre prakse proizvodnih preduzeća u svetu, a koji bi mogli da se primene u proizvodnim preduzećima u Republici Srbiji.

Literatura

- [1] Rajković, T., Đorđević-Milutinović, L. i Lečić-Cvetković, D. (2020). *Management: Journal Of Sustainable Business And Management Solutions In Emerging Economies*, 25(3), 13-22, doi: 10.7595/management.fon.2020.0011, 2020.
- [2] OECD (2017). *The next production revolution: implications for governments and business*. OECD Publishing, Paris.
- [3] Osmolski, W., & Kolinski, A. (2020). Logistics 4.0—Digitalization Of The Supply Chains. *Business Logistics in Modern Management*.
- [4] Schwertner, K. (2017). Digital transformation of business. *Trakia Journal of Sciences*, 15(1), 388-393. doi:10.15547/tjs.2017.s.01.065
- [5] Karabegović, I. (2017). The role of industrial and service robots in fourth industrial revolution with focus on China. *Journal of Engineering and Architecture*, 5(2), 110-117. <https://doi.org/10.15640/iea.v5n2a9>
- [6] Schlott, S. (2017). Vehicle systems for logistics 4.0. *ATZ worldwide*, 119(2), 8-13. <https://doi.org/10.1007/s38311-017-0002-7>
- [7] Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and human-robot co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688-695. <https://doi.org/10.1016/i.procs.2019.09.104>
- [8] Apriliyanti, M. (2022). Challenges of The Industrial Revolution Era 1.0 to 5.0: University Digital Library In Indonesia. *Library Philosophy and Practice*, 1-17.
- [9] Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Murri, M. L., Streppa, E., & Schröder, A. J. (2020). The challenge of digitalization in the steel sector. *Metals*, 10(2), 288. <https://doi.org/10.3390/met10020288>
- [10] Yin, Y., Steckel, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- [11] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- [12] Thangaraj, J., & Narayanan, R. (2018). Industry 1.0 to 4.0: the evolution of smart factories. *APICS: Chicago, IL, USA*.
- [13] Vinitha, K., Prabhu, R. A., Bhaskar, R., & Hariharan, R. (2020). Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry

- 4.0. *Materials today: proceedings*, 33, 3956-3960. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.331>
- [14] Yavari, F., & Pilevari, N. (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2), 44-63.
- [15] Buer, S. V., Strandhagen, J. W., Semini, M., & Strandhagen, J. O. (2020). The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 621-645. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2019-0174>
- [16] Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A conceptual framework for Industry 4.0. In *Industry 4.0: managing the digital transformation*, 3-23. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1
- [17] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston consulting group, 9(1), 54-89.
- [18] Caylar, P. L., Noterdaeme, O., & Naik, K. (2016). Digital in industry: From buzzword to value creation. *McKinsey Company. Digit. McKinsey*, 2(1).
- [19] Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the Current Status as well as Future Prospects on Logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- [20] Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of Industry 4.0 Technologies in SMEs for Ethical and Sustainable Operations: Analysis of Challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- [21] Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- [22] Maksimchuk, O., & Pershina, T. (2017). A New Paradigm of Industrial System Optimization Based on the Conception "Industry 4.0". In: *MATEC Web of Conferences - International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*, 129, 04006. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712904006>
- [23] Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- [24] Rajković, T., Lečić-Cvetković, D. i Kalem, M. (2023). Digitalni blizanac: primena savremene tehnologije u proizvodnji. *Zbornik radova XIV Skupa privrednika i naučnika „Digitalni i zeleni razvoj privrede“*, SPIN 2023, 879-886.
- [25] Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., and Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*, 32, 1-38.
- [26] Strandhagen, J. O., Vallandingham, L. R., Fragapane, G., Strandhagen, J. W., Stangeland, A. B. H., & Sharma, N. (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 359-369. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1>
- [27] Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., & Brewster, R.L. (2016). Support systems on the industrial shop-floors of the future-operators' perspective on augmented reality. *6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). Procedia CIRP* 44, 108-113. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017>
- [28] Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- [29] Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia Cirp*, 63, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- [30] Wrobel-Lachowska, M., Polak-Sopinska, A., & Wisniewski, Z. (2018). Challenges for Logistics Education in Industry 4.0. In: Nazir, S., Teperi, A. M., Polak-Sopińska, A. (eds.) *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences AHFE 2018, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 785, 329-336. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93882-0_32
- [31] Macanović, K. B., Mišetić, D., Baijić, E., i Lukić, M. (2023). Uticaj digitalizacije na efikasnost malih i srednjih preduzeća. *Zbornik radova Uloga nauke u razvoju savremenog društva*, 61-69.
- [32] Levkovskiy, B., Hinrichs, M., Betzwieser, B., & Utesch, M. C. (2021). Companies in Transition: Understanding how the Digital Transformation Affects Business Processes and Their Key Performance Indicators. In *AMCIS 2021 Proceedings*, 8.
- [33] Kahrović, E., & Avdović, A. (2023). Impact of digital technologies on business performance in Serbia. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 28(2), 37-54.
- [34] Stojanović, K. (2023). Self-efficacy in the application of digitalization in SMEs in Serbia. In the *Proceedings of International May Conference on Strategic Management – IMCSM23*, XIX(3), 93-103.
- [35] Čiğdem, S., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Yıldız, B. (2023). Industry 4.0 and industrial robots: A study from the perspective of manufacturing company employees. *Logistics*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.3390/logistics7010017>
- [36] Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- [37] Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 shipyard. *Ieee Access*, 6, 8201-8218. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2802699
- [38] dos Santos, C. H., Gabriel, G. T., do Amaral, J. V. S., Montevechi, J. A. B., & de Queiroz, J. A. (2021). Decision-making in a fast fashion company in the Industry 4.0 era: A Digital Twin proposal to support operational planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 1653-1666. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07543-z>
- [39] Fera, M., Greco, A., Caterino, M., Gerbino, S., Caputo, F., Macchiaroli, R., & D'Amato, E. (2019). Towards digital twin implementation for assessing production line performance and balancing. *Sensors*, 20(1), 97. <https://doi.org/10.3390/s20010097>
- [40] Husár, J., & Knapčíková, L. (2021). Possibilities of using augmented reality in warehouse management:

- a study. *Acta logistica*, 8(2), 133-139.
<https://doi.org/10.22306/al.v8i2.212>
- [41] Jung, H., Jeon, J., Choi, D., & Park, J. Y. (2021). Application of machine learning techniques in injection molding quality prediction: Implications on sustainable manufacturing industry. *Sustainability*, 13(8), 4120. <https://doi.org/10.3390/su13084120>
- [42] Patalas-Maliszewska, J., & Topczak, M. (2021). A new management approach based on Additive Manufacturing technologies and Industry 4.0 requirements. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(1), 125-135, <https://doi.org/10.14743/apem2021.1.389>
- [43] Bosch (2022). Bosch aims to generate billions in sales with green tech for industry. Dostupno na: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-aims-to-generate-billions-in-sales-with-green-tech-for-industry-241472.html> (datum pristupa 20.4.2024.)
- [44] Siemens (2024). Real-time locating with RTLS. Dostupno na: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/identification-and-locating/simatic-rtls.html> (datum pristupa: 20.4.2024.)
- [45] Ministarstvo privrede Republike Srbije (2024). Strategija industrijske politike Republike Srbije od 2021. do 2030. godine. Dostupno na: <https://privreda.gov.rs/wpcontent/uploads/2020/05/Industrijska-Strategija-Vlade-Srbije-F01.pdf> (datum pristupa 21.4.2024.)
- [46] Stefanović, M., Đorđević, I., Milosavljević, N., i Đonović, A. (2021). Analiza stanja inovacija i procesa digitalne transformacije u Republici Srbiji. *NALED: Belgrade, Serbia*, 104.
- [47] Todorović, T., Bogojević, B., Čirić Lalić, D., Savković, M., i Medić, N. (2022). Primena inovativnih organizacionih koncepata u prerađivačkoj industriji Republike Srbije. Zbornik radova XXVIII Skupa *Trendovi razvoja: "Univerzitetsko obrazovanje za privredu"*, 386-389.
- [48] Milošević, I. (2022). The effects of familiarity of Industry 4.0 technologies on behaviour intention of SMEs in Serbia. Chapter in Monograph: *Possibilities and barriers for Industry 4.0 implementation in SMEs in V4 countries and Serbia*, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Republic of Serbia, 181-206.
- [49] Rajković, T., Nikolić, I., Janković, N., & Lečić-Cvetković, D. (2024). Implementation of Industry 4.0: examples from the Serbian manufacturing industry. In *Proceedings book of 43rd International Conference on Organizational Science Development Green and Digital Transition – Challenge or Opportunity: Conference Proceedings*, 847-859. <https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2024>.