

UTICAJ DIGITALNIH TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 NA POSLOVNE REZULTATE CIRKULARNIH POSLOVNIH MODELA LANCA SNABDEVANJA

Melisa Bejtović

Ekonomski fakultet u Nišu
melissa.softic@gmail.com
ORCID: 0009-0003-3883-0384

Amela Ljajić

Univerzitet u Novom Pazaru, Departman za ekonomske nauke
a.ahmatovicc@uninp.edu.rs
ORCID:0000-0002-2841-8666

Aleksandra Anđelković

Ekonomski fakultet u Nišu
aleksandra.andjelkovic@eknfak.ni.ac
ORCID:0000-0002-4101-5546

Apstrakt:

Globalno tržište prolazi kroz brze i kontinuirane promene, a usvajanje cirkularnih poslovnih modela postaje ključna strategija za opstanak i razvoj učesnika u lancu snabdevanja. Iako je prelazak na cirkularni način poslovanja kompleksan i zahtevan proces, to je neophodan izbor za kompanije suočene sa ograničenošću prirodnih resursa i rastućim ekološkim izazovima poput zagađenja vazduha, vode i zemlje. Ključni cilj preduzeća postaje balansiranje ekonomskih, ekoloških i društvenih ciljeva. Industrija 4.0 igra značajnu ulogu u redizajniranju i implementaciji cirkularnih poslovnih modela, posebno kroz primenu digitalnih tehnologija. Za potrebe ovog rada sprovedeno je istraživanje u Republici Srbiji sa ciljem procene uticaja digitalnih tehnologija na poslovne performanse i integraciju učesnika u cirkularni lanac snabdevanja. Rezultati istraživanja pokazuju da su najčešće korišćene tehnologije Industrije 4.0 u ovim lancima Internet of Things (IoT) i Big Data. Ispitanici su ocenili da je najveći uticaj digitalnih tehnologija u bržem odgovoru na zahteve potrošača, predviđanju tražnje i integraciji učesnika u lancu snabdevanja.

Ključne reči: cirkularni lanac snabdevanja, Industrija 4.0, digitalne tehnologije, poslovni rezultati, integracija učesnika u lancu snabdevanja.

THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE BUSINESS PERFORMANCE OF CIRCULAR SUPPLY CHAIN MODELS

Abstract:

The most The global market is undergoing rapid and continuous changes, making the adoption of circular business models a crucial strategy for the survival and growth of supply chain participants. Although the transition to a circular business approach is a complex and

demanding process, it is essential for companies facing limited natural resources and escalating environmental challenges such as air, water, and land pollution. Balancing economic, environmental, and social goals has become the key objective for businesses. Industry 4.0 plays a significant role in redesigning and implementing circular business models, particularly through the application of digital technologies. For this study, research was conducted in the Republic of Serbia to assess the impact of digital technologies on business performance and the integration of participants within the circular supply chain. The findings indicate that the most commonly used Industry 4.0 technologies in these supply chains are the Internet of Things (IoT) and Big Data. Respondents noted that digital technologies have the greatest impact on faster response to consumer demands, demand forecasting, and the integration of participants within the supply chain.

Keywords: circular supply chain, Industry 4.0, digital technologies, business performance, supply chain participant integration.

UVOD

Kao koncept koji podrazumeva srazmerno postizanje ekonomskih, društvenih i ekoloških ciljeva, cirkularna ekonomija u današnjem, dinamičnom poslovnom okruženju dobija sve veću pažnju. Cirkularni lanci snabdevanja postaju sve značajniji u savremenom poslovnom okruženju. U cilju postizanja najboljih rezultata cirkularni lanci snabdevanja imaju potrebu za stalnim inovacijama i unapređenjima.

Digitalne tehnologije Industrije 4.0 su ključni faktori transformacije poslovnih procesa širom sveta. Tehnologije Industrije 4.0 kao što su *Big data* – BDA, *Internet of Things*– IoT, *Artificial Intelligence* – AI, *Machine learning* – ML, *Blockchain*, *3D*, *robotika* imaju brojne mogućnosti za optimizaciju i unapređenje cirkularnih lanaca snabdevanja.

Srbija, kao zemlja koja teži stalnom unapređenju ekonomije i prilagođavanju savremenim trendovima je, takođe, obuhvaćena ovom transformacijom. Iz tog razloga cilj ovog istraživačkog rada je ispitivanje uticaja digitalnih tehnologija Industrije 4.0 na cirkularne lance snabdevanja u Srbiji. Kroz empirijsku analizu istraživački rad teži da pruži uvid u konkretne efekte primene digitalnih tehnologija na integraciju učesnika i poslovne rezultate cirkularnih lanaca snabdevanja, ali će i doprineti razumevanju uloge digitalizacije u transformaciji cirkularnih lanaca snabdevanja u Srbiji.

Rad je podeljen u nekoliko važnih segmenata. U uvodnom delu se razmatra značaj teme i postavljaju ciljevi istraživanja. Sledi pregled relevantne literature koji pruža širi kontekst i ukazuje na postojeće praznine u dosadašnjim istraživanjima. Treći deo se bavi metodologijom istraživanja, uključujući način prikupljanja podataka i primenjene metode analize. U četvrtom delu predstavljeni su rezultati istraživanja, uz njihovu analizu i interpretaciju. Zaključni deo rada sadrži diskusiju o glavnim nalazima, ograničenjima istraživanja, predlozima za buduća istraživanja i praktičnim implikacijama.

PREGLED LITERATURE

Digitalne tehnologije Industrije 4.0 poslednjih godina podstiču transformaciju lanca snabdevanja, odnosno, prelazak sa linearnih na cirkularne modele poslovanja. Upotrebom digitalnih alata, moguće je optimizovati tokove materijala, smanjiti generisanje otpada, poboljšati održivost i povećati operativnu efikasnost.

Istraživanja autora Arenkova, Bigliardi, Dwivedija i Mastosa pružaju teorijske okvire za razumevanje uticaja digitalnih tehnologija na poslovanje cirkularnog lanca snabdevanja. Radovi autora Arenkova i Bigliardi, predstavljaju digitalne alate koji doprinose poboljšanju poslovnih performansi u cirkularnim lancima snabdevanja. Studije slučaja Bigliardi i Dwivedija predstavljaju konkretna rešenja u upravljanju otpadom i identifikuju kritične faktore uspeha integracije digitalnih tehnologija u cirkularnim lancima snabdevanja. Većina naučnih radova analizira globalne trendove ili specifične sektore u razvijenim zemljama (Geissdoerfer; Nasir, M.; EMF and McKinsey & Co., 2012). Ovaj naučni rad obuhvata širi spektar industrija u Srbiji. Postoji razlika i u metodološkom pristupu. Prethodna istraživanja su bazirana na studije slučaja ili teorijske modele, dok ovaj rad uključuje empirijsko istraživanje zasnovano na kvantitativnim podacima prikupljenim u Republici Srbiji. Na osnovu rezultata istraživanja, date su preporuke za poboljšanje poslovanja cirkularnih lanaca snabdevanja uz pomoć konkretnih digitalnih alata.

Cirkularni lanac snabdevanja

Prateći trendove u poslovanju, lanci snabdevanja poslednjih dvadesetak godina su usvajali modele poslovanja koji su sposobni da odgovore na zahteve globalnog tržišta. Zajednička karakteristika svakog od njih je što su u svom poslovanju nastojali da integrišu dimenziju održivosti. Cirkularni poslovni model lanca snabdevanja je sveobuhvatan jer su jednako važni ekološki, ekonomski i društveni ciljevi. Menadžment cirkularnog lanca snabdevanja podrazumeva integraciju cirkularnog razmišljanja u upravljanju lancem snabdevanja i industrijskim i prirodnim ekosistemima. Ka viziji bez otpada menadžment sistematski obnavlja tehničke materijale i regeneriše biološke materijale primenom inovacija u poslovnim modelima i funkcijama lanca snabdevanja pokrivajući sve faze od dizajna proizvoda/usluge do kraja životnog veka i upravljanja otpadom. Menadžment cirkularnog lanca snabdevanja uključuje sve zainteresovane strane tokom celog životnog ciklusa proizvoda/usluge, uključujući proizvođače, dobavljače, potrošače i korisnike (Farooque, M. et al., 2019, 882–900). Suština cirkularne ekonomije je držati resurse što duže u upotrebi, izvlačeći maksimalnu vrednost iz njih (Nasir, M. et al., 2017, 443–457). Menadžment cirkularnog lanca snabdevanja obuhvata konfiguraciju i koordinaciju organizacionih funkcija marketinga, prodaje, istraživanja i razvoja, proizvodnje, logistike, IT-a, finansija i usluga za korisnike unutar i između poslovnih jedinica i organizacija. U cilju minimiziranja unosa resursa, curenja otpada i emisija iz sistema, poboljšanja operativne efektivnosti i efikasnosti, kao i stvaranja konkurentne prednosti, neophodno je zatvoriti, usporiti, intenzivirati, suziti i

dematerijalizovati materijalne i energetske petlje (Geissdoerfer, M. et al., 2018, 712–721).

Tabela 1

PETLJE U CIRKULARNOM LANCU SNABDEVANJA

Petlje cirkularnog lanca snabdevanja	
Zatvaranje petlji	Definiše praksu ponovne upotrebe materijala kroz reciklažu, ponovnu proizvodnju i slične procese (Bocken et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2018).
Usporavanje petlji	Produžena upotreba i ponovna upotreba proizvoda tokom vremena, kroz procese kao što su dizajniranje trajnih proizvoda i produženja životnog ciklusa proizvoda (Leising et al., 2018).
Intenziviranje petlji	Predlaže veću iskorišćenost materijala i gotovih proizvoda kroz zajedničko korišćenje ili potrošnju (Geissdoerfer et al., 2018).
Sužavanje petlji	Korišćenje manje resursa po proizvodu (Bocken et al., 2016).
Dematerijalizacija petlji	Odnosi se na zamenu proizvoda za usluge, na način da se poveća korisnost i vek trajanja proizvoda i materijala (Geissdoerfer et al., 2018).

Izvor: Adaptirano prema Hazen, B. T, Russo, I, Confente, I, & Pellathy, D. (2021). Supply chain management for circular economy: conceptual framework and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 510–537.

Oslanjajući se na principe cirkularne ekonomije, na kraju životnog veka proizvoda, moguća su četiri izvora stvaranja vrednosti (EMF and McKinsey & Co., 2012):

Moć unutrašnjeg kruga – minimalna upotreba materijala. Što je krug čvršći, tj. što manje proizvod mora da se menja u ponovnoj upotrebi, obnavljanju i ponovnoj proizvodnji i što se brže vraća u upotrebu, veća je potencijalna ušteda materijala, rada, energije i kapitala ugrađenih u proizvod.

Moć dužeg kruženja – maksimizovati broj uzastopnih ciklusa (bilo da se radi o ponovnoj upotrebi, ponovnoj proizvodnji ili recikliranju) i/ili vremena u svakom ciklusu.

Moć kaskadne upotrebe – diversifikacija u celom lancu vrednosti. Na primer, pamučna odeća se ponovo koristi prvo kao polovna odeća, zatim u industriji nameštaja kao punjenje od vlakana i na kraju kao izolacioni materijal u građevinarstvu.

Moć čistih krugova – nezagađeni materijalni tokovi povećavaju efikasnost sakupljanja i preraspodele uz održavanje kvaliteta, posebno tehničkih materijala, što, zauzvrat, produžava vek trajanja proizvoda i time povećava produktivnost materijala.

Razvoj digitalnih tehnologija u velikoj meri može da olakša implementaciju cirkularnog poslovnog modela, kroz mogućnost praćenja performansi tokom životnog ciklusa proizvoda, praćenja i poboljšanja korišćenja resursa, kao i mogućnost bližih odnosa sa učesnicima u lancu snabdevanja (De Angelis R., et al., 2018, 425–437).

INDUSTRIJA 4.0 I DIGITALNE TEHNOLOGIJE U CIRKULARNOM LANCU SNABDEVANJA

Tehnološki napredak i razvoj globalnog industrijskog sektora bili su osnova za razvoj koncepta Industrija 4.0. Industrijski pejzaž se drastično promenio u poslednjih nekoliko godina kao rezultat uzastopnih inovacija, posebno u oblasti digitalne tehnologije i

proizvodnje. Industrija 4.0 obuhvata digitalnu proizvodnju, mrežnu komunikaciju, kompjuterske i automatizovane tehnologije. (Pereira, A. C., & Romero, F., 2017, 1206–1214). Prednosti Industrije 4.0 uključuju poboljšanu konkurentnost i performanse, poboljšanu svestranost i otpornost, kao i povećanu profitabilnost. Takođe, Industrija 4.0 podstiče usluge potrošačima (Javaid, M., et al., 2022, 203–217). Kao najvažnije, u poslovanju cirkularnih lanaca snabdevanja, izdvajaju se sledeće digitalne tehnologije:

Veliki podaci i analitika (*eng.* big data/analytics) – upotrebom ove tehnologije, moguće je vršiti adekvatnu kontrolu kvaliteta i predviđanje tražnje, zahvaljujući mogućnosti obrade velike količine podataka (Calatayud, A. et al., 2019);

Internet stvari (*eng.* the internet of things, skraćeno IoT) – platforme koje povezuju više senzora i uređaja za podatke u cilju stvaranja kompletne vizije ponašanja organizacije, operacije, pojave. U cirkularnim lancima snabdevanja ima široku primenu, tako što povezuje, na primer, senzore dve mašine. One, dakle, mogu da prikupljaju podatke i šalju ih različitim zainteresovanim stranama u lancu snabdevanja. Na taj način utiču na optimizaciju procesa u lancu snabdevanja. Postoji mogućnost vizuelnog praćenja prepreka i kašnjenja u realnom vremenu. U studiji sprovedenoj na industriju starog metala, utvrđeno je da IoT rešenja poboljšavaju konkurentsku prednost proizvođača otpada i kompanije koje upravlja otpadom, minimiziraju emisiju CO₂ i u upotrebu energetske resursa (Mastos, T. D. et al., 2020, 1–13). IoT je svoju primenu pronašao i u prehrambenim lancima. Prateći kvalitet robe u tranzitu, obezbeđuje sve potrebne uslove da se roba ne pokvari i na taj način smanjuje količinu otpada.

Veštačka inteligencija (*eng.* artificial intelligence – AI) i mašinsko učenje (*eng.* machine learning – MI) su dve tehnologije koje nisu ekvivalentne, ali dele zajedničke koncepte. Veštačka inteligencija se oslanja na masovnu obradu podataka, na osnovu kojih može rešavati određene probleme. Uvođenjem AI u cirkularne lance snabdevanja utiče se na dizajn, praćenje i svakodnevno upravljanje mrežom snabdevanja. Takođe, ima uticaj na formiranje čvrstih odnosa sa partnerima koji usvajaju prakse cirkularne ekonomije (Romagnoli, S. et al., 2023, 1–17). Mašinsko učenje je aplikacija veštačke inteligencije koja omogućava računaru da uči rutine bez prethodnog programiranja (Katz, R. et al., 2018, 1–196). Računari, dakle, stiču znanja direktno iz podataka i na taj način uče da rešavaju probleme (Johny, J., & Gurtu, A. 2023, 1–41). Mašinsko učenje se može primeniti u kontekstu cirkularne ekonomije za podršku optimizaciji procesa i sistema na osnovu ogromne količine podataka. Kombinacija veštačke inteligencije i mašinskog učenja pruža brojne prednosti: brza i jeftina međunarodna isporuka, izgradnja autonomnih vozila za postizanje boljeg programiranja tereta, održivija transportna rešenja koja bi mogla smanjiti globalno zagađenje i unapređenje riverznog logističkog sistema (Romagnoli, S. et al., 2023, 1–17).

Robotika podrazumeva upotrebu digitalnih tehnologija za obavljanje ponavljajućih poslova, te ima veliku primenu u proizvodnim procesima, u povratnim tokovima proizvoda i u procesu rastavljanja iskorišćenog proizvoda na kraju životnog veka. Appleov robot za rastavljanje Iphona ima 29 ruku i u stanju je da razloži korišćeni

Iphone za 11 sekundi i podeli njegove komponente na korisne materijale (Uçar, E., Le Dain, M. A., & Joly, I. 2020, 133–136)

3D štampa je metoda kreiranja trodimenzionalnog objekta, sloj po sloj koristeći dizajn kreiran na računaru. 3D štampa u cirkularnim lancima snabdevanja utiče na minimalnu upotrebu materijala, bolju usklađenost ponude i tražnje, kao i poboljšanje usluga potrošačima. Adidas je svoj lanac snabdevanja prilagodio upotrebom 3D štampača, gde je u lokalnim distributivnim centrima držao zalihe gotovih proizvoda, a pomoću 3D štampača i automatizacije tehnologije izvodio prilagođavanja na proizvodnju, po principu „patike po meri kupca“ pre nego patike isporučuje krajnjem kupcu.

Blokčein tehnologija (*eng.* blockchain technology) je lanac međusobno povezanih “blokova” dizajniranih da funkcionišu uz minimalnu ljudsku intervenciju (Johny, J., & Gurtu, A., 2023, 1–41). Svaki blok u lancu nadovezuje se na prethodne blokove i transakcije za kreiranje lanca. Kada blokčein jednom obradi informacije, svaki računar u mreži se zaključava u isto vreme, stvarajući trajne, teško promenljive zapise (Attaran, M., 2020). Uz pomoć blokčaina može se pratiti poreklo sirovina i proizvoda, što omogućava bolje upravljanje recikliranim materijalima i eliminaciju nepravilnosti u lancu snabdevanja. Primer uspešne primene blokčaina jeste kompanija Coca Cola koja u svom poslovanju primenjuje blokčein za snimanje rada stanovništva koji prikuplja otpad u pojedinim afričkim zajednicama. Snimanje sprovodi radi utvrđivanja da li su prikupljene limenke, boce i druga ambalaža već reciklirani, što kompaniji pruža jasne uvide o održivosti poslovanja (Jackley, 2023).

Kompanije koje usvajaju digitalne tehnologije Industrije 4.0, uglavnom, kombinuju upotrebu više tehnologija, i na taj način ostvaruju sinergijski efekat primene.

Implikacije digitalnih tehnologija Industrije 4.0 u cirkularnom lancu snabdevanja

Digitalne tehnologije Industrije 4.0 značajno su olakšale poslovanje cirkularnog lanca snabdevanja. Koristeći mnogo različitih tehnologija za razvoj efikasnih, transparentnih, prilagodljivih i otpornih sistema u svim fazama i procesima lanca snabdevanja, kao i razvoju novih proizvoda cirkularni lanac snabdevanja je značajno unapredio svoje poslovanje (Ghadge, A., et al., 2020, 669–686). Pametne tehnologije, takođe, olakšavaju efikasno praćenje, sakupljanje, odvajanje i transport otpada, u cilju povraćaja vrednosti i pravilnog odlaganja (González-Sánchez, R. et al., 2020, 1–25).

Uspešnost poslovanja cirkularnog lanca snabdevanja, prvenstveno zavisi od interne i eksterne integracije cirkularnog lanca snabdevanja. Integracija u lancu snabdevanja podrazumeva stratešku saradnju svih učesnika uključenih u stvaranju dodate vrednosti u procesu dizajniranja proizvoda, nabavke sirovina, proizvodnje, skladištenja, distribucije, prodaje, kao i davanjem informacija i pružanjem usluga potrošačima (Di Maria, E., 2022, 619–632). Složenost poslovanja i uključenost mnogobrojnih učesnika čine da integracija lanca snabdevanja bude veoma složena. Tehnologije Industrije 4.0 značajno olakšavaju proces integracije lanca snabdevanja. Digitalne

tehnologije pomažu u stvaranju inovativnih lanaca snabdevanja, uzimajući u obzir životni ciklus proizvoda, njegov uticaj na životnu sredinu tokom procesa proizvodnje i upotrebe, uz optimizaciju troškova i minimiziranje negativnih efekata proizvodnje i potrošnje. (Arenkov, I. et al., 2019, 448–453)

Efekti primene digitalnih tehnologija u cirkularnom lancu snabdevanja su: smanjenje troškova proizvodnje, veća efikasnost u kontroli i smanjen rizik zaliha, prediktivna analiza i efikasna razmena informacija, obezbeđivanje inkorporacije zaštite životne sredine u menadžmentu lanca snabdevanja, efikasno donošenje odluka u riverznim procesima u lancu snabdevanja i optimizacija upotrebe resursa i energije (González-Sánchez, R. et al., 2020).

Metodologija istraživanja

Cilj istraživanja je utvrđivanje uticaja tehnologija Industrije 4.0 na poslovne rezultate cirkularnog lanca snabdevanja u Republici Srbiji. Upitnik je poslat na 60 adresa kompanija koje implementiraju cirkularni poslovni model. Podaci o kompanijama su dobijeni iz publikacija Ministarstva za zaštitu životne sredine i Privredne komore Srbije. Od 60 kompanija, na upitnik je odgovorilo 14, što znači da je stopa odgovora 23%. Za analizu prikupljenih podataka korišćene su tehnike obrade statističkih podataka uz pomoć softvera SPSS 19 .

Na osnovu cilja istraživanja postavljene su sledeće hipoteze:

H1: Digitalne tehnologije Industrije 4.0 pozitivno utiču na poslovne rezultate cirkularnog lanca snabdevanja.

H2: Digitalne tehnologije Industrije 4.0 pozitivno utiču na integraciju cirkularnog lanca snabdevanja.

Rezultati istraživanja i diskusija

Istraživanje je obuhvatilo proizvodne i uslužne delatnosti (građevinska industrija, metaloprerađivačka, tekstilna industrija, trgovina, hotelijerstvo, logistika i transport, IT i telekomunikacije, konsalting, usluge obezbeđenja). Uzorak su činile kompanije svih veličina: 28,6% velike kompanije, 21,4% srednje kompanije, 42,9% male kompanije, 7,1% mikrokompanije. 85,7% kompanija ima domaći kapital. Učesnici ankete bili su direktori (35,7%), menadžeri (50%) i CEO (14,3%).

Analizom rezultata frekvencije u SPSS-u istražena je upotreba digitalnih tehnologija Industrije 4.0 u cirkularnim lancima snabdevanja. Najčešće korišćene digitalne tehnologije su big data i IoT sa 71,4% pozitivnih odgovora, zatim slede AI i ML sa 28,6% pozitivnih odgovora, robotika sa 14,3% pozitivnih odgovora i blockchain sa

7,1% pozitivnih odgovora. Ispitanici su ocenili da 3D nema nikakvu primenu u cirkularnim lancima snabdevanja.

Tabela 2

UPOTREBA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 U CIRKULARNIM LANCIMA SNABDEVANJA – IZRAŽENO PROCENTUALNO

Big data				Robotika					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Da	10	71.4	71.4	71.4	Valid Da	2	14.3	14.3	14.3
Ne	4	28.6	28.6	100.0	Ne	12	85.7	85.7	100.0
Total	14	100.0	100.0		Total	14	100.0	100.0	
IoT				Blockchain					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Da	10	71.4	71.4	71.4	Valid Da	1	7.1	7.1	7.1
Ne	4	28.6	28.6	100.0	Ne	13	92.9	92.9	100.0
Total	14	100.0	100.0		Total	14	100.0	100.0	
AI				3D					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Da	4	28.6	28.6	28.6	Valid Ne	14	100.0	100.0	100.0
Ne	10	71.4	71.4	100.0					
Total	14	100.0	100.0						
ML									
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Da	4	28.6	28.6	28.6					
Ne	10	71.4	71.4	100.0					
Total	14	100.0	100.0						

Izvor: Autori

Takođe, deskriptivna statistika pokazuje da digitalne tehnologije Industrije 4.0 s prosečnom vrednošću od 4.29 doprinose bržem odgovoru na zahteve potrošača.

Rezultati istraživanja ukazuju da tehnologije Industrije 4.0 najmanji uticaj imaju u izdvajanju komponenti iskorišćenih proizvoda (mean 3.21)

Tabela 3

UTICAJ TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 NA POSLOVNE REZULTATE I INTEGRACIJU UČESNIKA U LANCU SNABDEVANJA - DESKRIPTIVNA STATISTIKA

	N	Mean	Std. Deviation
Uspesnost interne integracije	14	3.64	1.277
Uspesnost integracije sa ucesnicima u ls	14	4.07	.997
Mogucnost predvidjanja traznje	14	4.21	.802
Smanjenje troskova proizvodnje	14	4.00	.877
Minimalna upotreba resursa	14	3.86	1.231
Brzi odgovor na zahteve potrosaca	14	4.29	1.069
Vecu efikasnost u kontroli i smanjenje rizik zaliha	14	4.00	1.240
Prediktivna analiza i efikasna razmena informacija	14	4.14	.864
Efikasno resavanje reklamacija	14	3.71	1.069
Efikasno pruzanje post prodajnih usluga potrosacima	14	4.21	1.051
Efikasno donosenje odluka riverzni	14	4.00	1.038
Efiksano izdvajanje komponenti koris?enih proizvoda	14	3.21	1.311
Valid N (listwise)	14		

Izvor: Autori

U tabeli br. 4 prikazan je uticaj tehnologija Industrija 4.0 na zavisnost i korelaciju sledećih varijabli:

- Uspešnost interne integracije je u pozitivnoj korelaciji sa uspešnošću integracije učesnika u lancu snabdevanja (prosečna vrednost 0.718, nivo statističke značajnosti 0.004) sa mogućnošću predviđanja tražnje (prosečna vrednost 0.657, nivo statističke značajnosti 0.011), kao i brzim odgovorom na zahteve potrošača (prosečna vrednost 0.553, nivo statističke značajnosti 0.040).
- Uspešnost integracije sa učesnicima u lancu snabdevanja, pored korelacije sa uspešnošću interne integracije, u korelaciji je sa mogućnošću predviđanja tražnje (prosečna vrednost 0.672, nivo statističke značajnosti 0.011) i brzim odgovorom na zahteve potrošača (prosečna vrednost 0.609, nivo statističke značajnosti 0.021).
- Mogućnost predviđanja tražnje je u pozitivnoj korelaciji, kao što je napred istaknuto sa uspešnošću interne integracije i integracije sa učesnicima u lancu snabdevanja. Takođe, mogućnost predviđanja tražnje je u pozitivnoj korelaciji sa smanjenjem troškova proizvodnje (prosečna vrednost 0.687, nivo statističke značajnosti 0.007), minimalnom upotrebom resursa (prosečna vrednost 0.921, nivo statističke značajnosti 0.000), brzim odgovorom na zahteve potrošača (prosečna vrednost 0.564, nivo statističke značajnosti 0.036), kao i prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.606, nivo statističke značajnosti 0.022).
- Smanjenje troškova proizvodnje je u pozitivnoj korelaciji sa mogućnošću predviđanja tražnje, zatim sa minimalnom upotrebom resursa (prosečna vrednost 0.712, nivo statističke značajnosti 0.004), brzim odgovorom na zahteve potrošača (prosečna vrednost 0.738, nivo statističke značajnosti 0.003), većom efikasnošću u kontroli i smanjenju rizika zaliha (prosečna vrednost 0.919, nivo statističke

značajnosti 0.000), prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.913, nivo statističke značajnosti 0.000), efikasnim rešavanjem reklamacija (prosečna vrednost 0.820, nivo statističke značajnosti 0.000) i efikasnim pružanjem postprodajnih usluga potrošačima (prosečna vrednost 0.751, nivo statističke značajnosti 0.002).

- Minimalna upotreba resursa je pored istaknutih korelacija, u pozitivnoj korelaciji sa varijablama: brži odgovor na zahteve potrošača (prosečna vrednost 0.618, nivo statističke značajnosti 0.019), prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.671, nivo statističke značajnosti 0.009), efikasno pružanje postprodajnih usluga prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.620, nivo statističke značajnosti 0.018).

- Brži odgovor na zahteve potrošača je u pozitivnoj korelaciji sa većom efikasnošću u kontroli i smanjenju rizika (prosečna vrednost 0.812, nivo statističke značajnosti 0.000), prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.868, nivo statističke značajnosti 0.000), efikasnim rešavanjem reklamacija (prosečna vrednost 0.548, nivo statističke značajnosti 0.042), efikasnim pružanjem postprodajnih usluga (prosečna vrednost 0.900, nivo statističke značajnosti 0.000). Ostale pozitivne korelacije sa bržim odgovorom na zahteve potrošača su pomenute u prethodnom izlaganju.

- Veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika zaliha je u pozitivnoj korelaciji sa prediktivnom analizom i efikasnom razmenom informacija (prosečna vrednost 0.933, nivo statističke značajnosti 0.000), efikasnim rešavanjem reklamacija (prosečna vrednost 0.870, nivo statističke značajnosti 0.000), kao i efikasnim pružanjem postprodajnih usluga (prosečna vrednost 0.826, nivo statističke značajnosti 0.000). Veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika zaliha je u pozitivnoj korelaciji i sa varijablama koje su već pomenute.

- Prediktivna analiza i efikasna razmena informacija je, pored već pomenutih korelacija, u pozitivnoj korelaciji sa sledećim varijablama: efikasno rešavanje reklamacija (prosečna vrednost 0.713, nivo statističke značajnosti 0.004), kao i efikasnim pružanjem postprodajnih usluga (prosečna vrednost 0.810, nivo statističke značajnosti 0.000).

- Efikasno rešavanje reklamacija je u pozitivnoj korelaciji sa efikasnim pružanjem postprodajnih usluga (prosečna vrednost 0.675, nivo statističke značajnosti 0.008).

Tabela 4

UTICAJ TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 NA POSLOVNE REZULTATE I INTEGRACIJU UČESNIKA U LANCU SNABDEVANJA – KORELACIJA VARIJABLI

			Uspesnost interne integracije	Uspesnost integracije sa učesnicima u lancu	Mogućnost predviđanja tražnje	Smanjenje troškova proizvodnje	Minimalna upotreba resursa	Brzi odgovor na zahtevе potrošača	Veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika	Predviđna analiza i efikasna razmena informacija	Efikasno rešavanje reklamacija	Efikasno pružanje post prodajnih usluga potrošačima
Spearman's rho	Uspesnost interne integracije	Correlation Coefficient	1.000	.716*	.657*	.447	.553*	-.503	-.339	.490	.099	.234
		Sig. (2-tailed)		.004	.011	.109	.040	.067	.410	.076	.738	.420
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Uspesnost integracije sa učesnicima u lancu		Correlation Coefficient	.716*	1.000	.672*	.320	.407	.609*	-.309	.283	.276	.372
		Sig. (2-tailed)	.004		.009	.265	.148	.021	.282	.327	.339	.190
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Mogućnost predviđanja tražnje		Correlation Coefficient	.657*	.672*	1.000	.687*	.921**	.564*	.520	.606*	.362	.418
		Sig. (2-tailed)	.011	.009		.007	.000	.036	.056	.022	.204	.137
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Smanjenje troškova proizvodnje		Correlation Coefficient	.447	.320	.687*	1.000	.877**	.605*	.873**	.804**	.763*	.605*
		Sig. (2-tailed)	.109	.265	.007		.008	.022	.000	.000	.002	.022
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Minimalna upotreba resursa		Correlation Coefficient	.553*	.407	.921**	.877**	1.000	.385	.455	.603*	.345	.368
		Sig. (2-tailed)	.040	.148	.000	.008		.174	.102	.022	.226	.195
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Brzi odgovor na zahtevе potrošača		Correlation Coefficient	.503	.609*	.564*	.605*	.385	1.000	.784**	.805*	.533*	.661*
		Sig. (2-tailed)	.067	.021	.038	.022	.174		.001	.001	.050	.010
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika		Correlation Coefficient	.339	.309	.520	.873**	.455	.784**	1.000	.896**	.834**	.767*
		Sig. (2-tailed)	.410	.282	.056	.000	.102	.001		.000	.000	.001
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Predviđna analiza i efikasna razmena informacija		Correlation Coefficient	.490	.283	.606*	.804**	.603*	.805*	.896**	1.000	.647*	.665*
		Sig. (2-tailed)	.076	.327	.022	.000	.022	.001	.000		.012	.009
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Efikasno rešavanje reklamacija		Correlation Coefficient	.099	.276	.362	.763*	.345	.533*	.834**	.647*	1.000	.737*
		Sig. (2-tailed)	.738	.339	.204	.002	.226	.050	.000	.012		.003
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Efikasno pružanje post prodajnih usluga potrošačima		Correlation Coefficient	.234	.372	.418	.605*	.368	.661*	.767*	.665*	.737*	1.000
		Sig. (2-tailed)	.420	.190	.137	.022	.195	.010	.001	.009	.003	
		N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Eksplorativnom faktorskom analizom izdvojila su se dva faktora. Prvi ima faktor opterećenja 68.202% varijanse, a drugi 15.819 % varijanse.

Tabela 5

UTICAJ TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 NA POSLOVNE REZULTATE I INTEGRACIJU UČESNIKA U LANCU SNABDEVANJA – EKSPLOATIVNA FAKTORSKA ANALIZA

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	6.820	68.202	68.202	6.820	68.202	68.202
2	1.582	15.819	84.021	1.582	15.819	84.021
3	.628	6.282	90.303			
4	.443	4.429	94.732			
5	.317	3.173	97.905			
6	.141	1.415	99.320			
7	.047	.473	99.793			
8	.009	.091	99.885			
9	.008	.077	99.962			
10	.004	.038	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotaciona matrica je pokazala dva faktora. Prvi faktor se odnosi na integraciju učesnika cirkularnog lanca snabdevanja. Drugi faktor se odnosi na poslovne rezultate cirkularnog lanca snabdevanja.

U okviru relacija na prvom faktoru opterećenja se nalaze sledeće varijable: uspešnost interne integracije, uspešnost integracije sa učesnicima u lancu snabdevanja,

moгуćnost predviđanja tražnje, minimalna upotreba resursa, brži odgovor na zahteve potrošača i efikasno donošenje odluka u riverznim tokovima.

Na drugom faktoru opterećenja nalaze se sledeće varijable: smanjenje troškova proizvodnje, veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika, prediktivna analiza i efikasna razmena informacija, efikasno rešavanje reklamacija i efikasno pružanje postprodajnih usluga.

Tabela 6

UTICAJ TEHNOLOGIJA INDUSTRIJE 4.0 NA POSLOVNE REZULTATE I INTEGRACIJU UČESNIKA U LANCU SNABDEVANJA – ROTACIONA MATRICA

	Component	
	1	2
Uspesnost interne integracije		.776
Uspesnost integracije sa ucesnicima u ls		.921
Mogucnost predvidjanja traznje	.406	.863
Smanjenje troskova proizvodnje	.856	.457
Minimalna upotreba resursa	.451	.657
Brzi orgovor na zahteve potrosaca	.523	.747
Vecu efikasnost u kontroli i smanjne rizik zaliha	.893	.352
Prediktivna analiza i efikasna razmena informacija	.789	.512
Efikasno resavanje reklamacija	.918	
Efikasno pružanje post prodajnih usluga potrosacima	.659	.591
Efikasno donosenje odluka riverzni	.326	.709
Efiksano izdvajanje komponenti koriš?enih proizvoda	.831	

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 3 iterations.

Korelaciona analiza je pokazala pozitivne korelacije između industrije 4.0 i poslovnih rezultata cirkularnog lanca snabdevanja, kao što su smanjenje troškova poslovanja, veća efikasnost u kontroli i smanjenu rizika, prediktivna analiza i efikasna razmena informacija, efikasno rešavanje reklamacija, kao i efikasno pružanje postprodajnih usluga. Što znači da je hipoteza H1: Digitalne tehnologije Industrije 4.0 pozitivno utiče na poslovne rezultate cirkularnog lanca snabdevanja u potpunosti prihvaćena.

Takođe, korelaciona analiza je pokazala pozitivne korelacije između industrije 4.0 i integracije u cirkularnom lancu snabdevanja. Uspešnost interne integracije i integracije učesnika u lancu snabdevanja doprinosi boljem predviđanju tražnje, minimalnoj upotrebi resursa, bržem odgovoru na zahteve potrošača i efikasnom donošenju odluka u riverznim tokovima. Hipoteza H2: Digitalne tehnologije Industrije 4.0 pozitivno utiču na integraciju cirkularnog lanca snabdevanja u potpunosti prihvaćena, što se dokazuje kroz uspešnost interne integracije, integracije učesnika u lancu snabdevanja, mogućnost predviđanja tražnje, minimalnu upotrebu

resursa, brži odgovor na zahteve potrošača i efikasno donošenje odluka u riverznim tokovima. U prilog ovoj analizi idu i rezultati eksplorativne faktorske analize, gde oba faktora potvrđuju hipotezu H1 i hipotezu H2.

ZAKLJUČAK

Digitalne tehnologije cirkularnim lancima snabdevanja obezbeđuju uspeh. Uz pomoć njih, mnogo brže se mogu postići željeni ciljevi, nego što bi to bilo moguće bez primene digitalnih tehnologija. Internet of things, big data, veštačka inteligencija, mašinsko učenje i blokčein tehnologije obezbeđuju adekvatnu integraciju učesnika u lancu snabdevanja. Na taj način omogućavaju bolje praćenje i upravljanje tokovima materijala, resursima i informacijama kroz cirkularne lance snabdevanja. Digitalne tehnologije podržavaju automatizaciju i optimizaciju procesa u cirkularnim lancima snabdevanja, što dovodi do ostvarivanja boljih poslovnih rezultata, kao što je smanjenje troškova proizvodnje, veća efikasnost u kontroli i smanjenju rizika, prediktivna analiza i efikasna razmena informacija, efikasno rešavanje reklamacija, kao i efikasno pružanje postprodajnih usluga.

Istraživanjem je utvrđeno da tehnologije Industrije 4.0 kao što su 3D štampa i robotika nemaju značajnu primenu u cirkularnim lancima snabdevanja u Srbiji. Razlog tome su, najverovatnije, visoki troškovi implementacije.

Najvažniji naučni doprinos ovog rada je što je ovo prvo empirijsko istraživanje na temu primene digitalnih tehnologija u cirkularnom lancu snabdevanja u Republici Srbiji i regionu. Rezultati istraživanja su pokazali da digitalne tehnologije Industrije 4.0 zaista unapređuju integraciju učesnika, optimizuju poslovne procese i smanjuju troškove poslovanja, što je veoma važno za razumevanje konkretnih koristi cirkularnih lanaca snabdevanja. Ovo istraživanje može biti osnova za dalja istraživanja o digitalizaciji cirkularnih lanaca snabdevanja, kako u Srbiji, tako i u širem međunarodnom kontekst, čime se doprinosi razvoju teorije i prakse u oblasti cirkularnih lanaca snabdevanja.

Zbog složenosti primene cirkularnog poslovnog modela, ali i upotrebe digitalnih tehnologija Industrije 4.0, istraživanje je sprovedeno na veoma malom uzorku, što može ograničiti generalizaciju rezultata. Istraživanje je sprovedeno u Republici Srbiji, što može ograničiti upotrebljivost rezultata u međunarodnom kontekstu.

Budući pravci istraživanja mogu biti usmereni na veći broj kompanija i industrija kako iz Republike Srbije, tako i iz regiona, u cilju postizanja reprezentativnosti rezultata. S obzirom na to da su ispitanici bili stava da 3D štampa i robotika nemaju značajnu primenu u cirkularnim lancima snabdevanja, potrebno je sprovesti istraživanja u cilju utvrđivanja mogućnosti ovih tehnologija u cirkularnim lancima snabdevanja. Buduća istraživanja bi mogla biti usmerena na ekološke aspekte cirkularnih lanaca snabdevanja, kao što su ušteda resursa, smanjenje otpada i emisija štetnih gasova.

LITERATURA

1. Arenkov, I., Tsenzharik, M., & Vetrova, M. (2019, September). Digital technologies in supply chain management. In *International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019)* (pp. 448–453). Atlantis Press.
2. Bigliardi, B., Filippelli, S., Petroni, A., & Tagliente, L. (2022). The digitalization of supply chain: a review. *Procedia Computer Science*, 200, 1806–1815.
3. Dwivedi, A., Ganguly, A., & Paul, S. K. (2024). Critical success factors for linking digital technologies and circular supply chains. *Business Strategy and the Environment*.
4. [3D Printing, Innovation, and Supply Chain Resiliency More Important Than Ever, Say Manufacturing Decision Makers \(hp.com\)](#)
5. Arenkov, I., Tsenzharik, M., & Vetrova, M. (2019, September). Digital technologies in supply chain management. In *International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019)* (str. 448–453). Atlantis Press.
6. Attaran, M. (2020, July). Digital technology enablers and their implications for supply chain management. In *Supply Chain Forum: An International Journal* (Vol. 21, No. 3, str. 158–172). Taylor & Francis.
7. Calatayud, A., Katz, R., Betti, F., & Lehmaher, W. (2019). Supply Chain 4.0: Global Practices and Lessons Learned for Latin America and the Caribbean. In *World Economic Forum White Paper*.
8. De Angelis, R., Howard, M., & Miemczyk, J. (2018). Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. *Production Planning & Control*, 29(6), 425–437.
9. Di Maria, E., De Marchi, V., & Galeazzo, A. (2022). Industry 4.0 technologies and circular economy: The mediating role of supply chain integration. *Business Strategy and the Environment*, 31(2), 619–632.
10. EMF (Ellen MacArthur Foundation), and McKinsey & Co. (2012). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Retrieved 2013 May from <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/business/reports>
11. Farooque, M., Zhang, A., Thüerer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of cleaner production*, 228, 882–900.
12. Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of cleaner production*, 190, 712–721.
13. Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669–686.
14. González-Sánchez, R., Settembre-Blundo, D., Ferrari, A. M., & García-Muiña, F. E. (2020). Main dimensions in the building of the circular supply chain: A literature review. *Sustainability*, 12(6), 2459.
15. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217.
16. Johny, J., & Gurtu, A. (2023). Technologies in Digital Supply Chain and Sustainability In P. Evangelista, J. Hallikas and M.Y. Jaber (Eds). Environmentally

- Responsible Supply Chains in an Era of Digital Transformation: Research Developments and Future Prospects. Edward Elgar Publishing Limited
17. Mark Jackley (Nov 9, 2023). What Is a Circular Supply Chain? <https://www.oracle.com/scm/circular-supply-chain/>
 18. Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., Ioannidis, D, Votis, K. & Tzovaras, D. (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 300, No article. 126886.
 19. Mastos, T. D., Nizamis, A., Vafeiadis, T., Alexopoulos, N., Ntinis, C., Gkortzis, D., & Tzovaras, D. (2020). Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. *Journal of cleaner production*, 269, 122377.
 20. Nasir, M. H. A., Genovese, A., Acquaye, A., Koh, S. C. L., & Yamoah, F. (2017). Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry. *International Journal of Production Economics*, 183, 443–457.
 21. Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia manufacturing*, 13,
 22. Romagnoli, S., Tarabu', C., Maleki Vishkaei, B., & De Giovanni, P. (2023). The Impact of Digital Technologies and Sustainable Practices on Circular Supply Chain Management. *Logistics*, 7(1), 1.
 23. Uçar, E., Le Dain, M. A., & Joly, I. (2020). Digital technologies in circular economy transition: evidence from case studies. *Procedia cirp*, 90, 133–136.

RESUME

Digital technologies ensure the success of circular supply chains. With their help, the desired goals can be achieved much faster than would be possible without the application of digital technologies. The Internet of Things, Big Data, artificial intelligence, machine learning, and blockchain technologies ensure adequate integration of supply chain participants. In this way, they enable better monitoring and management of material flows, resources, and information through circular supply chains. Digital technologies support the automation and optimization of processes in circular supply chains, which leads to better business results, such as reduced production costs, greater control efficiency, and risk reduction, predictive analysis and effective information exchange, effective problem-solving, complaints, as well as efficient provision of after-sales services. The research determined that Industry 4.0 technologies such as 3D printing and robotics have no significant application in circular supply chains in Serbia. The reason for this is, most likely, high implementation costs. It is very important that circular supply chains in Serbia have recognized the importance of using digital technologies and that they have had a positive impact on their business results, and thus on the development of our country's economy. In addition to the proven positive effects on business results and the integration of supply chain participants, Industry 4.0 technologies have a significant impact on achieving the environmental goals of the circular supply chain. Future research may focus on examining specific environmental impacts and potential resource and energy savings.