

Važnost korištenja digitalne tehnologije u operacijskom menadžmentu

Šilović, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:073392>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu

Ekonomski fakultet

Integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studiji

Poslovna ekonomija – smjer Menadžment

**Važnost korištenja digitalne tehnologije u operacijskom
menadžmentu**

DIPLOMSKI RAD

MATEJ ŠILOVIĆ

Zagreb, rujna, 2022.

Sveučilište u Zagrebu

Ekonomski fakultet

Integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studiji

Poslovna ekonomija – smjer Menadžment

**Važnost korištenja digitalne tehnologije u operacijskom
menadžmentu**

**The importance of using digital technology in operational
management**

Diplomski rad

Matej Šilović, 0067543311

Mentor: Prof. dr. sc. Jasna Prester

Zagreb, rujan, 2022.

Sažetak

Živimo u društvu koje prolazi kroz brzu digitalnu transformaciju, mijenjajući način na koji različiti igrači u opskrbnim lancima i tehnološkim sustavima međusobno komuniciraju i vrše svoje uloge. Na primjer, način na koji tvrtke i korisnici međusobno komuniciraju promijenio se u digitalnom gospodarstvu pod utjecajem računalne tehnologije i brzog dijeljenja informacija. Tvrtke danas prikupljaju velike količine podataka za analizu ponašanja potrošača, dok potrošači mogu pratiti promjene u strategijama tvrtki kako bi donosili informirane odluke o kupnji. U toj eri digitalne transformacije, sve je češća upotreba alata za analizu podataka i strojno učenje u donošenju strateških ali i operativnih odluka. Industrija 4.0 integrira fizičke i digitalne tehnologije uključujući analitiku, robotiku, aditivnu proizvodnju, umjetnu inteligenciju, napredne materijale, računalstvo visokih performansi, *blockchain* i još mnoge druge tehnologije. Nakon mehanizacije, elektronike i informatizacije, četvrta industrijska revolucija promiče virtualizaciju, decentralizaciju, sposobnost rada u stvarnom vremenu, računalstvo u oblaku, integraciju industrijskih informacija, fleksibilnu prilagodbu, inteligentne sustave, automatsku proizvodnju i optimiziranje procesa do najsitnijih detalja. Ciljevi Industrije 4.0 su postizanje više razine operativne učinkovitosti i produktivnosti, kao i više razine automatizacije. U literaturi se spominje pet glavnih značajki Industrije 4.0; digitalizacija, optimizacija i prilagodbe proizvodnje, automatizacija i prilagodba interakcija čovjek-stroj, usluge i poslovanje s dodanom vrijednošću te automatska razmjena podataka i komunikacija. Želja predvodnika Industrije 4.0 je uspostaviti inteligentno okruženje, pametne tvornice, čak i pametne gradove, gdje je sva tehnologija međusobno povezana putem *clouda*. To bi znatno ubrzalo sve procese opskrbnog lanca, međutim protivnici ovog trenda digitalizacije zagovaraju postepeniju tranziciju, upozoravaju na mogućnost velikog broja otkaza zbog sve inteligentnije tehnologije koja postepeno zamjenjuje ljudski rad, te privatnost i sigurnost osobnih podataka kao neke od prepreka nadolazeće industrije. U ovom radu će se analizirati koje su prednosti digitalnih tehnologija, te važnost njene primjene na konkurentnim tržištima koji zahtijevaju konstantnu prilagodbu i fleksibilnost.

Ključne riječi: digitalna transformacija, operacijski menadžment, Industrija 4.0, digitalna tehnologija, pametni gradovi, lanac opskrbe

Summary

We live in a society undergoing rapid digital transformation, changing the way different players in supply chains and technology systems interact with each other and perform their roles. For example, the way a company and customers communicate with each other has changed in the digital economy under the influence of computer technology and the rapid sharing of information. Companies today collect large amounts of data to analyze consumer behavior, while consumers can monitor changes in company strategies to make informed purchasing decisions. In this era of digital transformation, the use of tools for data analysis and machine learning in making strategic as well as operational decisions is increasingly common. Industry 4.0 integrates physical and digital technologies including analytics, robotics, additive manufacturing, artificial intelligence, advanced materials, high performance computing, blockchain and many other technologies. After mechanization, electronics and computerization, the fourth industrial revolution promises virtualization, decentralization, the ability to work in real time, cloud computing, integration of industrial information, flexible adaptation, intelligent systems, automatic production and process optimization down to the smallest detail. The goals of Industry 4.0 are to achieve a higher level of operational efficiency and productivity, as well as a higher level of automation. Five main features of Industry 4.0 are mentioned in the literature: digitization, optimization and adaptation of production, automation and adaptation of human-machine interaction, services and business with added value and automatic exchange of data and communication. The desire of the leaders of Industry 4.0 is to establish an intelligent environment, smart factories, even smart cities, where every technology is interconnected through the cloud. This would significantly speed up all supply chain processes; however opponents of this digitization trend advocate a gradual transition, warn of the possibility of a large number of layoffs due to increasingly intelligent technology that is gradually replacing human work, and the privacy and security of personal data as some of the obstacles of the upcoming industry. This paper will analyze the advantages of digital technology and the importance of its application in competitive markets that require constant adaptation and flexibility.

Key words: digital transformation, operations management, Industry 4.0, digital technology, smart cities, supply chain

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni/diplomski/poslijediplomski specijalistički rad, odnosno doktorski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

(mjesto i datum)

Matej Šilović v.r.

Zagreb, 15.07.2022

STATEMENT ON THE ACADEMIC INTEGRITY

I hereby declare and confirm by my signature that the final thesis is the sole result of my own work based on my research and relies on the published literature, as shown in the listed notes and bibliography.

I declare that no part of the thesis has been written in an unauthorized manner, i.e., it is not transcribed from the non-cited work, and that no part of the thesis infringes any of the copyrights.

I also declare that no part of the thesis has been used for any other work in any other higher education, scientific or educational institution.

Matej Šilović, v.r.

Zagreb, 13.07.2022.

SADRŽAJ

1. UVOD

- 1.1. Područje i cilj rada
- 1.2. Izvori i metode prikupljanja podataka
- 1.3. Sadržaj i struktura rada

2. UPOTREBA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU

- 2.1. Upotreba digitalne tehnologije u proizvodnji
- 2.2. Upotreba digitalne tehnologije u planiranju
- 2.3. Upotreba digitalne tehnologije u kontroli
- 2.4. Prednosti i nedostaci korištenja digitalne tehnologije u operacijskom menadžmentu

3. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU U INDUSTRIJI 4.0

- 1.1. Transformacija masovnih proizvodnih pogona u pametne sustave
- 1.2. *Blockchain* u lancu opskrbe
- 3.3. Umjetna inteligencija i robotika u operacijskom menadžmentu
- 3.4. Upravljanje zalihama pomoću 5G mreže
- 3.5. 3D ispis u proizvodnji

4. KVALITATIVNO ISTRAŽIVANJE VAŽNOSTI KORIŠTENJA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU

- 4.1. Metodologija istraživanja
- 4.2. Rezultati istraživanja
- 4.3. Ograničenja istraživanja

5. ZAKLJUČAK

Popis izvora

Popis slika

Životopis

1. UVOD

1.1. Područje i cilj rada

Područje pisanja ovog rada je značaj digitalne tehnologije na procese unutar operacijskog menadžmenta. S napretkom tehnologije u svijetu dolazi do sve lakšeg obavljanja poslovanja, digitalizacijom se pokušava povezati cjelokupni proizvodni proces i ta transformacija će biti glavni predmet ovog rada, optimizacija procesa putem digitalne tehnologije unutar operacijskog menadžmenta.

Cilj ovog rada je ukazati na promjene koje donosi implementacija digitalnog poslovanja, istražiti će se koliko digitalne tehnologije utjecale na obujam proizvodnje, je li primjena tih tehnologija znatno smanjila troškove i ubrzale procese, te kakav sinergijski učinak se stvara ukoliko se svi procesi stvaranja vrijednosti povežu na *cloud*.

1.2. Izvori i metode prikupljanja podataka

Izvori korišteni pri izradi ovog diplomskog su znanstveni članci iz online baza podataka kao što su Hrčak (portal hrvatskih znanstvenih i stručnih časopisa), *Discovery sustav Summon*, E-izvori, *EBSCO Host*, *CROSB*, *Emerald*, *Google Scholar*, članci sa internetskih stranica, *ScienceDirect* i ostale online baze podataka. U istraživačkom dijelu rada provedena je kvalitativna analiza podataka putem dubinskog intervjua. Prikupljanje podataka odvijalo se licem u licem ili *online* putem video kamere, dok se uzorak klasificira kao namjerni.

1.3. Sadržaj i struktura rada

Rad je podijeljen na 5 poglavlja od kojih je njih 4 razrađeno i podijeljeno na dodatna potpoglavlja. U uvodnom poglavlju je opisan predmet i cilj rada, prikazani su izvori i metode prikupljanja podataka. U drugom poglavlju je objašnjeno općenito što je to operacijski menadžment, kako digitalne tehnologije utječu na transformaciju procesa stvaranja vrijednosti te koje su prednosti i nedostaci uvođenja digitalnih tehnologija u poslovanje. U trećem poglavlju se opisuju digitalne tehnologije iz Industrije 4.0, razrađuju se relativno novi koncepti kao što su Internet stvari, pametne tvornice, 3D ispis, upravljanje zalihama putem 5G

mreže i ostale digitalne tehnologije. U četvrtom poglavlju je razrađena kvalitativna analiza podataka prikupljenih putem dubinskog intervjua. U petom poglavlju se nalazi zaključak cjelokupnog rada, ponovit će se najbitnije teze do kojih se došlo istraživanjem.

2. UPOTREBA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU

Pojam operacijski menadžment označava skup aktivnosti oblikovanja, uspostavljanja i provedbe određenih obrazaca kojima se nastoji optimizirati temeljne organizacijske procese stvaranja vrijednosti. Proces pretvaranja ulaznih vrijednosti u društveno korisne proizvode ili usluge, odnosno proces stvaranja novog oblika vrijednosti naziva se operacijski proces. Stoga operacijski menadžment teži razumijevanju, vođenju i oblikovanju potrebnih procesa pretvorbe ulaznih resursa u izlazne proizvode ili usluge. Poznato je da svaka organizacija, neovisno o kojoj djelatnosti se radi, koristi sebi svojstvene ulazne resurse, kako bi pomoću njih stvorila ciljani oblik izlaznih vrijednosti, tj. proizvoda ili usluga. Svrha operacijskog menadžmenta je kvalitetno optimizirati omjer *input*-a i *output*-a. (Grubišić et al., 2022.)

Brzi razvoj digitalnih tehnologija (npr. mobilnih usluga, računalstva u oblaku) promijenio je poslovno okruženje i mnoge procese koji su se obavljali ručno, sada se mogu obavljati putem međusobno povezanih uređaja i strojeva. Poslovna komunikacija je doživjela ogroman napredak, praćenje procesa proizvodnje, nabave, logistike je postalo vrlo lagano s obzirom da se putem čipa može kontinuirano pratiti svaki korak u pojedinom procesu u realnom vremenu.

Povezivanje različitih aktera lanca vrijednosti pomoću digitalnih tehnologija su izvori stvaranja vrijednosti. Primjeri takvih stvaranja vrijednosti su donošenje inteligentnijih odluka prikupljanjem i analiziranjem ogromne količine podataka, automatizacija i analitika, transparentno dijeljenje informacija i brojni drugi načini koji će se razraditi u nastavku rada.

2.1. Upotreba digitalne tehnologije u proizvodnji

U novoj globalnoj ekonomiji trend je da se proizvodni sustavi mijenjaju od masovne proizvodnje prema sve većoj personaliziranoj proizvodnji usmjerenoj na kupca. Industrije će stoga možda morati transformirati svoje poslovne procese, razne organizacijske i tehnološke aspekte u susret sa sve većom potražnjom kupaca za personaliziranim proizvodima i uslugama. Nadalje, proizvodne industrije danas se pretežito oslanjaju na inovacije kao glavni izvor konkurentске prednosti. Tehnološki aspekti proizvodnih sustava se brzi o lako mijenjaju u obliku digitalnih inovacija. Razna istraživanja ukazuju na to da digitalna tehnologije mogu značajno pomoći industrijama da ostvare svoje proizvodne procese na efikasniji i kvalitetniji

način. Ove teze su podržane od strane autora Zangiacomi et al. koji tvrde da proizvodne industrije mogu ojačati kvalitetu personalizirane proizvodnje, optimizirati brojne operacije putem automatizacije, poboljšati dijeljenje informacija te donošenje odluka kroz implementaciju digitalnih tehnologija. (Rahnama et al., 2021.)

Implementacija digitalnih tehnologija često zahtjeva nove automatizirane, fleksibilne proizvodne sustave gdje integrator takvog sustava mora pružiti znanje, vještine i kapacitet održavanja, stoga mora implementirati samoodrživi sustav temeljen na potrebama korisnika. Digitalna transformacija u proizvodnim industrijama je također poznata kao Industrija 4.0, koja će se detaljnije razraditi u nastavku rada. Hinings et al. digitalnu transformaciju opisuju kao „...kombinirani učinci nekoliko digitalnih inovacija koji donose nove aktere, prakse, strukture, uvjerenja i vrijednosti koja će promijeniti, ugroziti, zamijeniti ili dopuniti postojeća pravila igre unutar organizacije... „ Stoga možemo zaključiti kako digitalna inovacija definira stvaranje novih proizvoda, usluga, procesa, platformi, praksi ili poslovnih modela, korištenjem digitalnih tehnologija. (Hinings et al., 2017.)

Brzi tehnološki razvoj motivirao je industrije i organizacije da kontinuirano razvijaju svoje poslovne modele i procese, što za rezultat ima digitalnu transformaciju društva i gospodarstva. Novi tehnološki trendovi su revolucioniranje tradicionalnih načina rada, uloga i poslovnih modela. U sve digitaliziranjem svijetu, korištenje digitalnih tehnologija može stvoriti prilike za organizacije za razvoj novih digitalnih proizvoda i usluga, digitalnih poslovnih procesa, odnosno digitalnih poslovnih modela. U široj perspektivi, digitalna transformacija može utjecati na čitavi lanac vrijednosti proizvodnih industrija. Lanac stvaranja vrijednosti predstavlja proces organiziranja dizajna, proizvodnje, prodaje te dostave do kupca. Korištenje digitalne tehnologije, kao na primjer aditivna proizvodnja ili analitika *big data* može stvoriti vrijednost za različite procese opskrbe, razvoj proizvoda, administracija, odnos s kupcima i slično. Povezivanjem različitih aktera lanca vrijednosti pomoću digitalne tehnologije izvori su stvaranja nove vrijednosti. (Rahnama et al., 2021.)

Proizvodi i usluge dobiveni putem digitalnih tehnologija mogu biti hardverska ili softverska rješenja. Hardver se odnosi na fizički ili opipljiv proizvod koji ima specifičnu ulogu u radu sustava. Softver se odnosi na programirani računalni kod, koji se može ponuditi kao Softver

kao usluga (SaaS), dok se industrijske usluge odnose na nematerijalne aktivnosti projektiranja, stvaranja, rad i održavanje sustava za rješavanje problema kupaca.

Skupina autora iz njemačke ističe kako danas više od 90% procesa industrijske proizvodnje u proizvodnim poduzećima podržava informacijske i komunikacijske tehnologije. Osim toga, količina podataka koju generiraju strojevi, senzori, vozila tokom proizvodnje su značajni. Tvrtke se suočavaju sa izazovom velike količine podataka i njihovim upravljanjem. S jedne strane to vodi do novih perspektiva o tome kako se podaci generiraju, strukturiraju, pohranjuju i analiziraju i daje poticaj tvrtkama da usvoje i optimiziraju mogućnosti analize podataka (npr. *Big Data*) kako bi poboljšali procese proizvodnje, te u konačnici poboljšali performanse čitavog lanca vrijednosti. S druge strane, problemi upravljanja podacima kao što je privatnost podataka, sigurnost, dostupnost i arhiviranje i dalje su istaknuta i neriješena pitanja. Međutim, upravljačke odluke donesene korištenjem ovim metodama analize podataka, jednako su kvalitetne kao temeljna baza podataka. Stoga problemi upravljanja podacima ostaju primarni inhibitor napredne analitike, koji zauzvrat čini osnovu za nove poslovne modele. Na temelju ovih trendova, spomenuta grupa autora je osmislila konceptualni pristup implementaciji digitalnog protokola vozila, upošljavanjem DLT (engl. *Distributed Ledger Technology*) umjesto korištenja centralizirane baze podataka ili metodama temeljenim na papiru. Što se tiče prilagodbe skladišta podataka po proizvodu, podaci se mogu pisati i čitati s bilo koje točke duž lanca vrijednosti. U isto vrijeme, to rješava uobičajene probleme upravljanja podacima uključujući između ostaloga zahtjeve, pravne dokumentacije, praćenje od kraja do kraja, kao i proizvodnja bez papira i povezana analitika. DLT opisuje tehnologiju koja se koristi za dokumentiranje određenih transakcija. Za razliku od konvencionalnog „*data lake*“ pristupa ili skladišnog pristupa, u kojem središnja knjiga upravlja samo jednom instancom, ovdje bilo koji broj suštinski ekvivalentne kopije glavne knjige održavaju različite stranke na decentralizirani način. Postoje prikladne metoda osiguranja valjanosti novih transakcija koje je potrebno dodati u svim primjercima glavne knjige te da je postignut konsenzus o tekućem statusu glavne knjige. DLT je poznat kao roditeljska tehnologija *blockchain*-a. Sve u svemu, iz tehnološke perspektive se čini izvedivo primijeniti DLT kao sredstvo digitalne okosnice za proizvod digitalnog blizanca, čime se može riješiti gore navedeni problem upravljanja podacima. (Beckschulte et al., 2022.).

2.2. Upotreba digitalne tehnologije u planiranju

Planiranje lanca opskrbe izuzetno je bitan element globalne proizvodnje. Sa aspekta pouzdanosti, produktivnosti i učinkovitosti, globalni proizvođači pozivaju na digitalniji, osjetljiviji i analitičniji pristup planiranja opskrbnog lanca. Kao jedna od tehnologija u nastajanju, digitalni blizanac pruža duboku sinkronizaciju i dinamičku interakciju između fizičkog i virtualnog svijeta. Važnost planiranja opskrbnog lanca se nikako ne može precijeniti. U interesu opskrbnog lanca, planiranje predstavlja temelj za bilo kakvu nabavu, proizvodnju ili logistiku. U interesu cijele proizvodnje, planiranje najznačajnije utječe na ukupne troškove, produktivnost i kvalitetu procesa, kao i kvalitetu finalnih proizvoda ili usluga. Neovisno o postupku kojim se lanac opskrbe odvija, planiranje se u suštini bavi sa 3 glavna pitanja: koje su ulazne stavke uključene, koliko materijala treba naručiti, kupiti ili proizvesti, te kada subjektivnosti trebaju početi ili završiti. Što se proizvodnje tiče, neki autori tvrde da postoje 3 subjektivnosti planiranja koje uključuju: prognozu potražnje, agregat planiranja i planiranje zaliha. Za drugačije planiranje sa drugim subjektivitetima i aspektima, Hugos (2018.) je u svojoj knjizi sažeo četiri ključne varijable: ponuda, potražnja, karakteristike proizvoda i konkurentsko okruženje. Planiranje opskrbnog lanca se može promatrati kao empirijski zadatak upravljanja, inženjeri planiranja se vrlo često oslanjaju na vlastito znanje i iskustvo pri donošenju odluka i planova. Sa pojavom Industrije 4.0, lanac opskrbe se postepeno mijenja prema elektroničkom obliku koji dobiva naziv e-lanac opskrbe. Postoje brojne tehnologije u nastajanju kojima se želi poboljšati planiranje lanca opskrbe kao što su Internet stvari, robotika, analitika velikih podataka, međutim navedene tehnologije u nastajanju nailaze na problem rješavanja nekih jednostavnih konvencionalnih problema planiranja. (Wang et al., 2020.)

Ovo podpoglavlje će se orijentirati na integraciju planiranja opskrbnog lanca pomoću tehnologije digitalnog blizanca. Kao informacijska tehnologija u nastajanju, stručnjaci predviđaju da bi digitalni blizanac trebao podići planiranje opskrbnog lanca na višu razinu. Digitalni blizanac je razvijen sa tri ključna dijela: fizički proizvod (FP), virtualni proizvod (VP) te razmjena podataka. Taov istraživački tim je 2018. godine obogatio tehnologiju digitalnog blizanca sa peto-dimenzionalnim modelom koji integrira fizički proizvod, virtualni proizvod, bazu podataka, usluge i veze. Do danas je ta tehnologija proširena integracijom

višestruke informacijske tehnologije. U usporedbi sa današnjim konvencionalnim tehnologijama u fizičkom i virtualnom prostoru, digitalni blizanac ima 3 važne značajke. Prva značajka je to što postiže sinkronizaciju između fizičkog i virtualnog proizvoda. Druga značajka je ta da značajno poboljšava sličnost i opseg virtualnog entiteta. Treća bitna značajka je to što digitalni blizanac sveobuhvatno i dinamično prikuplja podatke iz brojnih izvora. U interesu planiranja opskrbnog lanca, mnogi autori tvrde da će razvoj Industrije 4.0 promovirati trend i učiniti tehnologiju digitalnog blizanca učinkovitijom, pouzdanijom i analitičnijom. (Wang et al., 2020.)

Izrada prognoza temelj je planiranja opskrbnog lanca. Većina planiranja i odluka temelje se na rezultatima predviđanja za koordinaciju nabave, proizvodnje i logistike. Na primjer, za upravljanje inventarom, inženjeri planiranja će uzimati u obzir predviđanje budućeg tržišta, produktivnosti i cijene dobavljača, distribuciju do svakog skladišta, količinska opskrba svake tvornice i mnoge druge faktore, te na temelju svega toga kreirati plan. Hugos (2018.) je klasificirao 4 različite metode predviđanja: kvalitativne metode, slučajne metode, metode vremenskih serija i metode simulacije. Kvalitativne metode predstavljaju empirijske pristupe putem kojih inženjeri donose odluke na temelju vlastitog znanja, iskustva i spoznaja. Slučajne metode predstavljaju hipotetski pristup za koje se pretpostavlja da je potražnja velika u korelaciji s nekoliko čimbenika, inženjeri stoga predviđaju analizirajući promjene ovih faktora. Metode vremenskih serija predstavljaju analitičke pristupe u kojima se prognoza vrši putem trendova i obrazaca iz podataka iz prošlosti. Metode simulacije se dobivaju kroz računalni softver koji izrađuje simulaciju potencijalnih budućih uvjeta ovisno o zadanim postavkama i faktorima. U planiranju lanca opskrbe, donositelji odluka često implementiraju više strategija i metoda, kako bi povećali pouzdanost i učinkovitost te smanjili rizik. (Hugos, 2018.)

U skladu sa informacijskom tehnologijama i Industrijom 4.0, e-opskrbeni lanac teži sve većoj digitalizaciji, analitici i automatizaciji. Na primjer, Internet stvari čini prikupljanje i razmjenu podataka jednostavnijim i bržim. Robotika uklanja ljudske napore od mnogih operacija u lancu opskrbe. Analitika velikih podataka čini prognoziranje točnijim. Kroz digitalne tehnologije planiranje postaje fleksibilnije i agilnije kako bi lakše odgovaralo fluktuirajućem tržištu i dinamičnoj okolini.

Kao što je prethodno navedeno, digitalni bliznac se sastoji od 3 važne značajke: sinkronizacija između fizičkog i virtualnog proizvoda, sveobuhvatno i dinamičko prikupljanje podataka i visokokvalitetno virtualno modeliranje. Navedene tri značajke igraju bitnu ulogu u rješavanju izazovima sa kojima se planiranje danas susreće. Sinkronizacijom između fizičkog i virtualnog proizvoda, digitalni bliznac promiče brže djelovanje i odgovor kako bi se smanjilo vrijeme isporuke. Planiranje se bazira na povijesnim podacima i slučajevima kao i iz svake zasebne jedinice u lancu. Konvencionalno, postoji značajni vremenski jaz između identifikacije cilja, prikupljanja podataka i stvaranja akcije. Sinkronizacija između fizičkog i virtualnog proizvoda omogućuje razmjenu informacija između svake jedinice i inženjera u opskrbnom lancu u stvarnom vremenu, što značajno smanjuje utrošeno vrijeme. Inženjeri tako mogu brzo upravljati lancem i modificirati virtualni proizvod po potrebi. S dinamičnim i sveobuhvatnim prikupljanjem podataka, digitalni bliznac značajno poboljšava točnost prognoze. Konvencionalno, podaci prikupljeni iz povijesnih slučajeva često nisu dovoljno opsežni da se kvalitetno opiše status svake pojedine jedinice u lancu kao i uključeno okruženje. Nasuprot tome, tehnologija digitalnog blizanca dinamički prikuplja podatke iz obilnih izvora. Kod fizičkih proizvoda, digitalni bliznac prikuplja podatke iz sličnih proizvoda, okruženja i operatera u stvarnom vremenu, dok kod virtualnih proizvoda, digitalni bliznac prikuplja podatke kroz virtualne modele i simulacije, kao i kroz prijašnje slučajeve. Također, različiti digitalni blizanci mogu komunicirati i razmjenjivati podatke međusobno, što omogućava prikupljanje podataka iz drugih sustava. Stoga ogromna količina podataka nužno čini planiranje i predviđanje točnijim kroz dulji vremenski period. (Wang et al., 2020.)

Prognoza potražnje je prvi korak u planiranju. Ishodi tih prognoza određuju potrebne proizvode, količine i rasporede. Predviđanje potražnje u elektroničkom lancu opskrbe znači prelazak sa empirijskog na analitički način obrade podataka. Stoga se može zaključiti kako podaci predstavljaju srž bilo koje prognoze potražnje. U usporedbi sa konvencionalnim, tehnologija digitalnog blizanca uvodi promjene u 3 izazova prikupljanja podataka: koji podaci bi trebali biti prikupljeni, kako se ti podaci mogu prikupiti te kako se prikupljeni podaci mogu koristiti u predviđanju pomoću digitalnog blizanca. Glavna 4 izvora za prikupljanje podataka pomoću tehnologija digitalnog blizanca su: fizički i virtualni proizvodi lanca opskrbe, podaci sa internetske mreže, skupovi podataka iz različitih digitalnih blizanca i digitalni blizanci samog proizvoda. Iz fizičkih i virtualnih proizvoda opskrbnog lanca, digitalni bliznac može

prikupljati podatke koji su relevantni svakoj jedinici u opskrbnom lancu, kao što je stopa kvarova stroja, tok proizvoda u skladište, količina materijala potrebnog za dostavu i slično. Iz mrežnih izvora digitalni bliznac može dohvatiti relevantne podatke o tržišnim okruženjima i kupcima kao što je cijena proizvoda, sveukupna financijska situacija konkurenata i kupaca i ostale bitne povratne informacije. Iz skupova podataka može pregledavati povijesne slučajeve i provedene planove. Uvjeti slučajeva i ishodi planova se također mogu dohvatiti te analizirati. Od proizvoda digitalnog blizanca, ispravnost svakog pojedinog stroja ili proizvoda se može provjeriti, kako bi se na vrijeme zamijenili kvarni proizvodi, također digitalni bliznac može dohvatiti povratnu informaciju od potrošača što se tiče njihovog zadovoljstva proizvodom u stvarnom vremenu, te evaluirati želju potrošača za kupovinom. (Wang et al., 2020.)

Kada se predvidi agregatna potražnja, inženjeri će započeti sa proizvodnjom i stvaranjem zaliha kako bi se zadovoljio predviđeni ishod, koji se naziva agregatno planiranje. Postoje 3 izvora putem kojih se može zadovoljiti potražnja: normalna proizvodnja, višak proizvodnje te zalihe. Inženjeri će distribuirati potrebe potražnje kroz ova 3 izvora tako da balansiraju produktivnost, troškove i pouzdanost. U kompleksnom proizvodnom sustavu, subjektivnost ovakvog planiranja može biti vrlo izazovan zadatak. Stoga tehnologija digitalnog blizanca pomaže inženjerima u planiranju agregatne potražnje kroz 3 aspekta. Prvo, pomaže inženjerima u praćenju i izdvajanju standardne proizvodnje, višak proizvodnje te zalihe. Kada se tehnologija digitalnog blizanca implementira u tvornice i skladišta, razina proizvodnje u kao i razina zaliha će se kontinuirano bilježiti i pratiti u stvarnom vremenu. Drugo, pomaže inženjerima u distribuciji materijala u proizvodnom procesu, te pomaže u situaciji kada inženjeri rade nacrt plana za distribuciju opskrbnog lanca kroz normalnu proizvodnju, kroz višak proizvodnje ili kroz zaliha, na temelju prethodnog koraka, digitalni bliznac će predstaviti odgovarajuće parametre za proizvodnju, trošak, razinu zaliha, rizik koji će poslužiti inženjerima za kvalitetnije planiranje i predviđanje. Treće, pomaže inženjerima da provjere planiranje, omogućeno kroz tehnologiju podataka i modeliranja, virtualni proizvod svake pojedine jedinice postaje dio virtualnog proizvoda čitavog lanca, što čini simulacije vrlo preciznim. (Wang et al., 2020.)

2.3. Upotreba digitalne tehnologije u kontroli

Građevinska industrija je već dugi niz godina na vrlo niskoj razini produktivnosti, zbog nedostatka prilagodljivosti digitalizaciji poslovanja. Za usporedbu, proizvođačka industrija uspjele su uspješno integrirati računalne aplikacije poput Interneta stvari u svoje procese. Kao rezultat toga njihov ekonomski napredak značajno je porastao. Digitalizacija i automatizacija u građevinskoj industriji je relativno nov sektor s puno mogućnosti za istraživanje i inovacije. Jedan od korisnih instrumenata za kontrolu resursa i operacija je digitalno okruženje za praćenje okvira za upravljanje lancem opskrbe (engl. *digital environment for monitoring the construction supply chain management framework*). Za infrastrukturne projekte, autori Jaiswal i Uzairuddin (2022.) sugeriraju korištenje i integraciju digitalnog modeliranja informacija o zgradama (engl. *Building Information Modeling – BIM*), te geografskog informacijskog sustava (engl. *Geographic Information System – GIS*) radi poboljšane produktivnosti i koordinacije. Nadalje ističu kako konvergencija BIM-a i GIS-a stvara potpuni digitalni prikaz fizičkog okruženja. BIM se može koristiti za proizvodnju, upravljanje i razmjenu operativnih podataka o građevinskim strukturama, dok se GIS može koristiti za upravljanje logističkim aspektom građevinskog projekta, te pohranjivanje, organiziranje i analizu podataka koji predstavljaju horizontalno raširenu urbanu okolinu. Kao rezultat toga, integracija BIM-a i GIS-a ključna je u aplikacijama urbane održivosti koje zahtijevaju podatke i iz objekata i iz fizičkog okruženja. (Jaiswal i Uzairuddin, 2022.)

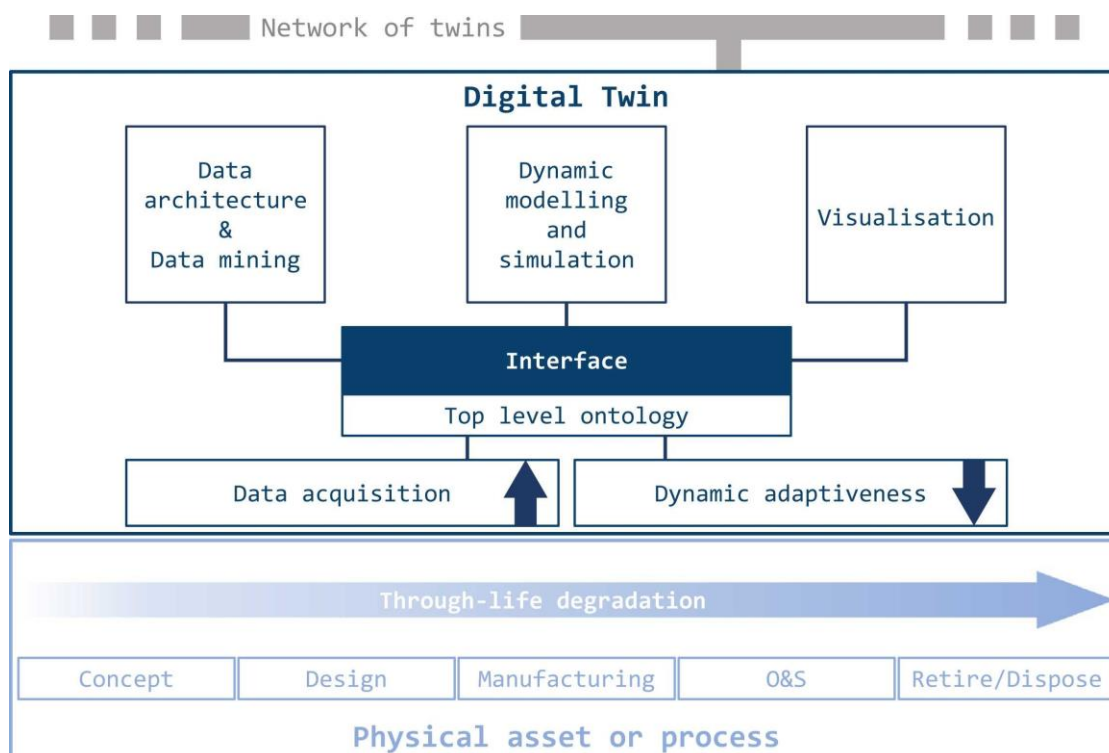
S obzirom na raznolikost industrijskih procesa, na uobičajene uređaje za mjerenje ravne površine više utječu vanjski čimbenici. Grupa autora je u svojem radu prikazala tehnologiju digitalne obrade slika za sustav kontrole mjerenje razine površine, u kombinaciji sa CCD (engl. *Charged-coupled device*) kamerom kao jednom od metoda mjerenja. Fiksna zraka za potrebe mjerenja koju generira laser mjerenja oblikuje posebnu svjetlosnu točku na površini objekta. Stoga se mjerenje može odvijati prema promjenjivom opsegu ovih točaka ili prema udaljenosti kretanja. Autori ističu kako se trenutno mjerenje razine površine široko primjenjuje u industriji. Što se tiče dinamičkog prijevoza svih vrsta sirovina, materijala i gotovih proizvoda u svakom proizvodnom procesu, količina materijala u spremniku mora biti poznata u svakom trenutku, da se može adekvatno reagirati na nepredviđene situacije. Oprema za detekciju razine naziva se mjerač razine, koji se bitno razlikuje od klasičnih uređaja, prilagođava se industrijskim uvjetima kao što su udari, promjene temperature, vlažnost,

frekvencija, ultrazvučni valovi, elektromagnetski valovi i uređaj funkcionira normalno pod svim tim uvjetima. Postoje brojni zahtjevi za mjerenje razine kao što su: radar, otpornici, kondenzatori, otpor rotacije, zračenje i ostali. S razvojem tehnologije postoje brojni zahtjevi koje je teško sve pokriti sa jednim uređajem, stoga se i dalje primjenjuje proizvodnja mjerača razine prema posebnim zahtjevima kupca, ovisno o uvjetima i industriji za koju je predviđen. (Deng et al., 2011.)

Informacijsko planiranje zgrada (engl. *Building Information Modelling* - BIM) bilo je revolucionarno za građevinski sektor jer donosi jedinstvenu digitalnu platformu koja uključuje sve fizičke i funkcionalne karakteristike građevinskog projekta, koje su prije bile zatvorene. Međutim BIM ne pruža cjelovito rješenje za upravljanje imovinom tijekom cijelog životnog vijeka, budući da je to model, a model nije savršen prikaz imovine koja se mijenja tijekom vremena, kao što to čini zgrada. Iz perspektive bogatstva informacija i sposobnosti analitike/odlučivanja, koncept digitalnih blizanaca (engl. *Digital Twins* – DT) je širi od BIM-a. DT je sveobuhvatnije rješenje za praćenje stanja zgrade kakvo je u stvarnom vremenu. Štoviše, DT integrira analitiku podataka, funkcije kontrole i simulacije koje održavateljima omogućuju poboljšanje servisnih planova i kontrolu životnog vijeka zgrade ili nekog drugog proizvoda/projekta.

Slika broj 1 prikazuje prikaz konceptualnog modela za DT degradaciju. Na donjem kraju u svijetlo plavoj boji je fizički prostor (stvarni prostor), koji predstavlja degradaciju imovine ili procesa tijekom životnog vijeka. Iznad toga u tamno plavoj boji je virtualan prostor, koji predstavlja glavne komponente DT-a. Fizički i virtualni prostor povezani su putem podataka i informacija. Prikupljanje podataka ide iz fizičkog svijeta u digitalni svijet, dok informacija djeluje kao dinamička prilagodljivost, te ide iz digitalnog svijeta u fizički svijet. Četiri glavna bloka čine bitne funkcionalnosti DT-a.

Slika 1. Karakterizacija konceptualnog modela DT-a



Izvor: Penver et al., 2022.

DT ontologija i taksonomija degradacije je prvi blok, gdje će se izgraditi rječnik DT-a. Ovaj blok služi kako bi se DT kontekstu dala svijest. Ontologija je posebno važna jer ukoliko je pravilno odabrana, omogućuje učinkovito međusobno povezivanje različitih DT-a i povezivanje stvarne mreže blizanaca. Korištenje iste ontologije najviše razine (npr. BORO – *Business Objects Reference Ontology*) omogućuje integraciju DT-a u složeni sustav sastavljen od drugih DT-ova koji čak pripadaju različitim domenama polja mogu međusobno komunicirati jer svi DT-ovi koriste isti rječnik i mogu jednostavno razgovarati jedni s drugima, omogućavajući stvaranje DT-a za cijelu tvrtku ili čak za čitavi grad. Ovaj blok je već uspješno implementiran u medicini gdje se koristi genska ontologija. Komponenta arhitekture i rudarenja podataka čini drugi blok koji se oslanja na ontologiju odabranu u prethodnom koraku za stvaranje strukture podataka DT-a i optimalne strategije rudarenja. Modeliranje podataka i simulacija postaju treći blok koji je u suštini mozak DT-a. Ovdje DT može koristiti podatke za predviđanje ponašanja fizičke imovine ili simulirati nekoliko scenarija za odabir najbolje konfiguracije za fizičku imovinu. Algoritmi umjetne inteligencije mogu pomoći DT-u da bolje predvidi neuspjeh naučen iz prethodnih obrazaca. Ovaj blok se također može

povezati s drugim blokovima stvarajući mrežu blizanaca na taj način. Vizualizacija, četvrti blok i zadnja komponenta omogućuje vizualizaciju rezultata ili općenito pruža grafičko sučelje za interakciju korisnika s DT-om. To može biti i web aplikacija koja se koristi u virtualnoj stvarnosti (VR) te u proširenoj stvarnosti (AR), te pruža mogućnost kontrole pojedinog proizvoda. Sučelje kao središnji blok predstavlja kamen temeljac razmjene informacija DT-a. Omogućuje DT-u da razgovora sa različitim modulima, te upravlja svim informacijama o ulazu ili izlazu kako bi DT mogao raditi bez obzira na sustav u kojem će se primjenjivati. (Penver et al., 2022.).

Umjetna inteligencija koja će se kasnije detaljnije spominjati je jedan od najvrjednijih alata za praćenje proizvodnje u stvarnom vremenu, s obzirom da daje točan opis ukoliko postoje neke nepravilnosti u lancu opskrbe, što ih uzrokuje, gdje se nalaze, gdje je usko grlo i slično. Taj potencijal za prepoznavanje procesa kojeg je potrebno prilagoditi pomaže organizacijama da brzo riješe problem što rezultira u uštedi vremena i troškova. Prednosti ilustrirane u radu od autora Kumara et al., (2018.) pokazuju da proizvodnja u oblaku, metoda praćenja u stvarnom vremenu, može dovesti do povećane učinkovitosti resursa prepoznavanjem trenutnog stanja stroja, minimiziranje zastoja uz pomoć praćenja u stvarnom vremenu temeljenom na stanju kroz analizu dobivenih podataka putem senzora. Te se informacije zatim mogu ponovno upotrijebiti putem komunikacijskih protokola stroj-stroj i usluge u oblaku kao što je metoda pronalaženja podataka. Također, autori tvrde da ovaj koncept može pomoći i malim i srednjim poduzećima registriranim u mrežu, koja može imati koristi od ove suradnje i pružati troškovne učinkovite proizvodne usluge s kratkim rokovima isporuke. (Kehayov et al., 2022.).

2.4. Prednosti i nedostaci korištenja digitalne tehnologije u operacijskom menadžmentu

Proizvodni sustav koji može obavljati veliki broj zadataka zahtjeva različite vrste resursa. Potpuno automatizirani sustavi koji koriste robote u poslovanju, posjeduju veliku brzinu, točnost, neumornost i snagu. S druge strane, ljudski radnici su inteligentni, kreativni, fleksibilni i sposobni se prilagoditi različitim situacijama i koristiti različite alate. Kombinacija ovih resursa tvori hibridni sustav čovjek-stroj gdje ljudi i roboti obavljaju

različite zadatke (ručne, automatizirane, hibridne) u zajedničkom radnom prostoru. Poznato je da je automatizacija proizvodnih sustava konstantan trend u industrijskom sektoru posljednjih godina. U isto vrijeme, za brojne industrije potpuni prijelaz na automatizirani sustav ostaje nepremostiv izazov. Međutim, Industrija 4.0 potiče usvajanje kolaborativnih robota (kobota), koji su se pojavili kao rezultat velikog napretka u umjetnoj inteligenciji i senzorskim uređajima te su proizveli novu vrstu robota koji može obavljati široku paletu zadataka te surađivati sa ljudima. Ovi koboti (robot za sklapanje sa dvije ruke) dovode do proizvodnog sustava u kojem ljudi i roboti rade rame uz rame. Takav sustav naziva se *Human/robot collaborative system* (HRC), nekoliko studija izvještava o prednostima HRC sustava u smislu propusnosti, kvalitete proizvoda, ergonomije, sigurnosti i fleksibilnosti. Ipak ovi su roboti skupi, a njihovo uvođenje u proizvodne sustave zahtjeva veliki napor. (Olsen i Tomlin, 2020.)

Dok su raniji valovi automatizacije u Industriji 3.0 također imali značajan utjecaj na poslovanje i društvo, trenutne disruptivne tehnologije Industrije 4.0 napadaju samo srce onoga što ljudi čuvaju – znanje i iskustvo u poslovanju i radu. Kako ove disruptivne tehnologije s vremenom napreduju i postepeno zamjenjuju ljudski rad u vidu efikasnosti, postoji određena doza zabrinutosti da će doći do masovnih otpuštanja velikih razmjera, zajedno sa problemom sigurnosti podataka i privatnosti pojedinca. Mnogi stručnjaci u ovom području se slaže da ovo nisu trivijalni problemi nego imaju značajan utjecaj na društveno blagostanje pa čak i civilizaciju. Jasno je da implementacija ovih tehnologija zahtjeva duboka promišljanja oko svih potencijalnih problema koji mogu nastati, kao i adekvatnu pripremu i kvalitetna rješenja za bilo kakve prepreke koje se mogu pojaviti sa sve većom implementacijom ovih tehnologija. Tehnološki napredak u eri Industrije 4.0 će s vremenom evoluirati u novu generaciju s više suradnje strojeva i ljudi, kao i razvoj industrijskih sustava sa posebnim naglaskom na sučelja čovjek-stroj (Ivanov et al., 2020.). U nadolazećoj eri Industrije 5.0, kako bi se stvorila stvarna vrijednost za ljude, operacijski menadžment trebao bi uspostaviti ravnotežu između strojeva i ljudi i usredotočiti se na holističke prakse i društvene odgovornosti. Drugim riječima, fokus Industrije 5.0 je na pomirenju čovjeka i stroja i zajedničkom radu u sinergiji. (Vinita et al., 2020.)

Digitalna revolucija dramatično je promijenila rad i upravljanje hotelima, a digitalne tehnologije prepoznate su kao primarni izvori učinkovitosti i konkurentске prednosti u hotelskoj industriji (Shin et al., 2019.). Druga skupina autora tvrdi kako se digitalna

transformacija odnosi na „proces koji ima za cilj poboljšati entitet pokretanjem značajnih promjena njegovih svojstva kroz kombinacije informacijskih, računalnih, komunikacijskih i tehnologija povezivanja“ (Vial, 2019.). Digitalne tehnologije kao što su tehnologije samoposluživanja, roboti, *blockchain*, analitika velikih podataka, mobilne aplikacije, društveni mediji i informacijski sustavi značajno mijenjaju način na koji hoteli upravljaju svojim operacijama i lancima vrijednosti. Hoteli mogu koristiti ove tehnologije za upravljanje uslugom, procesom naručivanja, potražnjom i kapacitetima, odnosima s klijentima i dobavljačima te posljedično postići bolju izvedbu u smislu financijske uspješnosti, konkurentnosti, kvalitete usluge, iskorištenosti resursa, fleksibilnosti i inovacijama (Leung et al., 2022.).

Za usvajanje spomenutih tehnologija, ključno je da upravitelji hotela znaju kako digitalne tehnologije mogu utjecati na performanse hotela. U skladu s tim, postoje brojna istraživanja koja su ispitivala doprinos širokog spektra digitalnih tehnologija, kao što su analitika velikih podataka (Antonio et al., 2019.), društveni mediji (Gupta, 2019.), samouslužne tehnologije i roboti (Liu i Hung, 2020.), virtualne stvarnosti (Leung et al., 2020.), tehnologija recepcije (Shin et al., 2019.) i mobilnih aplikacija (Lee, 2018.).

Digitalne tehnologije mogu se klasificirati na digitalne tehnologije koje „omogućuju“ i digitalne tehnologije koje izazivaju „disrupciju“. Tehnologije koje omogućuju osnovne tehnologije poput interneta i web stranica koje olakšavaju korištenje drugih tehnologija. Disruptivne tehnologije se odnose na „napredne“ tehnologije koje stvaraju novo tržište ili novi način poslovanja. Tehnologije Industrije 4.0 su pretežito sve disruptivne jer se nadograđuju na već postojeće digitalne tehnologije samo na puno kompleksniji način. (Leung et al., 2022.).

3. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU U INDUSTRIJI 4.0

Industrija 4.0 (I4.0 u nastavku), koju mnogi definiraju kao četvrta industrijska revolucija, zbog svojeg razornog opsega, zahtjeva implementaciju digitalne tehnologije i potpunu transformaciju poslovanja koja znatno utječe na to kako ljudi žive i kako se ponašaju. I4.0 predstavlja stvarnu kulturnu promjenu koja zahtjeva ponovna promišljanja o načinu poslovanja u organizaciji poduzeća, u proizvodnim i upravljačkim procesima i ulogama i odgovornostima uključenih radnika. Strategija za provedbu četvrte industrijske revolucije temelji se na kompleksnom pristupu s ciljem razvoja inteligentnih sustava, u kojem su svi procesi industrijske automatizacije međusobno povezani, uvode se nove interakcije čovjek-stroj kao i nove metode rada. Dijeljenje podataka od proizvodnih sustava do donositelja odluka predstavlja ogroman potencijal za daljnji razvoj sustava planiranja resursa. Nova tehnološka rješenja omogućuju razmjenu podataka u stvarnom vremenu između međusobno povezanih tvrtki, pronalaženje novih partnera, smanjenje troškova i vremena odgovora. Stoga digitalne tehnologije i međusobno povezivanje različitih uređaja može se smatrati ključnom strategijom za poboljšanje proizvodnih procesa iz ekonomske i ekološke perspektive. Odnosno, digitalizacija tj. uporaba digitalnih tehnologija za promjenu poslovnog modela i stvaranje novih vrijednosti je glavni pristup poticanju implementacije I4.0 (Facchini et al., 2022.)

Digitalizacija poduzeća u suštini sastoji se od usvajanja novih tehnologija koje promiču industrijske promjene unutar organizacije, koje utječu na upravljanje tvrtkom, tražeći fleksibilnost, brzinu, produktivnost, kvalitetu te veću konkurentnost svojih proizvoda. Stoga iz te perspektive I4.0 oprema poduzeća najnovijom digitalnom tehnologijom koja kombinira različite tehnologije koje su već prisutne u povezanom sustavu je nužnost.

I znanstvenici i praktičari naglašavaju prednosti implementacije tehnologije I4.0, kao što su povećana transparentnost i dostupnost podataka u stvarnom vremenu u operativnim procesima. Trenutna literatura o tehnologijama industrije 4.0 ima tendenciju prenamaglašavanja pozitivnog utjecaja i transformacijskih mogućnosti digitalnih tehnologija, dok je malo fokusa

na procjeni potencijalnih rizika povezanih s njihovim usvajanjem u industrijske operativne procese. Razumijevanje načina na koji se rizici opskrbnog lanca percipiraju u projektima digitalizacije unutar industrijskih operacija i razumijevanje odgovora donositelja odluka na različite vrste rizika ima važne upravljačke implikacije. Međutim u trenutnoj literaturi o tehnologijama I4.0 nedostaju sustavni empirijski dokazi o provedbi aplikacija I4.0 tehnologija i njihovim stvarnim učincima i rizicima. (Kessler et al, 2022.).

3.1. Transformacija masovnih proizvodnih pogona u pametne sustave

Prema paradigama Industrije 4.0, pametna tvornica može se smatrati tvornicom koja usvaja digitalne tehnologije za razmjenu informacija između ljudi, strojeva i senzora. Stoga digitalna transformacija predstavlja jednu od ključnih strategija za integraciju digitalne tehnologije u sva poslovna područja, povećavajući profit, produktivnost i agilnost poduzeća. Ovo nije samo tehnološka promjena, već i kulturna promjena koja zahtijeva organizacijsko, procesno i ekonomsko poboljšanje. I4.0 omogućuje prikupljanje podataka u stvarnom vremenu koji onda pružaju korisne informacije za donošenje strateških ili operativnih odluka. Predviđeno je da će ideja o I4.0 transformirati tradicionalnu masovnu proizvodnju pomoću strojeva, do fleksibilne proizvodnje digitalnim uređajima. Temeljne tehnologije ove industrije stvaraju konkurentske prednosti u pogledu smanjenja troškova, poboljšanje kvalitete proizvoda, poboljšanje učinkovitosti i fleksibilnije izvođenje operacija. U I4.0 fokus nije samo na industrijskoj automatizaciji procesa (kao što je to već bilo prisutno u trećoj industrijskoj revoluciji), već na integraciji poslovne inteligencije u proizvodne sustave. U praksi, ove inovativne disruptivne tehnologije revolucioniraju poslovne operacije. 3D ispis je već postao široko rasprostranjen u industrijama kao što je MercedesBenz, dok su inženjeri u General Electric poduzeću već uspostavili novu proizvodnju temeljenu na 3D ispisu, koju nazivaju model za „turboprop motore“ čija proizvodnja zahtijeva samo nekoliko ključnih komponenti, za razliku od dotadašnje proizvodnje koja je zahtijevala preko 300 različitih dijelova. (Olsen i Tomlin, 2020.). Nadalje, robotika se već intenzivno koristi u određenim tvrtkama, na primjer Kiva Systems već imaju nove robotski podržane proizvodne sustave „skladištenja i komisioniranja od dijelova do komisionara“. Ti sustavi su pametni i veliki trgovci poput Amazona su već ušli u suradnju sa njima radi povećane učinkovitosti u operacijama povezanim sa elektroničkom trgovinom. (Boysen et al., 2017.). U logistici, tvrtke kao što su

UPS i Alphabet's Wing dobili su zeleno svjetlo američke vlade za korištenje bespilotnih letjelica (dronova) za dostavu manjih paketa (Perera et al., 2020.). Umjetna inteligencija i analitika velikih podataka se također se često nalaze u industriji.

Karakteristike industrijskih ekosustava u 21. stoljeću koje su se razvile iz napretka digitalne tehnologije i povezanosti u proizvodnji uključuju *cyber*-fizičke sustave (CPS), Internet stvari (IoT), velike podatke (Big Data) te umjetnu inteligenciju (AI). Ove karakteristike omogućuju proizvođaču da nadzire rad i upravljačke sustave kako bi poboljšao performanse putem učinkovitih i fleksibilnih metoda proizvodnje. Industrija 4.0 nastavlja poticati proizvodnji sektor na korištenje pametne proizvodne sustave kako bi se suočila sa nadolazećim izazovima. Na primjer, pametni sustav za zavarivanje može se stvoriti integracijom robotskog dijela za zavarivanje proizvodne operacije s pametnom proizvodnjom, koja uključuje potrebnu proizvodnu imovinu. Tako sustav pametnog zavarivanja može poboljšati vrijeme rada i performanse sustava upravljanja. U I4.0 Internet stvari (IoT) i Internet usluga (IoS) omogućiti će integraciju svih horizontalnih i vertikalnih lanaca vrijednosti proizvedenih gotovih proizvoda. Sustavi pametne proizvodnje (engl. *Smart manufacturing*) definirani su od dvojce autora (Park i Febriani, 2019.). kao „potpuno integrirani proizvodni sustavi suradnje koji reagiraju u stvarnom vremenu kako bi zadovoljili promjenjive zahtjeve i uvjete u tvornici, u opskrbenj mreži i kupčeve potrebe.“ Nadalje, razvoj pametne proizvodnje u robotskim sustavima za zavarivanje pokazao je nevjerojatan rast kako autori ističu, što sugerira svijetlu budućnost u proizvodnim industrijama za poboljšanje rada procesa zavarivanja i kontrole kvalitete dobivenih proizvoda. U robotskom sustavu, zavarivanje se izvodi i kontrolira robotskom opremom, poznatim kao pametni strojevi, koji rade autonomno i mogu izravno komunicirati sa ostalim dijelovima proizvodnog sustava. Informacijski sustav je ključna komponenta u pametnoj proizvodnji jer je komunikacija neophodan dio pametne proizvodnje. Interakcije između pametnih robota i informacijskog sustava mogu se dizajnirati pomoću tehnologija koje omogućuju stvaranje pametnih sustava. Takav sustav može imati povećane mogućnosti, kao nadzor stroja koji omogućuje proizvođačima da prate svoje strojeve u stvarnom vremenu i prikupljaju podatke koji se mogu analizirati. (Park i Febriani, 2019.).

Pametna proizvodnja je novi oblik proizvodnje koji integrira postojeću proizvodnu imovinu sa sensorima, računalnim platformama, komunikacijskim tehnologijama, simulacijama, intenzivnim modeliranjem podataka te prediktivnim inženjeringom. CPS (engl. *Cyber-*

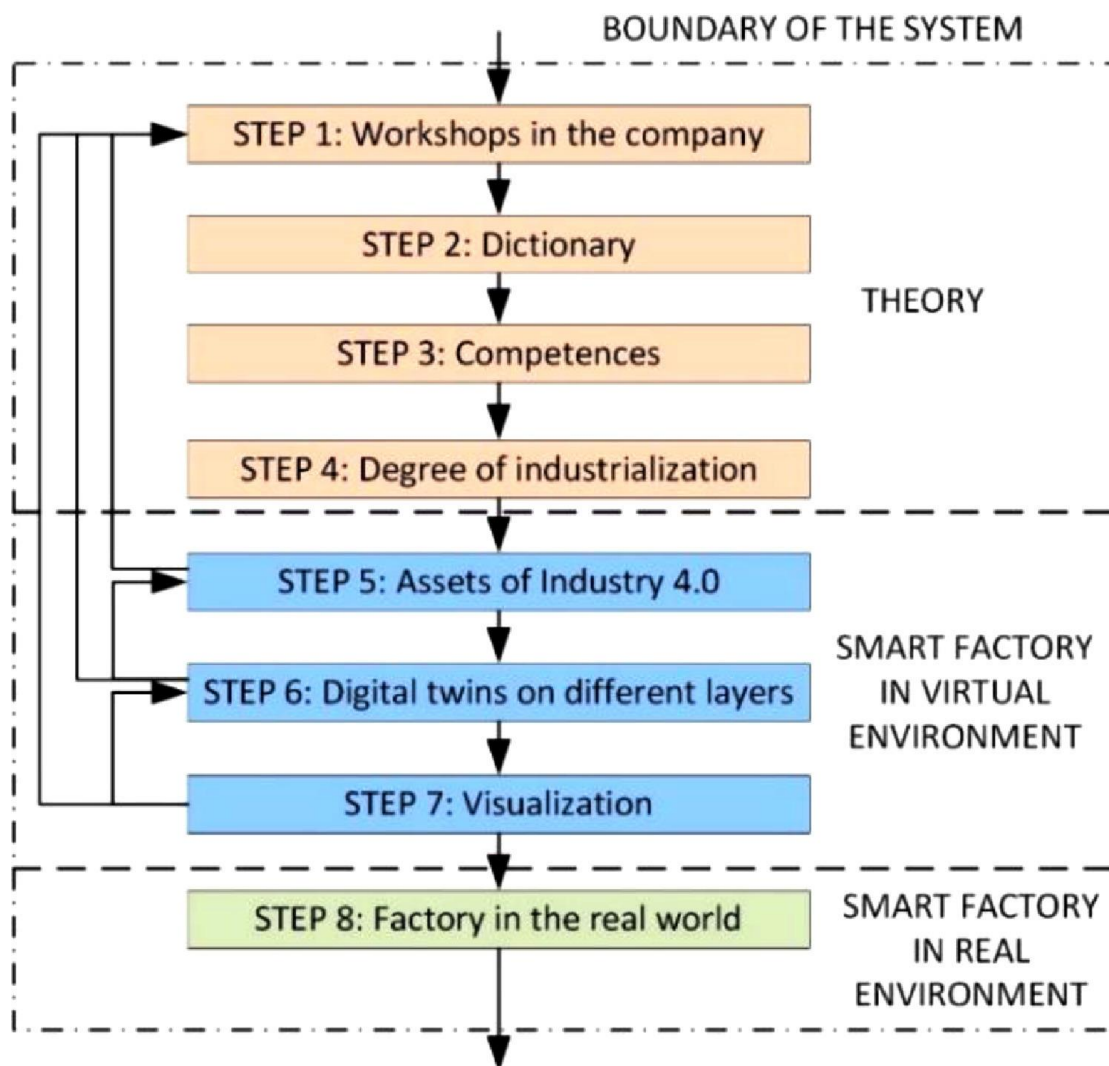
Physical System) je multidisciplinarni sustav za provođenje kontrola povratne informacije na široko rasprostranjenim računalnim sustavima kroz ugrađene tehnologije računanja, komunikacije i upravljanja. Internet stvari je scenarij u kojem se informacije prikupljaju iz senzorske opreme povezanih uređaja koji se mogu identificirati i istovremeno prenijeti velike količine podataka. CPS i Internet stvari ključne su tehnologije koje omogućuju praćenje procesa pametne proizvodnje u Industriji 4.0. Umjetna inteligencija je računalna tehnologija koja je sposobna pružiti instrumente i omogućava strojevima da rade na inteligentan način koji slični ljudskom umu. Analitika velikih podataka je proces koji se odnosi na ispitivanje velikih i različitih količina podataka kako bi se proizvođačima omogućilo donošenje strateških odluka, potencijalno smanjilo vrijeme zastoja, te osiguralo maksimalnu produktivnost. Robotski sustav za zavarivanje postupno postaje dio pametne proizvodnje i djeluje uz pomoć bitnih elemenata Industrije 4.0. Putem spomenutih tehnologija, mogu se dobiti podaci pametne stanice za zavarivanje u stvarnom vremenu te se mogu podijeliti sa ostalim stanicama kako bi se olakšalo i ubrzalo vrijeme donošenja odluka. Stoga se može zaključiti kako Industriju 4.0 karakterizira globalna mreža više lanaca vrijednosti, sa stalnim podacima i informacijama koje integriraju sve više tehnologija u koncept međusobno povezane i pametne proizvodnje. (Park i Febriani, 2019.).

Prema jednoj grupi autora, pametne tvornice karakteriziraju samosvjesnost, modularnost, heterogenost i interoperabilnost. Samosvijest o pametnoj tvornici znači da ona kombinira značajke identifikacije, lokacije, statusa i vremena. Modularnost je svojstvo sustava da dijeli sustav na funkcionalne komponente. Komponente se mogu onda dalje kombinirati u različite konfiguracije sustava. Modularnost se također smatra izgradnjom novih sustava korištenjem različitih pojedinačnih podsustava. Heterogenost uzima u obzir raznolikost i razlike u jedinicama i komponentama. Interoperabilnost je značajka koja podsustavima omogućuje međusobnu razmjenu informacija. Stoga za takvu suradnju, podsustavi moraju omogućiti dijeljenje i razmjenu informacija. Informacije će biti korisne samo ako su dostupne i razumljive. Nadalje, autori objašnjavaju razliku između pametnih i tradicionalnih tvornica. Dok su u pametnim tvornicama proizvodi različiti (više različitih proizvoda se proizvodi na istoj liniji), u tradicionalnim tvornicama proizvodi se samo jedan proizvod po liniji. Proizvodnja je velika, resursi su unaprijed definirani, proizvodne linije se brzo i automatski prilagođavaju novoj vrsti proizvoda, dok se kod tradicionalnih tvornica linije ne mogu baš

tako lako modificirati. Pametne tvornice karakterizira potpuna povezanost, što znači da su uređaji, strojevi, ljudi i proizvodi međusobno povezani i djeluju putem informacijskih sustava. U tradicionalnim tvornicama komunikacija između uređaja nije niti potrebna. Pametna tvornica radi na povezanoj mreži, dok su u tradicionalnim tvornicama uređaji centralizirano s informacijskim sustavom. Pametne tvornice su samoorganizirane i obrađuju velike količine podataka, dok u tradicionalnim tvornicama svaki uređaj je programiran za određeni proces i obrađuje znatno manju količinu podataka koji se skupljaju u centraliziranom sustavu i uglavnom nisu dostupni ostalim uređajima na korištenje. (Resman et al., 2021.).

Na slici broj 2, autori su predložili metodologiju putem kojeg bi se ideja mogla kroz 8 koraka pretvoriti u realizaciju pametne tvornice u fizičkom obliku. Autori naglašavaju kako je predstavljena metodologija detaljan slijed koraka koji znatno skraćuje vrijeme planiranja pametnih tvornica. Ističu kako je glavna prednost ove metodologije ta da se koristi isti proces i isti koraci neovisno o tome razvija li se tvornica od početka ili se samo transformira iz tradicionalne u pametnu tvornicu. Nadalje, metodologija uzima u obzir povratne petlje u različitim koracima kako bi se postigle odgovarajuće specifikacije pametne tvornice. U prvom koraku određuju se početni ciljevi i očekivanja pametne tvornice. Svaki korak ima svoje ciljeve i očekivanja, a ako se oni ne ostvare, petlje se ponavljaju sve dok pametna tvornica ne postigne sve početne ciljeve i očekivanja. U slučaju da je početne ciljeve ne moguće ostvariti, potrebno ih je promijeniti u prvom koraku. Na primjer, za korak 6, ako je nemoguće postići potrebne količine proizvodnih dijelova s definiranim rasporedom u prvom koraku, potrebno ga je redizajnirati. (Resman et al., 2021.)

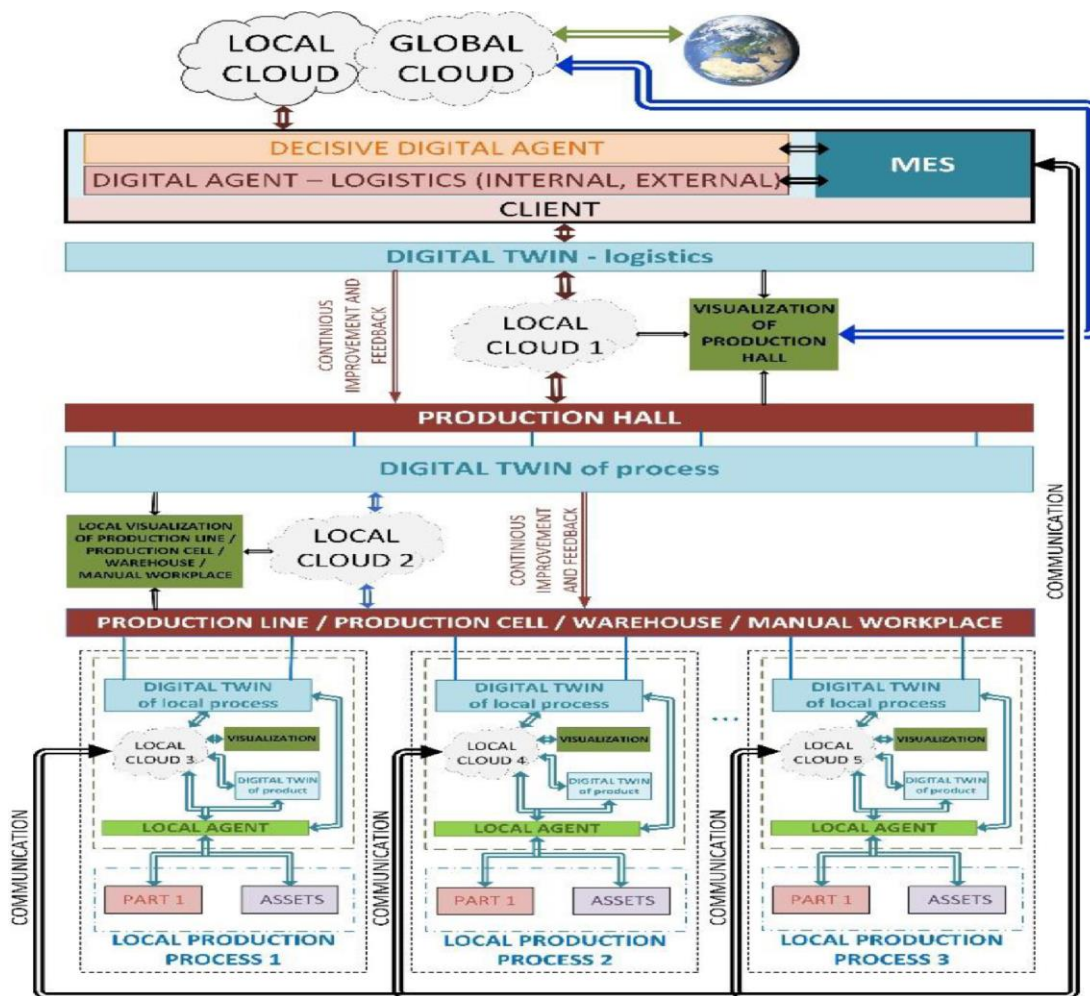
Slika 2. Koraci predložene metodologije



Izvor: Resman et al., 2021.

Razumijevanje međusobnih veza između ključnih tehnologija Industrije 4.0 vrlo je važno pri projektiranju pametnih tvornica. Autori su uz prethodno navedenu metodologiju smislili još jedan model koji prikazuje veze među glavnim elementima pametne tvornice, a nazvali su ga LASFA (engl. *Lasim Smart Factory*)

Slika 3. Veza među ključnim tehnologijama Industrije 4.0



Izvor: Resman et al., 2021.

Slika broj 3 prikazuje arhitektonski model koji uključuje sve glavne tehnologije Industrije 4.0, kao što je digitalni blizanac s tehnologijom svog agenta (okosnica modela), vizualizacija itd. Model ilustrira kako su tehnologije međusobno povezane i gdje je potrebno prikupljati podatke za nesmetan rad digitalnih blizanaca i same pametne tvornice. Prednost modela je njegova dvodimenzionalna struktura. Ovaj predloženi arhitektonski model fokusiran je na različite vrste digitalnih blizanaca i digitalnih agenata koji predstavljaju mozak ovog modela. Digitalni blizanac neophodan je za vizualizaciju u različitim slojevima, rad sustava i procese donošenja odluka. Prikazane su veze za razmjenu podataka i informacija između sustava i lokalnih oblaka. Razmjena podataka je dvosmjerna zahvaljujući povratnoj kontroli koju obavljaju lokalni digitalni agenti. Svaki sustav je neovisan sa svojim digitalnim blizancem i

lokalnim oblakom. Ovaj model također uključuje mogućnost daljinskog pristupa sa bilo kojeg računala ili pametnog mobitela, te s takvim pristupom korisnik može promijeniti specifikacije proizvoda tijekom procesa proizvodnje. Nadalje, model prikazuje nekoliko različitih lokalnih proizvodnih procesa. Svaki lokalni proizvodni proces ima vlastitog digitalnog agenta s vlastitom bazom podataka, te može samostalno donositi odluke. Dvosmjerna komunikacija omogućuje svim digitalnim agentima pristup podacima ili slanje podataka. Ukratko, svaki lokalni proizvodni proces uključuje matematički model ili pametni algoritam s umjetnom inteligencijom – lokalnim digitalnim agentom. (Resman et al., 2021.).

3.2. Blockchain u lancu opskrbe

U jednom akademskom članku dvojica autora objašnjavaju pojam *blockchain* tehnologija, njen evolucijski put, tehnološke osnove te primjenu u praksi. Autori ističu kako jednakom analogijom interneta u sferi komuniciranja između ljudi, *blockchain* tehnologija ima približno isti efekt na promjenu paradigme kad se radi o prijenosu vrijednosti. Najznačajniji doprinos *blockchain* tehnologije je nemogućnost izmjene podataka, dok eventualne greške koje se pojavljuju prilikom zapisa se mogu „ispraviti“ isključivo tako da se ponovno zapišu u idućem zapisu, pri čemu se prvi zapis briše i „poništava“ iako i dalje te dvije transakcije ostaju kao zapisi unutar *blockchain* lanca. Među najvažnijim karakteristikama *blockchain* tehnologije spadaju: transparentnost, neovisnost, decentraliziranost i nepromjenjivost. (Kozarević i Ibrić 2020.).

Autori Xiang i YuanYuan (2021.) u svojem znanstvenom članku objašnjavaju kako s razvojem tehnologije Interneta stvari (IoT), između različitih IoT-ova postupno se formiralo veliko, heterogeno i dinamično okruženje. Stoga, kako bi se riješio problem nadogradivosti upravljanja ograničenim pristupom uređajima u IoT-u, autori predlažu model distribuiranog sustava kontrole pristupa Interneta stvari koji se temelji na *blockchain* tehnologiji. Ističu kako model usvaja jedan pametni ugovor, koji pojednostavljuje cijeli proces u *blockchain* mreži i smanjuje komunikacijske troškove između čvorova. Prema rezultatima simulacije navedenih autora, dokazalo se da rješenje ima dobru „nadogradivost“ (eng. *scalability*). Nadalje, ističu kako je Internet stvari proizveo veliku količinu osobnih podataka. Ti podaci ako „procure“ u javnost mogu prouzrokovati veliku štetu korisnicima i donijeti ogromne gubitke. Kao jedna

od temeljnih tehnologija zaštite podataka, kontrola pristupa može osigurati da podacima mogu pristupiti korisnici sa odgovarajućim dopuštenjima. Stoga je mehanizam kontrole pristupa Internetu stvari postao jedno od važnijih istraživanja radi zaštite i sigurnosti. Autori predlažu *blockchain* tehnologiju kao decentraliziranu, distribuiranu tehnologiju koja tehnički rješava sigurnosne probleme koje donosi centralizirani model utemeljen na povjerenju. Stoga istraživači kombiniraju *blockchain* i kontrolu pristupa kao ključne tehnologije zaštite podataka u Internetu stvari. (Xiang i YuanYuan, 2021.).

Blockchain se obično smatra kao distribuirana digitalna knjiga. To je temeljni mehanizam putem kojeg kriptovalute poput BitCoina funkcioniraju. Uspostavljanje takvog mehanizma kao tehnološke infrastrukture za financije, *blockchain* ima vrlo važne karakteristike. Na primjer, vrlo je pažljivo dizajniran da sadrži visoku razinu sigurnosti i pohranjeni podaci se mogu smatrati trajnim. Kao rezultat toga, kada se *blockchain* primjenjuje u operacijama opskrbnog lanca, mnogo zanimljivih značajki se može uočiti. Prije svega, *blockchain* je vrlo koristan alat za podršku otkrivanja informacija i povećanje transparentnosti opskrbnog lanca (Sodhi i Tang, 2019.). Tvrtka Walmart već surađuje sa IBM-om, i koriste *blockchain* za čuvanje i otkrivanje podataka o porijeklu hrane, što je ključna funkcija za povećanje sigurnosti hrane. Za luksuzne opskrbe lance, tvrtka Everledger nudi autentifikaciju i certifikaciju za dijamante. Koristeći lasersku tehnologiju, svaki dijamant je ovjeren „laserskim otiskom prsta“ i mogu biti identificirani jer imaju jedinstveni kod. Pružanjem jedinstvenog koda za svaki dijamant, potrošači mogu jednostavno provjeriti na internetu sve podatke o porijeklu proizvoda (gdje je dijamant iskopan, tko ga je obradio, tko ga je sve kupio itd.) (Babich i Hillary, 2020.). Motiviran ovim praksama, autor Choi (2019.) izrađuje analitičke modele za kvantificiranje vrijednosti certifikacijske platforme koja se temelji na *blockchainu* za dijamante. Unatoč tome što je vrlo relevantan i koristan, korištenje *blockchaina* nije besplatno. Prema IBM-u, naknada za uslugu za vlastite klijente, za korištenje *blockchain* platforme uključuje uslugu „*Cloud Kubernetes*“ i troškove skladištenja. IBM-ovi klijenti moraju platiti otprilike 1.20 američkih dolara po satu, kada se *blockchain* primjenjuje u mrežnom sustavu rada. Stoga tvrtke koje planiraju koristiti *blockchain* od strane IBM-a trebaju identificirati i pronaći odgovore na sljedeća pitanja: postoje li uska grla u operacijama koje se mogu savladati korištenjem *blockchain* tehnologije? Koji su troškovi povezani sa usvajanjem *blockchaina*? Koji su potencijalni rizici sa korištenjem *blockchain* tehnologije?

Postoji još niz drugih pitanja na koja menadžeri moraju imati odgovor prije nego se odluče na implementaciju *blockchaina* u poslovanju. Nove poslovne operativne strategije korištenja *blockchaina* zahtijevaju postizanje ravnoteže između povećanog povjerenja potrošača i dodatnih troškova povezanih sa korištenjem *blockchaina* za upravljanje opskrbnim lancem. Walmart je još jedna tvrtka koja primjenjuje tehnologiju *blockchaina* za upravljanje opskrbnim lancem. Utrošeno vrijeme na praćenje informacija o proizvodu je skraćeno sa 7 dana na svega samo par sekundi korištenjem *blockchain* tehnologije jer olakšava identifikaciju zatvorenog prostora, te kao rezultat toga prodaja hrane je znatno porasla. (Choi et al., 2021.)

Drugi vrlo važan dio *blockchain* tehnologije su pametni ugovori. Pametni ugovor predstavlja automatski računalni program temeljen na mehanizma ugovaranja, te je vrlo važna industrijska aplikacija temeljena na *blockchain-u*. Korištenjem pametnih ugovora, vrlo lako se može postići digitalna suradnja među mnogim sudionicima u poslovanju. Na primjer, pametni ugovori su navodno popularni u logistici. Tvrtka Maersk uspostavila je platformu pod nazivom TradeLens u suradnji sa IBM-om. Korištenje TradeLens, suradnja i razmjena informacija između vladinih ureda, klijenata, pružatelja logističkih usluga i carina su znatno poboljšane, a mnoge operacije se odvijaju automatski putem pametnog ugovaranja. S obzirom da se radi o *blockchain* tehnologiji, transakcije i operacije se bilježe na siguran i revizijski način. U literaturi, Cai et al. (2021.) proučavaju korištenje *blockchain* za podršku ugovaranju što se tiče nabave, te ulaze u dubinu potencijalnih prepreka i problema, kao i koristi od navedene tehnologije. Međutim, relevantna istraživanja u ovom području su još uvijek vrlo ograničena. Iako pametno ugovaranja može zvučati privlačno, taj koncept se u potpunosti oslanja na tehnologiju *blockchain-a*, a odgovarajući operativni troškovi nisu trivijalni. S obzirom na to da *blockchain* tehnologija bilježi ogromnu količinu podataka, te svi konsenzusni algoritmi koji su potrebni za funkcioniranje *blockchain-a* su vrlo skupi, također korištenje pametnih ugovora će dramatično povećati potrošnju energije i štete za okoliš. Štoviše iz pravne perspektive, u poslovanju ovih pametnih ugovora postoje brojne sive zone i ograničenja koja su kontroverzna. Dakle, koristi li pametno ugovaranja povećanju društvenog blagostanja i da li stvarno poboljšava učinkovitost opskrbnog lanca, treba još detaljnije istražiti u budućnosti. (Choi et al., 2021.)

Iako je *blockchain* tehnologija prvi puta stvorena i implementirana za podršku transakcijama kripto-valuta, našla je primjenu u različitim domenama i poslovnim sektorima. U svim

sektorima, višestruki slučajevi upotrebe *blockchain* tehnologije pokazuju velik potencijal u postizanju operacija i ciljeva upravljanja opskrbnim lancem. Opskrbni lanac obično se sastoji od neovisnih organizacija koje su izravno uključene u uzvodne i nizvodne tokove proizvoda, usluga, financija i informacija od izvora do kupca. Učinkovito upravljanje lancem opskrba stoga zahtjeva od članova da surađuju i međusobno dijele informacije. U tom smislu *blockchain* tehnologija obećava drastično poboljšanje upravljanja opskrbnim lancem te efikasnije postizanje ciljeva upravljanja lancem pružanjem platforme za izravnu interakciju između članova lanca za razmjenu zaštićenih podataka. Jedna od glavnih prednosti ove tehnologije je to što pruža potpuno praćenje proizvoda i poboljšava vidljivost kroz različite faze lanca opskrbe. Još jedan primjer korištenja tehnologije pametnog označavanja i blockchaina, gdje je pružatelj blockchain rješenja kompanija *Provenance* sa sjedištem u Ujedinjenom Kraljevstvu uspjela pratiti ribu koju su ulovili ribari u Indoneziji i pružiti dokaz usklađenosti sa standardima od izvora, duž čitavog lanca i sve do potrošača. *Blockchain* se također mogu koristiti članovi lanca opskrbe za dijeljenje podataka o potražnji, inventaru i kapacitetu. Ti podaci se zatim mogu selektivno prikupljati kroz različite razine opskrbnog lanca i koristiti za poboljšanje koordinacije čitavog lanca i veće operativne učinkovitosti. Usredotočujući se na *blockchain* tehnologiju koja se koristi za upravljanje održivosti opskrbnog lanca, grupa autora Saberi et al. (2019.) identificirali su četiri skupine prepreka koje mogu spriječiti usvajanje ove tehnologije: unutar-organizacijske prepreke, među-organizacijske prepreke, prepreke povezane sa sustavom i vanjske prepreke. Nadalje, nadovezujući se na Saberi et al. (2019.), Kouhizadeh et al., (2021.) analiziraju odnose između četiri skupine prepreka i njihov utjecaj na usvajanje *blockchain* rješenja za upravljanje održivosti opskrbnog lanca. Njihovi rezultati pokazuju da su nedostatak predanosti i potpore menadžmenta, nedostatak znanja i stručnosti, nedostatak suradnje, koordinacije i otkrivanje informacija među članovima opskrbnog lanca, nedostatak politika i uključenosti industrija čine istaknute prepreke u usvajanju *blockchain*-a za održivo upravljanje opskrbnim lancem. (Kumar i Agi, 2022.).

3.3. Umjetna inteligencija i robotika u operacijskom menadžmentu

Jedan od ključnih čimbenika po kojem se Industrija 3.0 razlikuje od Industrije 4.0 je takozvana inteligencija u poslovnim sustavima. U Industriji 4.0 poslovni sustavi su inteligentni i pametni jer AI (engl. *Artificial Intelligence*) implementiran zajedno sa poslovnom analitikom *Big Data* (Bertsimass et al., 2018.). Mnogi stručnjaci se slažu kako umjetna inteligencija može značajno pomoći u otkrivanju obrazaca ponašanja, uzročno posljedičnih veza koje se često ponavljaju u poslovnom sustavu (Keskin et al., 2020.), zatim može podržavati automatske i pametne nabave (Cui et al., 2021.) te pružati znanstveno utemeljene preporuke. AI i robotika su toliko dobro razvijeni da nadmašuju ljude u mnogim područjima (Geva i Saar-Tsechensky, 2021.). Što se tiče primjene umjetne inteligencije i robotike, spomenut će se 3 ključna područja: logistika, upravljanje proizvodnjom i predviđanje potražnje.

U logistici AI unosi značajne promjene. Na primjer, može poboljšati donošenje vrlo složenih odluka u kompleksnom okruženju sa brojnim ograničenjima i različitim zahtjevima. Nadalje, može koristiti velike količine podataka, te poboljšati logističke sustave smanjenjem troškova. Na primjer, korištenje umjetne inteligencije za pronalaženje obrazaca i uzoraka u IoT (engl. *Internet of Things*) senzorima prikupljenim pomoću *Track-and-Trace* sustava. U malo složenoj literaturi, grupa autora proučava upotrebu poslovne inteligencije za upravljanje intermodalnom logistikom (Gao et al., 2020.), dok drugi autori istražuju analitiku *Big Data* podataka za analizu rizika logističkih sustava (Shang et al., 2017.).

U upravljanju proizvodnjom, AI ima širok spektar primjene. Na primjer, u kontroli kvalitete AI pomaže proizvođačima u otkrivanju problema s kvalitetom ranije i pruža mogućnost brže reakcije na defektne proizvode. Također, proizvođači mogu lako identificirati nove dobavljače jer AI može automatski skenirati bazu podataka kroz sve kriterije i zahtjeve koje postavimo, te na taj način lakše pronaći adekvatnog dobavljača. Drugi primjer je kompanija Hitachi, koja koristi AI u pametno uspostavljenom proizvodnom sustavu. Podaci se prikupljaju u stvarnom vremenu, kako bi se postigla proizvodnja u stvarnom vremenu te uskladila ponuda i potražnja. AI se također koristi kod određivanja operativnih procesa unutar trgovine i na taj način ostvario optimalan sklad (Ban i Rudin, 2019.).

U predviđanju potražnje i marketingu, pojedini autori izvještavaju kako kompanije koje su inkorporirale AI u svoje poslovne sustave, imaju čak do 50% manje pogrešaka prilikom predviđanja potražnje, što dovodi do značajnog poboljšanja operacija u lancu opskrbe, poput smanjenja zaliha i popusta na kraju sezone. Ovo je posebno relevantno za operacije e-trgovine gdje je *online* potražnja vrlo nestabilna (Perera et al., 2020.). Choi i autori u svojem radu spominju citat Columbusa „...McKinseyeva početna analiza slučaja otkriva da umjetna inteligencija može smanjiti troškove povezane s transportom, skladištenjem i administracijom opskrbnog lanca sa 5% na 10%, odnosno 25% na 40%. Uz AI, općenito su moguća smanjenja zaliha od 20% do 50%...“ (Choi et al., 2021.). Osim toga, korištenje umjetne inteligencije značajno poboljšava razvoj novih proizvoda. Zabilježeno je da „14% poduzeća koja su najnaprednija u upotrebi umjetne inteligencije i strojnog učenja za razvoj novih proizvoda zarade više od 30% svojih prihoda od potpuno digitalnih proizvoda ili usluga i dovode svoje kolege do uspjeha koristeći 9 ključnih tehnologija i alata.“ (Choi et al., 2021.). Uz AI, robotika je još jedan povezan i vrlo važan tehnološki napredak Industrije 4.0.

U logistici robotika se već široko primjenjuje u skladištima i distribucijskim centrima, tvrtke Amazon.com i JD.com koriste robote za logističke aktivnosti u mnogim njihovim objektima i centrima, također razmatraju korištenje ranije spomenutih bespilotnih letjelica (dronova) za dostavu proizvoda. U mnogim slučajevima sa AI i IoT, robotika postaje pametna i može podržavati pametnu logistiku. Sukladno tome, neki autori, motivirani popularnošću e-trgovine, istražuju mogućnost i benefite maloprodajne isporuke pomoću dronova. Autori su otkrili da kada cijene bespilotnih letjelica (dronova) padne nakon sazrijevanja određenih tehnologija, mreža isporuke sa dronovima postat će decentralizirana te će se primjenjivat puno šire (Perera et al., 2020.).

U upravljanju proizvodnjom, mnogi stručnjaci se slažu kako bi se umjetna inteligencija trebala koristiti u kombinaciji sa robotikom za stvaranje pametnih proizvodnih sustava temeljenih na tehnologiji IoT-a (Interneta stvari). Ovo područje je još uvijek vrlo svježe i brojni stručnjaci pokušavaju osmisliti idealan sustav koji uključuju nove algoritme i modele za rješavanje različitih problema sa proizvodnjom, logistikom, marketingom i upravljanjem podacima u poslovnom okruženju. AI i robotika mogu postići donošenje pametnih odluka, međutim važno je ispitati pravodobne probleme operacijskog menadžmenta kao što je predviđanje potražnje zajedno s korištenjem umjetne inteligencije. Na primjer, objavljeno je

da je Walmart primijenio AI za predviđanje potražnje i analizu ponašanja potrošača. Drugi primjer je logistička kompanija DHL koja je primijenila robotiku u svojem skladištu te je došlo do tragične nesreće. Mehanizam sigurnosnog protokola je od velike važnosti u slučajevima kada su ljudi ubijenu u tvornicama gdje je potpuno automatizirana i robotizirana proizvodna linija. Razmatrajući pitanja odgovornosti kada se dogode nesreće, potrebna su daljnja istraživanja radi poboljšanja sigurnosnih mjera u radu čovjeka sa robotima. Potaknut industrijskim primjerom, britanski *online* trgovac mješovitom robom Ocado intenzivno koristi robote za olakšavanje operacija unutar skladišnog poslovanja, te će također biti potrebno ispitati nove izazove dizajna sustava u pametnim tvornicama, pametnim skladištima i inteligentnim distribucijskim centrima. Kompanija Ocado posjeduje skladišta veličine 3 nogometna terena, u kojem se 3000 robota kreće brzinom od 14 km na sat, te se međusobno zaobilaze u složenom plesu kojim upravlja umjetna inteligencija. Roboti koji izgledaju kao perlice rublja na kotačima, kreću se po vrhu mreže poput figura na šahovskoj ploči, ispod poda se nalaze spremnici ispunjeni nekim od 50.000 proizvoda koje Ocado nudi, pohranjeni prema algoritmu koji predviđa kada će biti potrebni. Kada se narudžba pošalje u skladište, roboti kreću prema spremniku koji im je potreban, prolazeći čak do 5 milimetara jedan od drugoga. Roboti naravno nisu autonomni, već ih orkestrira sustav koji radi poput kontrole zračnog prometa, planirajući njihove rute umjesto njih. Prisco piše kako je njihova točnost praktički 99%, a centri za isporuku koriste sustav *First in – First out*, što čini hranu svježijom, a minimizira otpad. (Prisco, 2021.).

Uzimajući u obzir sve navedeno, s pozitivne strane, dobro je dogovoreno korištenje umjetne inteligencije i robotike u logistici i proizvodnji, sustavi mogu dovesti do ubrzavanja operacija te smanjenja grešaka koje stvaraju ljudi prilikom rada. Odlučivanje se također može poboljšati korištenjem savjeta umjetne inteligencije, što sveukupno pruža učinkovitije poslovanje i smanjuje troškove. S druge strane, mnogo zadataka za koje je potrebno stručno ljudsko znanje i iskustvo bit će zamijenjeni algoritmima i umjetnom inteligencijom, što će dovesti do velikih otpuštanja. Jedan dio otpuštanja u kompaniji Amazon se čak odvio od strane umjetne inteligencije, gdje je AI identificirao nedovoljno sposobno osoblje te sugerirao otpust. Što znači da se AI ponaša kao menadžer, i kao takav ugrožava sigurnost posla operativnih ali i strateških menadžera.

Skupina autora iz Austrije je ustvrdila da s Industrijom 4.0 ne samo da pojmovi kao što su strojno učenje ili umjetna inteligencija postaju popularni, već su stariji koncepti također podignuti na novu razinu i standard, pod novim imenima, kao što je pametna tvornica, pametna proizvodnja, pametno skladištenje i brojni drugi pojmovi koji koriste prefix „pametni“. Svi ti koncepti se unaprjeđuju primjenom umjetne inteligencije i strojnog učenja. Cilj je prilagoditi pojedinačne koncepte i učiniti ih inteligentnima. Uz pomoć tehnologija poput *Cyber-Physical Systems* (CPS) koji kombiniraju računalne algoritme što je bliže moguće sa fizičkim svijetom, na primjer, uz pomoć snažnih senzora CPS omogućuje pristup i obradu podataka u isto vrijeme, u stvarnom vremenu. Proces koji je repetitivna proizvodnja ili procesna proizvodnja mogu imati velike koristi od ove tehnologije. Stoga uz pomoć velikih podataka, odluke bi se mogle odvijati lakše i brže, što je vrlo važno u procesu planiranja opskrbnog lanca. Nadalje, koncepti umjetne inteligencije i sve njene pod-klase mogu se zajedno smatrati jednim od najvažnijih faktora uspjeha unutar ovih procesa, tvrde autori. U upravljanju opskrbnim lancem, na primjer, AI se koristi za planiranje usmjeravanja proizvoda optimalno i dinamički. Uz takve aplikacije, AI se može koristiti za postizanje mnogih prednosti u proizvodnji. Optimiziranjem procesa i minimiziranjem pogrešaka mogu se uštedjeti troškovi i radna snaga. Međutim, autori naglašavaju, kako bi se iskoristio puni potencijal AI tehnologije, potrebna je određena razina predanosti i integracije, što zahtjeva ulaganje resursa i vremena. (Kehayov et al., 2022.).

Ista skupina autora objašnjava sustave strojnog učenja i neuronske mreže, koje također mogu biti izuzetno korisne u upravljanju opskrbnim lancem. U tom kontekstu, algoritmi kao što je linearna regresija mogu se koristiti za predviđanje utjecaja efekta biča. Efekt biča je fenomen distribucijskog kanala u kojem predviđanja potražnje rezultiraju neučinkovitošću opskrbnog lanca, a odnosi se na sve veće promjene u zalihama kao odgovor na promjene u potražnji potrošača, kako se ide dalje u opskrbnom lancu. Nadalje, stabla odlučivanja mogu se koristiti za izvođenje bodovanja potencijalnih kupaca koje upravitelji opskrbnog lanca mogu dodijeliti. Neuronske mreže mogu se koristiti u upravljanju opskrbnim lancem za analizu komunikacije putem audio i video zapisa između kupca i prodavača te planirati i prilagoditi vrijeme isporuke robe. Strojno učenje općenito je važno za optimizaciju procesa donošenja odluka u protoku robe i usluga uz upravljanje opskrbnim lancem. Ove metode, ukoliko se pravilno primjene mogu dovesti do značajne uštede vremena i resursa. Konkretno, proces

planiranja može imati koristi od dobro poznate statističke metode koje su dugo korištene i još proširene strojnim učenjem. Posebno za ne-linearne probleme, strojno učenje ima temeljnu prednost u odnosu na tradicionalne metode. Autori spominju da unatoč jasnim prednostima, strojno učenje pronalazi primjenu u samo 15% poduzeća u Austriji. Naglašavaju kako nedostatak znanja i podataka mogu biti razlozi zašto ta tehnologija nije još uvijek puno rasprostranjenija. (Kehayov et al., 2022.).

3.4. 3D ispis u proizvodnji

Proizvodni lanac predstavlja postupak pretvaranja sirovina u gotove proizvode. Postoji mnogo različitih koraka koje je potrebno ispuniti kako bi se raspoloživi resursi kvalitetno pretvorili u proizvode, poput planiranja, projektiranja, proizvodnje te na kraju prodaje. Nedavno se proizvodni lanac promijenio pojavom 3D tehnologije, pri čemu je tehnologija 3D ispisa transformirala korake proizvodnog lanca. Prilagođeni proizvodi, proizvodi s teškom geometrijom i komponente proizvoda od nule sada se mogu dizajnirati i tiskati uz pomoć aditivne tehnologije. Mala ili velika tržišta mogu se međusobno opsluživati bez da tvrtke skladište ili proizvode robu uz velike troškove. (Mavri, 2015.).

Aditivna proizvodnja privukla je značajnu pozornost zbog svoje sposobnosti pokretanja tehnološkog razvoja kao održive, fleksibilne i prilagodljive sheme proizvodnje. Među raznim tehnikama aditivne proizvodnje, „izravno pisanje tintom“ pojavilo se kao najsvestranija tehnika 3D ispisa za najširi raspon materijala. Izravno pisanje tintom omogućuje ispis praktički bilo kojeg materijala, sve dok prekursor tinte može projektirati tako da pokaže odgovarajuće reološko ponašanje. Ova tehnika djeluje kao jedinstveni put za uvođenje slobode dizajna, multi funkcionalnosti i stabilnosti u tiskane strukture. (Saadi et al., 2022.).

3D ispis zamišljen je kao početna točka treće industrijske revolucije. U procesu 3D ispisa, fizički objekt se stvara iz geometrijskog prikaza dodavanjem uzastopnih slojeva materijala pod računalnom kontrolom. Za razliku od tradicionalnih kompliciranih procesa subtraktivne proizvodnje, 3D ispis prevladava u svojim jedinstvenim sposobnostima proizvodnje složene geometrije, integriranog sastavljanja i uklanjanja mnogih proizvodnih ograničenja, te na taj način promiče realizaciju brze izrade prototipa ili same proizvodnje. Nadalje, 3D ispis je superioran u jedinstvenoj ili maloserijskoj proizvodnji uz vrlo niske troškove, što pruža

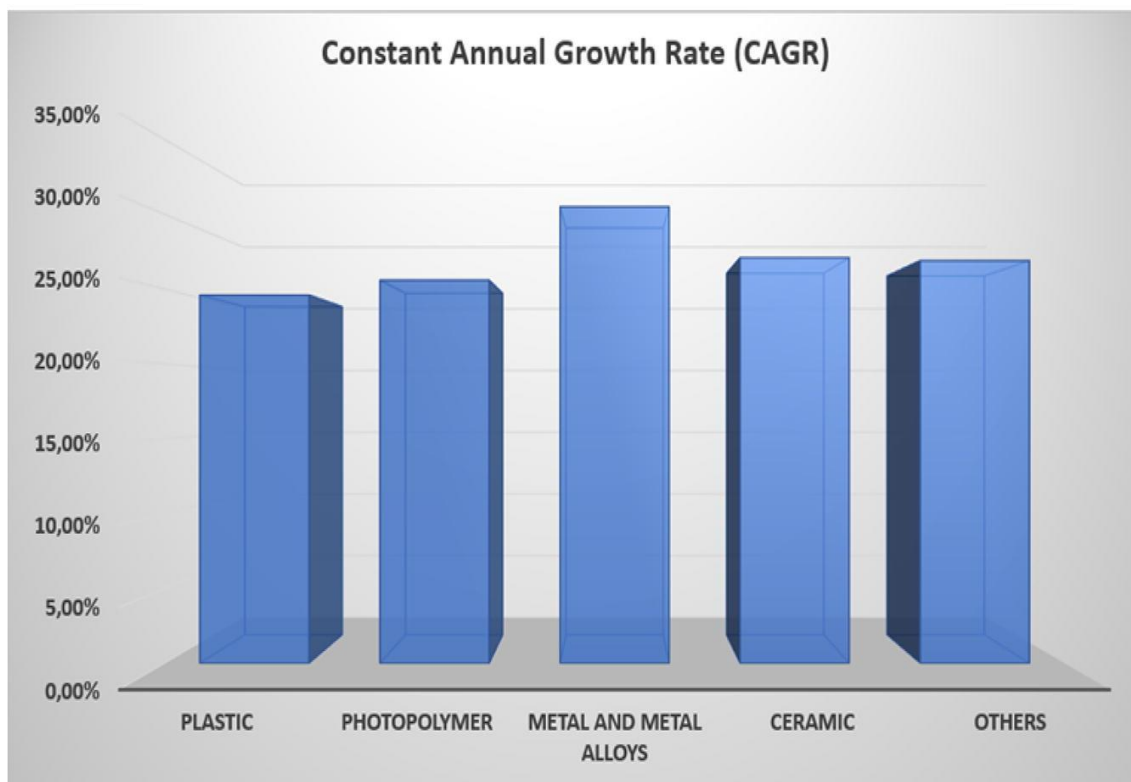
potencijalno i isplativo rješenje za današnje proizvodnje industrije koje često posluju na temelju ekonomije razmjera. Danas se 3D ispis široko primjenjuje u zrakoplovnim, automobilskim, konstrukcijskim i sličnim industrijama. (Zhang et al., 2022.).

U međuvremenu, zahvaljujući brzom razvoju i drastično smanjenoj cijeni 3D pisača u posljednjih 5 godina, autori ističu kako oni nisu samo omogućili proizvodna rješenja na razini industrije, već su sve više ispunjavali tržište na razini potrošača. Ta tendencija čini 3D pisače, posebno stolne pisače, puno pristupačnijim malim potrošačima, a zauzvrat im omogućuje da vrlo lako kreiraju personalizirane 3D printane predmete. Kao rezultat toga, prosperitet 3D pisača na razini potrošača pruža obećavajući način da se omogući postizanje masovne prilagodbe. (Zhang et al., 2022.). Nadalje, autori spominju kako je proizvodnja u oblaku (engl. *Cloud manufacturing*) definirana kao „proizvodni model orijentiran na računalstvo i usluge razvijen iz postojećih naprednih modela i informacijskih tehnologija“ (Zhang et al., 2022.), kako bi se omogućila proizvodnja orijentirana na usluge, temeljena na znanju, visokoj suradnji i fleksibilnoj proizvodnji. Uz konvergenciju i usvajanje naprednih informacijskih tehnologija, kao što su *Cloud-Computing*, *Cyber-Physical Systems* i *Internet Of Things*, proizvodne industrije brzo su se transformirale u pametna i povezana okruženja. U međuvremenu, distribuirani proizvodni resursi i mogućnosti virtualizirani su u zajednički skup resursa, tako da svaki korisnik može dobiti prilagođene usluge u oblaku na zahtjev, tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda. U tom kontekstu, 3D ispis kao jedna vrsta napredne proizvodne tehnologije, može se smatrati uslugom proizvodne sposobnosti, a sukladno tome, 3D pisači su proizvodni resursi, slijedeći definicije proizvodnje u oblaku. Stoga integracija 3D pisača u proizvodno okruženje u oblaku može na neki način procvjetati razvoj pametnih mreža virtualnog oblaka za 3D ispis u budućnosti. (Zhang et al., 2022.)

Druga skupina autora tvrdi da izazovni uvjeti 21. stoljeća zahtijevaju stalnu evoluciju trenutno postojećih proizvoda. U rasponu od inovativnih malih poduzeća do velikih multinacionalnih kompanija, postoji stalna borba da se ponudi najbolji asortiman proizvoda na temelju želja i potreba potrošača. Otkriće novih sirovina, uvođenje novih proizvodnih metoda i kontinuirani naponi za istraživanje i razvoj novih proizvoda postavili su visoko konkurentno i komercijalno okruženje koje se razvija nevjerojatnom brzinom. Stoga je potreba za smanjenjem vremena razvoja proizvoda izraženija nego ikad. Međutim, tradicionalne metode industrijske izrade prototipa ne mogu uvijek držati korak sa zahtjevnim vremenskim

standardima koje postavljaju tvrtke koje žele steći vremensku prednost u odnosu na konkurente. prototipovi su bili i danas još uvijek jesu često rađeni od drveta ili gline. Ta praksa zahtjeva vrijeme i materijal, osim toga te vrste prototipova uglavnom su služile kao vizualna pomagala i nisu često mogli stajati kao funkcionalni prototipovi. Kao alat za pomoć u prevladavanju ovog tradicionalnog pristupa, u kasnim osamdesetima uvedena je nova proizvodna metoda. Tehnika izrade povezana je s automatiziranom proizvodnjom trodimenzionalnih čvrstih objekata dobivenih iz datoteke digitalnog računalno potpomognutog dizajna (CAD). To je omogućeno korištenjem aditivnih proizvodnih procesa u kojima taloženje uzastopnih slojeva materijala jednog na drugi dovodi do konačne izrade unaprijed definiranog trodimenzionalnog fizičkog objekta. Svaki sljedeći sloj sastoji se od isječenog dijela konačnog objekta. Metode aditivne proizvodnje daju dizajnerima mogućnost dizajniranja 3D objekata i njihove izrade u svojem uredu brzo i jeftino. Na taj način, dizajneri imaju kompetenciju brzo ispitati svoj dizajn u fizičkom obliku. Stoga mogu procijeniti svoj dizajn i provesti potrebne izmjene koje će dovesti do idealnog proizvoda. Neki predviđaju da bismo u budućnosti mogli vidjeti 3D printeri gotovo u svakom kućanstvu razvijenog svijeta u sljedećem desetljeću. Predviđeni rast cvjetajućih AM tržišta je nevjerojatan, s predviđanjima koja postaju sve optimističnija. Procjenjuje se da će veličina globalnog tržišta 3D ispisa dosegnuti 35 milijardi američkih dolara do 2027. godine, prema izvješću tvrtke Grand View Research, Inc. Predviđa se prosječna godišnja stopa rasta od čak 15% u ovom određenom predviđenom razdoblju. Glavni razlozi za ovaj rast su poboljšane tehnologije 3D ispisa, uvođenje novih materijala, državno financiranje, stalno širenje područja primjene i povećana svijest o prednostima 3D ispisa u odnosu na tradicionalne tehnike proizvodnje. (Kantaros et al., 2022.). U nastavku na slici broj 1. se može vidjeti ukupna godišnja stopa rasta tržišta usluga 3D ispisa u svijetu, raspoređena prema vrsti materijala, jasno se vidi kako je stopa rasta oko 25% kod svih vrsta materijala, što govori da tržište 3D ispisa značajno raste i razvija se.

Slika 4. Ukupna godišnja stopa rasta tržišta usluga 3D ispisa (CAGR) u cijelom svijetu od 2017. do 2021., prema vrsti materijala.



Izvor: Kantaros et al., 2022.

S druge strane, različita skupina autora spominje i neke nedostatke ove tehnologije. Ističu dok su se tehnologije 3D ispisa (poznate kao aditivna proizvodnja) smatrale visoko transformativnim tehnologijama, do sada su (unatoč više od 30 godina postojanja) bile ograničene skoro isključivo na tržišne niše, a donedavno se činilo kako samo najveće kompanije imaju mogućnost koristiti prednosti ovakve tehnologije. Međutim trošak skladištenja takvih tehnologija naglo je pao tijekom posljednjih nekoliko godina, a sve veći broj uslužnih tvrtki počinje nuditi i *offline* (*Fab labs, makerspaces,*) i *online* (platforme za 3D ispis) pristup kapacitetima 3D ispisa, kako bi svima omogućili korištenje ove tehnologije. (Rayna i Striukova, 2021.).

Osnovni princip rada u svakoj metodi aditivne proizvodnje je taloženje rasutog materijala u dvodimenzionalnom sloju. Treća dimenzija (os z) dolazi od slaganja nataloženih slojeva jedan

na drugi. Važno je razlikovati stolni 3D ispis od industrijske aditivne proizvodnje. Wohler (2019.) definira stolne 3D pisace kao one koji koštaju manje od 5000 američkih dolara, nasuprot tome industrijski strojevi mogu koštati i do nekoliko milijuna dolara. Naposljetku ono što razlikuje industrijske pisace je njihova sposobnost proizvodnje dijelova visoke kvalitete koji se mogu prodati kupcu. Većina 3D pisaca koji se koriste u *Makerspaces* i *Fab Labs* su stolni pisaci. *Makerspace* ili „prostor za izradu“ može se promatrati kao radni prostor za suradnju koji predstavlja lepez radnji kao što su izrada, učenje, istraživanje i dijeljenje korištenjem visoko tehnoloških alata ili jednostavnih alata. Takvi prostori pokazuju politiku otvorenih vrata i namijenjeni su hobistima, studentima, djeci, odraslima i poduzetnicima. Takvi prostori obično nude kombinaciju opreme za izradu od 3D pisaca, laserskih rezača, lemilica do šivaćih strojeva. Općenito takvi se prostori stvaraju kako bi se poduzetnicima ponudio jeftin radni prostor usmjeren na projektiranje i izradu prototipova.

4. KVALITATIVNO ISTRAŽIVANJE VAŽNOSTI KORIŠTENJA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U OPERACIJSKOM MENADŽMENTU

Digitalna tehnologija neupitno je postala nužnost u svakoj većoj kompaniji koja želi držati korak sa dinamičnim tržištem i jakom konkurencijom. Mogućnosti koje digitalna tehnologija pruža su brojne, od smanjenja potrebnog vremena za obavljanje nekih procesa do smanjena troškova, veće fleksibilnosti i općenito veće efikasnosti cijelog poslovnog sustava. Stoga je vrlo važno biti informiran o trenutno aktualnim tehnologijama, kako bi poduzeća bila upoznata sa mogućnostima koja su im dostupna, te kako bi se lakše borili na nemilosrdnom konkurentnom tržištu. U ovom istraživanju provest će se dubinski intervju sa 3 različita operacijska menadžera. Intervju će biti baziran oko razine korištenja i upoznatosti poduzeća sa različitim digitalnim tehnologijama u hrvatskoj. Ispitati će se koje digitalne tehnologije se najviše koriste u pojedinom poduzeću, jesu li neke tehnologije srž poslovanja ili samo služe kao potpora, nadalje ispitat će se stupanj upoznatosti ili korištenja disruptivnih digitalnih tehnologija odnosno tehnologija Industrije 4.0. Na kraju će se ispitati stav i mišljenje operacijskog menadžera o smjeru kretanja poduzeća u smislu digitalizacije, postoje li trendovi sve većeg korištenja digitalne tehnologije u poslovanju ili se proces digitalizacije još uvijek sporo odvija u hrvatskoj.

4.1. Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja je dubinski intervju koji će se provesti sa 3 različita menadžera koji su radili ili trenutno rade u području operacijskog menadžmenta. Ispitanici će biti prikupljeni isključivo radi potrebe ovog rada, stoga se uzorak klasificira kao namjerni prigodni. Pitanja će biti postavljena u otvorenom obliku, što znači da će ispitanik imati mogućnost odgovarati svojim riječima i fleksibilno objašnjavati odgovore na zadana pitanja. Intervju će trajati u prosjeku od 5-10 minuta. Pitanja će biti ista za sva 3 ispitanika, kako bi se odgovori mogli međusobno uspoređivati. Intervju će se provesti licem u lice, dok će odgovori na pitanja biti analizirani u obliku odlomka za svakog ispitanika zasebno, te će se na kraju pokušat usporediti.

4.2. Rezultati istraživanja

Prvi ispitanik je dugogodišnji menadžer u poduzeću koje se bavi IT *consulting*-om u financijskom sektoru u poduzeću X, pružaju usluge savjetovanja i vrlo su dobro upoznati sa informacijskim i digitalnim tehnologijama u poslovanju. S obzirom da se bave IT-om, digitalne tehnologije im nisu samo potpora već srž cijelog poslovanja. Ispitanik je izjavio da su upoznati sa disruptivnim tehnologijama Industrije 4.0. Na pitanje koriste li *blockchain* tehnologiju u lancu opskrbe je odgovorio da ne koriste s obzirom da nemaju lanac opskrbe. Na pitanje o korištenju umjetne inteligencije u poslovanju kao potpora odlučivanju, ispitanik je odgovorio da ponekad koriste tu tehnologiju, ovisno o kojem projektu se radi, zadnji primjer korištenja te tehnologije jedi bio projekt o predviđanju kreditnog rejtinga firmi, te su koristili *Decision Tree* algoritme. Na pitanje o automatizaciji i robotici u poslovanju ispitanik je odgovorio da nije primjenjivo u njihovom poslovanju jer su pretežito softverska firma. 3D ispis ili pametni sustavi proizvodnje također nisu primjenjivi u ovom konkretnom poduzeću jer nisu proizvodno poduzeće. Što se tiče Big Data tehnologije, ispitanik je izjavio da učestalo koriste ovu tehnologiju, te da im je prikupljanje i analiza podataka srž poslovanja s obzirom da banke već imaju velike količine podataka na raspolaganju, stoga analiziraju velike količine podataka koje služe kao potpora u odlučivanju. Na pitanje o korištenju tehnologija Interneta stvari ili digitalnih blizanaca, ispitanik je izjavio da ne koriste tu tehnologiju jer su softverska firma. Na postavljeno pitanje o najvažnijoj digitalnoj tehnologiji u njihovom poslovanju ispitanik je odgovorio da najviše koriste SQL (Structured Query Language) kao sredstvo komunikacije sa bazama podataka, zatim Java za kreiranje novih aplikacija i softvera, Atlassian/Jira koji služe kao dokumentacijski alat, softver za upravljanje i praćenje projektima, te koriste .NET kao besplatnu platformu otvorenog koda za izradu različitih vrsta aplikacija. Na zadnje pitanje planira li vaše poduzeće implementirati nove nadolazeće tehnologije Industrije 4.0, ispitanik je odgovorio da jedan od trenutnih projekata na kojem radu već koristi tehnologiju *blockchain*-a, koja pruža mogućnost uspostavljanja tokena koji predstavljaju digitalnu imovinu definiranu projektom ili pametnim ugovorom.

Drugi ispitanik je trenutno direktor nabave u poduzeću Y, koje se bavi prodajom i proizvodnjom dijelova i rješenja od polimera za sektore automobilske industrije, građevinarstva, namještaja i medicine. Digitalne tehnologije služe kao potpora ovom poduzeću, nisu srž poslovanja. Na pitanje o razini upoznatosti tehnologija Industrije 4.0, ispitanik je odgovorio da su djelomično upoznati sa određenim tehnologijama ali postoji još puno nejasnoća oko tih tehnologija. Zatim na pitanje o korištenju *blockchain* tehnologije u poslovanju ili lancu opskrbe ispitanik je izjavio da ne koriste tu tehnologiju i vrlo vjerojatno niti neće. Na pitanje o tehnologiji umjetne inteligencije i robotike, ispitanik je izjavio da ju redovito koriste u proizvodnim procesima, za narudžbe sa posebnim zahtjevima gdje je potrebna visoka preciznost u procesu proizvodnje, stoga koriste robotsku tehnologiju za te narudžbe. Na pitanje o korištenju Cloud tehnologije u proizvodnom procesu ispitanik je izjavio da još ne koriste tu tehnologiju. Zatim, na iduće pitanje o korištenju 3D ispisa u poslovanju ispitanik je odgovorio da redovito koriste tehnologiju 3D ispisa kada proizvode šahove po mjeri koji nisu standardne veličine, kao i za specijalne dijelove od metala koji su potrebni samo u malim količinama pa koriste 3D printere za proizvodnju po potrebi. Poduzeće također analizira veliku količinu podataka i služe se *Big Data* tehnologijom kada je riječ o izvještavanju poslovnih procesa, te koriste obje kategorije *Big Data*, i operativne i analitičke tehnologije. Na idućem pitanju o korištenju tehnologije Interneta stvari u poslovanju, ispitanik je izjavio da stalno koriste spomenutu tehnologiju u visoko regalnom skladištu, gdje programirani roboti premještaju i slažu palete sa proizvodima ili materijalima, a sustav kontrolira šta ulazi i šta izlazi iz skladišta, a svi su međusobno povezani i umreženi kako ne bi došlo do sudaranja. Iduće pitanje o korištenju tehnologija digitalnih blizanaca ispitanik je izjavio da su upoznati sa mogućnostima te tehnologije ali ju ne koriste trenutno. Najvažnije digitalne tehnologije u ovom poduzeću su programi za poslovno izvještavanje, međutim ispitanik nije htio otkrivati o kojim se aplikacijama radi. Na posljednje pitanje o tome je li poduzeće prati trendove digitalizacije ispitanik je izjavio da su u toku sa novim tehnologijama, neke od njih koriste međutim većinu i dalje preispituju i ne zalijeću se prebrzo u nešto tako neistraženo još uvijek, ali u dugom roku planiraju implementirati i druge tehnologije Industrije 4.0.

Treći ispitanik je menadžer u poduzeću koje zastupa vodeći europski automobilski brend na hrvatskom tržištu u poduzeću Z, te pružaju kupcima vozila raznih poznatih marki kao što su

Audi, SEAT, Škoda i druge marke, također se bave prodajom rezervnih dijelova, tehničkom izobrazbom osoblja prema visoko europskim standardima te razvojem IT sustava za praćenje kompletnog procesa prodaje i održavanja vozila. Ispitanik je izjavio da su digitalne tehnologije srž njihovog poslovanja s obzirom da zastupaju brendove automobila koji su zapravo napredni kompjuteri, objašnjava kako je u samo jednom suvremenom vozilu može biti do stotine različitih digitalnih procesa, te da je konačni cilj uspostaviti autonomnu vožnju koju kontrolira inteligentan sustav putem senzora. Na pitanje o razini upoznatosti poduzeća sa digitalnim tehnologijama Industrije 4.0 ispitanik je izjavio da su vrlo dobro upoznati s obzirom da koriste neke od tih tehnologija, i da su zadovoljni jer se kvaliteta procesa i suradnja sa kupcima i dobavljačima povećala implementacijom nekih od tehnologija Industrije 4.0. Na pitanje o korištenju *blockchain* tehnologije u lancu opskrbe, ispitanik je izjavio da ne koriste tehnologiju *blockchain*-a, jer se njihovo poslovanje još uvijek oslanja na klasične baze podataka koje je vrlo jednostavno administrirati u smislu regulacija. Međutim spominje kako je *blockchain* tehnologija vrlo rasprostranjena u automobilskoj industriji u razvoju autonomne vožnje, te da testna vozila koja su opremljena velikim brojem senzora prikupljaju podatke i čuvaju ih u *blockchain* lancu, a posebno razvijeni softveri na jako naprednim automobilima koji preuzimaju te podatke i simuliraju i razvijaju autonomnu vožnju. Na pitanje o korištenju umjetne inteligencije u poslovanju ispitanik je izjavio da za sad ne koriste tu vrstu tehnologije. Na sljedeće pitanje vezano uz robotiku i automatizaciju ispitanik je odgovorio da ne koriste tu tehnologiju s obzirom da nisu proizvodno poduzeće, međutim njihovi principalni sa kojima posluju imaju vrlo visoko razvijenu automatizaciju u procesu proizvodnje automobila. Na pitanje o korištenju tehnologija 3D ispisa izjavio je da ne koriste tu tehnologiju. Na pitanje o prikupljanju i obradi velike količine podataka ispitanik je odgovorio da njihovo poduzeće prikuplja podatke o zadovoljstvu kupaca ali i performansama i kvarovima određenih vozila, te onda te podatke analiziraju i koriste kao potpora odlučivanju. Iduće pitanje vezano uz Internet stvari, ispitanik je izjavio da koriste tu tehnologiju jer vozila sa kojima rade su visoko sofisticirani proizvod, te povezivanje automobila sa internetom omogućuje nadgledanje svih komponenti automobila i njihov zajednički rad u realnom vremenu, što uvelike olakšava održavanje i ubrzava otklanjanje kvarova, također spominje kako broj funkcija koje omogućava internet stvari na vozilima raste iz godine u godinu. Na pitanje o korištenju tehnologije digitalnih blizanaca, ispitanik je odgovorio da se ta

tehnologija vrlo često koristi u automobilske industriji te da ju oni također koriste za simuliranje raznih situacija u vožnji i prometnim nezgodama, te ističe kako je tehnologija digitalnog blizanca neizbježna kod konstruiranja svakog novog modela vozila te se njome poboljšavaju performanse vozila uz minimalne troškove. Na pitanje o najvažnijoj digitalnoj tehnologiji u njihovom poduzeću, ispitanik je odgovorio da je definitivno Internet stvari najvažnija, odnosno povezivanje i umrežavanje vozila, ali također koriste razne digitalne proizvode koji pokrivaju prodajne, financijske i servisne procese u životnom vijeku vozila. Na zadnje pitanje o praćenju trenda i smjera digitalizacije, te potencijalnoj implementaciji drugih tehnologija Industrije 4.0, ispitanik je odgovorio da cijelo auto branša pa tako i njihovo poduzeće već par godina prolazi kroz digitalnu transformaciju, te je uvođenje novih digitalnih tehnologija postao fokus brojnih poduzeća u auto industriji.

Zaključak istraživanja na temelju ispitanih poduzeća je taj da sve više poduzetnika i poslovnih subjekata postepeno upoznaje i implementira pojedine tehnologije Industrije 4.0, jedno od tri ispitanih poduzeća koristi *blockchain* tehnologiju koja je još uvijek vrlo nova i neistražena u širem poslovanju, međutim ipak pronalazi svoju primjenu čak i u Hrvatskoj. Zatim, sva tri ispitanika su potvrdila da njihova poduzeća prikupljaju veće količine podataka te ih analiziraju radi kvalitetnijeg donošenja odluka. Poduzeće Y je proizvodno poduzeće te je potvrdilo kako redovito koriste automatizaciju, robotiku te umjetnu inteligenciju u svojim proizvodnim procesima, ostala dva poduzeća nisu proizvodna pa niti ne koriste robotiku i automatizaciju u poslovanju. Vidi se kako svako poduzeće koristi onu tehnologiju Industrije 4.0 koja je primjenjiva za njihov sektor i potrebe poslovanja, uslužna poduzeća više koriste *blockchain* i umjetnu inteligenciju, razne softvere i aplikacije, dok proizvodna poduzeća više koriste robotiku, automatizaciju, Internet stvari i tehnologiju Digitalnog blizanca. Sva tri ispitanika su izjavila kako koriste te nove disruptivne tehnologije radi poboljšanja efikasnosti procesa i generalnog smanjenja troškova, te lakšeg obavljanja svih operacija i poslova u poduzeću. Stoga možemo zaključiti kako sva tri poduzeća prate trend digitalizacije s obzirom da već trenutno primjenjuju brojne tehnologije koje Industrija 4.0 nudi, a imaju namjeru i implementirati nove stvari, ovisno o potrebama poduzeća i sektoru u kojem posluju.

4.3. Ograničenja istraživanja

Intervjui su održani licem u lice, ograničenja istraživanja su ta što je vremenski period ispitivanja bio vrlo kratak da bi se detaljnije ušlo u sve digitalne tehnologije koje pojedino poduzeće koristi. Također, možda pojedini menadžeri nisu upoznati sa svim digitalnim tehnologijama u kojima njihovo poduzeće sudjeluje. Tehnologije Industrije 4.0 su još uvijek vrlo nova pojava i mnogi stručnjaci nemaju puno informacija o načinu funkcioniranja tih disruptivnih tehnologija, stoga nisu mogli niti pre detaljno odgovarati na pitanja. Istraživanje se provelo na poduzećima u Hrvatskoj, koja nije previše digitalizirana u usporedbi sa nekim drugim zapadnim zemljama, što otežava kvalitetnije ispitivanje menadžera na ovu temu.

5. ZAKLJUČAK

Svaka organizacija, neovisno o djelatnosti o kojoj se radi, koristi sebi svojstvene ulazne resurse, radi stvaranja unaprijed planiranih izlaznih vrijednosti. Uloga operacijskog menadžmenta je balansirati omjer ulaznih i izlaznih resursa, pritom pazeći na kvalitetu

procesa. Digitalne i informacijske tehnologije mogu značajno pomoći u optimizaciji tih procesa. Na primjer, u proizvodnji se često koristi robotika i automatizacija u skladištu i proizvodnim pogonima, dok se u planiranju i kontroli koristi tehnologija digitalnog blizanca, koja pruža mogućnost dizajna i oblikovanja potencijalnog proizvoda prije nego krene sam proces proizvodnje, kao i kontrolu životnog vijeka proizvoda. Cilj Industrije 4.0 je uspostaviti inteligentne sustave u kojem su svi procesi industrijske automatizacije međusobno povezani. Internet je temeljna digitalna tehnologija koja omogućuje rad ostalih naprednih tehnologija, a pronalazi svoju primjenu u skoro svako svakom poslovnom objektu danas, dok Industrija 4.0 nudi napredne digitalne tehnologije koje izazivaju disrupciju i mijenjaju standardni način poslovanja sa nekom novom metodom ili praksom.. Postoje broje prednosti tehnologija Industrije 4.0, brže i efikasnije obavljanje procesa uzduž čitavog lanca vrijednosti, brža i lakša komunikacija među partnerima, kvalitetnije donošenje odluka kroz analitiku velike količine podataka, smanjenje troškova, bolja kontrola životnog vijeka proizvoda i brojne druge. Usprkos velikom broju prednosti, važno je spomenuti i potencijalne nedostatke i izazove Industrije 4.0, neki stručnjaci upozoravaju na problem masovnih otpuštanja i zamjena ljudskog rada robotima, manjak potrebe za ljudskom kreativnošću u radu, opasnost od krađe i privatnosti podataka. Stoga je potrebno pronaći adekvatno rješenje za integraciju robotike i umjetne inteligencije u poslovanje, sa što manje negativnih posljedica za pojedinca kao zaposlenika. U provedenom istraživanju o upoznatosti menadžera sa najnovijim tehnologijama, sva tri ispitanika su izjavila kako su njihova poduzeća upoznata sa tehnologijama Industrije 4.0, te su svi potvrdili kako već koriste barem jednu od naprednih tehnologija, te da dugoročno imaju u viziji pratiti trend digitalne transformacije poduzeća i biti u toku sa aktualnim tehnologijama. Na temelju toga može se zaključiti da je tehnologija Industrije 4.0 pronašla primjenu u pojedinim poduzećima u Hrvatskoj, te da neki operacijski menadžeri već prepoznaju važnost korištenja digitalne tehnologije u vlastitom poslovanju.

Popis izvora:

1. Anokhin, D., Lejeune, M., Su, J. i Dehghanian, P. (2021.), Mobility-as-a-service for resilience delivery in power distribution systems, *Production and Operations Management*, 30(8), 2492-2521. <http://doi.org/10.1111/poms.13393>
2. Antonio, N. i Nunes, L. (2019.), Big Data in Hotel Revenue Management: Exploring Cancellation Drivers to Gain Insights Into Booking Cancellation Behavior, *Cornell Hospitality Quarterly*, 60(4), 200-215, <https://doi.org/10.1177/1938965519851466>
3. Babich, V. i Hilary, G. (2020.), Distributed ledgers and operations: What operations management researchers should know about blockchain technology, *Manufacturing and Service Operations Management*, 22(2), 223-240. <http://doi.org/10.1287/msom.2018.0752>
4. Ban, G. i Rudin, C. (2018.), The big data newsvendor: Practical insights from machine learning, *Operations Research*, 67(1), 90-108. <https://doi.org/10.1287/opre.2018.1757>
5. Baumers, M. i Holweg, M. (2019.), On the economics of additive manufacturing: Experimental findings, *Journal of Operations Management*, 65(2), 794-809. <https://doi.org/10.1002/joom.1053>
6. Beckschulte, S., Huebser, L., Kiesel, R. i Schmitt, R. (2022.), Digital Vehicle Protocol based on Distributed Ledger Technology in Production, *Procedia CIRP*, 107(9), 804-809. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.066>
7. Bertsimas, D., Delarue, A., Jaillet, P. i Martin, S. (2019.), Travel time estimation in the age of big data, *Operations Research*, 67(2), 498-515. <http://doi.org/10.1287/opre.2018.1784>
8. Boysen, N., Briskorn, D. i Emde, S. (2017.), Parts-to-picker based order processing in a rack-moving mobile robots environment, *European Journal of Operational Research*, 262(2), 550-562. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.053>

9. Chen, J., Pun, H. i Zhang, Q. (2022.), Eliminate demand information disadvantage in a supplier encroachment supply chain with information acquisition, *European Journal of Operational Research*, 302(3), 20-25.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.06.002>
10. Chen, L., Cui, Y. i Lee, H. (2021.), Retailing with 3D printing, *Production and Operations Management*, 30(7), 1986-2007. <http://doi.org/10.1111/poms.13367>
11. Chen, Y. L. i Cui, H. L. (2021.), Retailing with 3d printing, *Production and Operations Management*, 30(7), 1986-2007. <http://doi.org/10.1111/poms.13367>
12. Cheng, S., Franco, G., Jiang, H. i Lin, P. (2019.), Riding the blockchain mania: Public firms speculative 8-K disclosures, *Management Science*, 65(12), 5901-5913.
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3371347>
13. Choi, T., Kumar, S., Yue, X. i Chan, H. L. (2021.), Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond, *Production and Operations Management*, 31(1), 9-31. <https://doi.org/10.1111/poms.13622>
14. Facchini, F., Digiesi, S., Pinto, R. F. J. (2022.), Implementation of I4.0 technologies in production systems: opportunities and limits in the digital transformation, *Procedia Computer Science*, 200(10), 1705-1714.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.371>
15. Febriani, R. A. i Park, H. S. (2019.), Modelling a Platform for Smart Manufacturing System, *Procedia Manufacturing*, 38(5), 1660-1667.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.118>
16. Gao, L., Shi, J. i Gorman, M. (2018.), Business analytics for intermodal capacity management, *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(2), 310-329.
<http://doi.org/10.2139/ssrn.3193500>
17. Gao, L., Shi, J., Gorman, M. F. i Luo, T. (2020.), Business analytics for intermodal capacity management, *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(2), 310-329. <http://doi.org/10.2139/ssrn.3193500>

18. Geva, T. i Saar-Tsechansky, M. (2021.), Who is a better decision maker? Data-driven expert ranking under unobserved quality, *Production and Operations Management*, 30(1), 127-144. <https://doi.org/10.1111/poms.13260>
19. Geva, T. i Tsechansky, M. S. (2020.), Who is a better decision maker? Data-driven expert ranking under unobserved quality, *Production and Operations Management*, 30(1), 127-144. <https://doi.org/10.1111/poms.13260>
20. Gupta, V. (2019.), The influencing role of social media in the consumer's hotel decision-making process, *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 11(4), 378-391. <https://doi.org/10.1108/WHATT-04-2019-0019>
21. Han, L., Gupta, A., Jie, Z. i Flor, N. (2020.), Who will use augmented reality? An integrated approach based on text analytics and field survey, *European Journal of Operational Research*, 281(3), 502-516. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.019>
22. Hasija, S., Shen. Z. J. M. i Teo, C. P. (2020.), Smart city operations: Modeling challenges and opportunities, *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 203-213. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0823>
23. Hastig, G., Sodhi, M. (2019.), Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors, *Production and Operations Management*, 29(4), 935-954. <http://doi.org/10.1111/poms.13147>
24. Heinen, J. i Hoberg, K. (2019.), Assessing the potential of additive manufacturing for the provision of spare parts, *Journal of Operations Management*, 65(2), 810-826. <https://doi.org/10.1002/joom.1054>
25. Hinings, B., Gegenhuber, T. i Greenwood, R. (2018.), Digital innovation and transformation: An institutional perspective, *Information and Organisation*, 28(2), 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.004>
26. Ivanov, D., Tang S., Dolgui, A. i Battini, D. (2021.), Researchers' perspectives on Industry 4.0: Multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management., *International Journal of Production Research*, 59(7), 2055-2057. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1798035>

27. Jaiswal, M. i Uzairuddin, S. (2022.), Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS: An overview, *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 57-59
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.160>
28. Kantaros, A., Diegel, O., Piromalis, D., Tsaramirsis, G., Khadidos, O., Khadidos, A., Khan, F. i Jan, S. (2022.), 3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services, *Materials Today: Proceedings*, 49(7), 2712-2723. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.074>
29. Kehayov, M., Holder, L. i Koch, V. (2022.), Application of artificial intelligence technology in the manufacturing process and purchasing and supply management, *Procedia Computer Science*, 200(6), 1209-1217.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.321>
30. Keskin, B. B., Bott, G. J., Freeman, N. K. (2020.), Cracking sex trafficking: Data analysis, pattern recognition, and path prediction, *Production and Operations Management*, 30(1), 1110-1135. <http://doi.org/10.1111/poms.13294>
31. Kessler, M., Arlinghaus, J., Rosca, E. i Zimmermann, M. (2022.), Curse or Blessing? Exploring risk factors of digital technologies in industrial operations, *International Journal of Production Economics*, 243(10), 108-123.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108323>
32. Koivisto, M., Costa, M., Werner, J., Heiska, K., Talvitie, J., Leppanen, K., Koivunen, V. i Valkamma, M. (2017.), Joint device positioning and clock synchronization in 5G ultra-dense networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(5), 2866-2881. <http://doi.org/10.1109/TWC.2017.2669963>
33. Kozarević, E. i Ibrić, M. (2020.), Potencijali primjene blockchain tehnologije, *Banke&Biznis Risk Management*, 3(1), 42-47.
34. Kumar, J. A. i Agi, M. N. (2022.), Blockchain technology in the supply chain: An integrated theoretical perspective of organizational adoption, *International Journal of Production Economics*, 247(5), 108-145.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108458>

35. Leung, N., Elaheh, Y., Nilashi, M., Ghobakloo, M. i Iranmanesh, M. (2022.), Applications of disruptive digital technologies in hotel industry: A systematic review, *International Journal of Hospitality Management*, 107(5), 303-305. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103304>
36. Li, C., Jia, X., Li, H. Deng, L. i Shi, X. (2011.), Digital image processing technology applied in level measurement and control system, *Procedia Engineering*, 24(2), 226-231. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2631>
37. Li, G., Li, N. i Sethi, S. (2021.), Does CSR reduce idiosyncratic risk? Roles of operational efficiency and AI innovation, *Production and Operations Management*, 30(7), 2027-2045. <https://doi.org/10.1111/poms.13483>
38. Mak, H. i Shen, Z. J. M. (2020.), When triple-A supply chains meet digitalization: The case of JD.com's C2M model, *Production and Operations Management*, 30(3), 656-665. <https://doi.org/10.1111/poms.13307>
39. Mavri, M. (2015.), Redesigning a Production Chain Based on 3D Printing Technology, *Knowledge and Process Management* 22(3), 141-147. <https://doi.org/10.1002/kpm.1466>
40. Mejia, J., Urrea, G., Pedraza-Martinez, A. J. (2019.), Operational transparency on crowdfunding platforms: effect on donations for emergency response, *Production and Operations Management*, 28(7), 1773-1791. <https://doi.org/10.1111/poms.13014>
41. Olsen, T. i Tomlin, B. (2020.), Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management, *Manufacturing and Service Operations Management*, 22(1), 113-122. <http://doi.org/10.1287/msom.2019.0796>
42. Penver, S., Addepalli, S., Ahmet, J. i D`Amico. R. D. (2022.), Cognitive digital twin: An approach to improve the maintenance management, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 38(9), 613-630. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.06.004>

43. Perera, S., Dawande, M., Janakiraman, G. i Mookerjee, V. (2020.), Retail deliveries by drones: How will logistics networks change?, *Production and Operations Management*, 29(9), 2019-2034. <https://doi.org/10.1111/poms.13217>
44. Perera, S., Dawande, M., Janakiraman, G. i Mookerjee, V. (2020.), Retail deliveries by drones: How will logistics networks change?, *Production and Operations Management*, 29(9), 2019-2034. <https://doi.org/10.1111/poms.13217>
45. Prisco, J. (2021.), Why online supermarket Ocado wants to take the human touch out of groceries, preuzeto 5. srpnja 2022. s [Why online supermarket Ocado wants to take the human touch out of groceries - CNN](https://www.cnn.com/2021/07/05/tech/ocado-robots/index.html)
46. Rahnama, H., Johansen, K., Larsson, L., Ronnback, A. (2021.), Exploring digital innovation in the production process: A suggested framework for automation technology solution providers, *Procedia CIRP* 104(5), 803-808. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.135>
47. Rayna, T. i Striukova L. (2021.), Assessing the effect of 3D printing technologies on entrepreneurship: An exploratory study, *Tehnological Forecasting and Social Change*, 164 (9), 120-123. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120483>
48. Resman, M., Turk, M. i Heraković N. (2021.), Methodology for planning smart factory, *Procedia CIRP*, 97(6), 401-406. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.258>
49. Saadi, M. A. S. R., Maguire, A., Pottackal, N., Thakur, S., Ikram, M., Hart, J., Ajayan, P., Rahman, M. (2022.), Direct Ink Writing: A 3D Printing Technology for Diverse Materials, *Advanced Materials*, 34(28), 154-185. <https://doi.org/10.1002/adma.202108855>
50. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J. i Shen, L. (2018.), Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management, *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>

51. Shang, Y., Dunson, D. i Song, J. S. (2017.), Exploiting big data in logistics risk assessment via Bayesian nonparametrics, *Operations Research*, 65(6), 1574-1588. <http://doi.org/10.1287/opre.2017.1612>
52. Shin, H., Perdue, R. i Kang, J. (2019.), Front desk technology innovation in hotels: A managerial perspective, *Tourism Management*, 74(5), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.04.004>
53. Sodhi, M. S. i Tang, C. S. (2019.), Research opportunities in supply chain transparency, *Production and Operations Management*, 28(12), 2946-2969. <https://doi.org/10.1111/poms.13115>
54. Song, J. S. i Zhang, Y. (2019.), Stock or print? Impact of 3-D Printing on spare parts logistics, *Management Science*, 66(9), 3860-3878. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3409>
55. Vial, G. (2019.), Understanding digital transformation: A review and a research agenda, *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
56. Vinitha, K., Prabhu, R., Bhaskar, R., i Hariharan, R. (2020.), Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0., *Materials today: Proceedings*, 33(7), 3956-3960. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.331>
57. Wang, Y., Wang X. i Liu, A. (2020.), Digital Twin-driven Supply Chain Planning, *Procedia CIRP*, 93(2), 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.154Get>
58. Wiley (2018.), *Essentials of supply chain management*, 4. izd., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
59. Zhang, L., Zheng, P., Mai, J., Ren, L. i Cui, J. (2022.), 3D Printing in the Context of Cloud Manufacturing, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 74(5), 156-190. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102256>

Popis slika:

Slika 1. Karakterizacija konceptualnog modela DT-a	12
Slika 2. Koraci predložene metodologije.....	21
Slika 3. Veza među ključnim tehnologijama Industrije 4.0	22
Slika 4. Ukupna godišnja stopa rasta tržišta usluga 3D ispisa (CAGR) u cijelom svijetu od 2017. do 2021., prema vrsti materijala.	34