



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

Eva  
**Krhač Andrašec**

UREDNIKA

Benjamin  
**Urh**



# VLOGA NAPREDNIH TEHNOLOGIJ V INŽENIRINGU

poslovnih sistemov





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za organizacijske vede

# Vloga naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov

Urednika

**Eva Krhač Andrašec**

**Benjamin Urh**

Februar 2025

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Vloga naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov</b> <i>The Role of Advanced Technologies in Enterprise Engineering</i>
<b>Urednika</b> <i>Editors</i>	Eva Krhač Andrašec (Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede)  Benjamin Urh (Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede)
<b>Recenzija</b> <i>Review</i>	Jana Hojnik (Univerza na Primorskem, Fakulteta za management)  Tatjana Kovač (Fakulteta za komercialne in poslovne vede)
<b>Lektoriranje</b> <i>Language editing</i>	Tatjana Koropec (Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta)
<b>Tehnični urednik</b> <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
<b>Grafika na ovitku</b> <i>Cover graphic</i>	Technology, avtor: tungnguyen0905, pixabay.com, 2022
<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i>	Viri so lastni, razen če ni navedeno drugače. Avtorji prispevkov in Krhač Andrašec, Urh (urednika), 2025
<b>Založnik</b> <i>Published by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Univerzitetna založba</b> Slomškovo trgo 15, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://press.um.si">https://press.um.si</a> , <a href="mailto:zalozba@um.si">zalozba@um.si</a>
<b>Izdajatelj</b> <i>Issued by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Fakulteta za organizacijske vede</b> Kidričeva cesta 55 A, 4000 Kranj, Slovenija <a href="https://www.fov.um.si">https://www.fov.um.si</a> , <a href="mailto:dekanat.fov@um.si">dekanat.fov@um.si</a>
<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja
<b>Vrsta publikacije</b> <i>Publication type</i>	E-knjiga
<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i>	<a href="http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/941">http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/941</a>
<b>Izdano</b> <i>Published at</i>	Maribor, februar 2025



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba  
/ University of Maribor, University Press

**Besedilo** / *Text* © avtorji in Krhač Andrašec, Urh (urednika), 2025

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

Licenca dovoli uporabnikom reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javno priobčitev in predelavo avtorskega dela, če navedejo avtorja in širijo avtorsko delo/predelavo naprej pod istimi pogoji. Za nova dela, ki bodo nastala s predelavo, bo tako tudi dovoljena komercialna uporaba. Od BY NC SA licence se ta razlikuje samo v tem, da je tu dovoljena tudi komercialna uporaba dela/predelave.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno  
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije

**Publikacijo je sofinancirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.**

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

658.5:004(082) (0.034.2)

VLOGA naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov [Elektronski vir]  
/ urednika Eva Krhač Andrašec, Benjamin Urh. - 1. izd. - E-publikacija. - Maribor  
: Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2025

Način dostopa (URL): <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/941>

ISBN 978-961-286-947-2

doi: 10.18690/um.fov.1.2025

COBISS.SI-ID 223474947

**ISBN** 978-961-286-947-2 (pdf)  
978-961-286-948-9 (trda vezava)

**DOI** <https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025>

**Cena** Brezplačni izvod  
*Price*

**Odgovorna oseba založnika** prof. dr. Zdravko Kacič,  
*For publisher* rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje** Krhač Andrašec, E., Urh, B. (ur.). (2025). *Vloga naprednih*  
*Attribution* *tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov*. Univerza v Mariboru,  
Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.fov.1.2025

## Kazalo

	<b>Uvodnik</b> Eva Krhač Andrašec, Benjamin Urb	1
1	<b>Uporaba umetne inteligence (UI) pri planiranju proizvodnje v Sloveniji</b> <i>Usage of Artificial Intelligence (AI) in Production Planning in Slovenia</i> Jelisaveta Kerović, Dušan Mežnar, Matjaž Roblek	5
2	<b>Model poslovnega sistema kot osnova za vzpostavitev digitalnega dvojčka</b> <i>A Business System Model as a Basis for the Establishment of a Digital Twin</i> Timotej Hočevar, Eva Krhač Andrašec, Tomaž Kern	39
3	<b>Bibliometrična analiza in razvoj modela uporabnosti digitalnega dvojčka v vseh fazah življenjskega cikla premoženja</b> <i>Bibliometric Analysis and Model Development of the Digital Twin Applicability at All Stages of the Asset Lifecycle</i> Žiga Debeljak, Matjaž Maletič, Damjan Maletič	67
4	<b>Sinergijski učinki ocenjevalnih metod OWAS in KIM pri celoviti ergonomski analizi</b> <i>Synergistic Effects of OWAS and KIM Assessment Methods in a Comprehensive Ergonomic Analysis</i> Zvone Balantič, Sofija Đoković Branka Jarc Kovačič	93
5	<b>Ogljični odtis izdelave plastičnega izdelka na 3D tiskalniku</b> <i>Carbon Footprint of Plastic Product Made With a 3D Printing</i> Petar Todorović, Marjan Senegačnik, Štefan Žun	127
6	<b>Uporaba sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvoda/proizvodnega procesa</b> <i>Use of Modern Technologies in the Process of Product Development/ Production Process</i> David Jorgič, Tilen Medved, Benjamin Urb	157
7	<b>Ključni dejavniki uspeha digitalne transformacije</b> <i>Key Success Factors of Digital Transformation</i> Tilen Medved, Eva Krhač Andrašec	179
	<b>Recenziji</b> <i>Reviews</i>	195
	<b>O avtorjih</b> <i>About the authors</i>	207





# Uvodnik

EVA KRHAČ ANDRAŠEC, BENJAMIN URH

V zadnjih letih smo priča konstantnim radikalnim spremembam v poslovnem okolju in družbi nasploh. Poslovni sistemi so tako soočeni z neprestano potrebo po organizacijskih spremembah, in sicer z namenom obstoja ali ohranjanja konkurenčnosti in tržnega deleža v svojem poslovnem področju. V pričujoči znanstveni monografiji avtorji predstavljajo sodobne pristope za hitro prilagajanje zahtevanim spremembam in pripadajoče napredne tehnologije, ki omogočajo potrebne organizacijske spremembe. Le-ti se med seboj po vsebini in številnih dejavnikih razlikujejo, vsem pa je skupen soroden koncept izvajanja, ki temelji na posnetku in analizi trenutnega stanja. Na podlagi tega se pripravi predlog organizacijskih sprememb za optimizacijo stanja, temu pa sledi implementacija pripravljenih sprememb, prilagajanje poslovnega sistema in konstantno nadzorovanje vpliva organizacijskih sprememb. Da bi poslovni sistemi lahko sledili vsem zahtevam v poslovnem okolju ter pri tem ostali učinkoviti, uspešni in konkurenčni, je praktično nujno, da pri svojem delovanju uporabijo napredne tehnologije, razvite v zadnjih letih. Pri tem je pomembno, da napredne tehnologije dobro poznajo, razumejo njihov namen in delovanje ter jih uporabljajo v skladu z vsemi pravili in smernicami. Ne glede na to, katera napredna tehnologija je predmet organizacijske spremembe, zadnja faza nadzora vpliva spremembe je del neprestano ponavljajočega se cikla sprememb. Poglavja se osredotočajo predvsem na

predstavitev naprednih tehnologij ter prikaz njihove praktične uporabe in vpliva na poslovni sistem.

V uvodnem poglavju se avtorji Jelisaveta Kerović, Dušan Mežnar in Matjaž Roblek osredotočijo na obravnavo uporabe umetne inteligence pri planiranju proizvodnje v slovenskih poslovnih sistemih. Najprej opredelijo umetno inteligenco ter raziščejo njeno splošno uporabo in uporabo pri planiranju proizvodnih procesov. V nadaljevanju se osredotočijo na ovire pri implementaciji in potencial njene uporabe. V osrednjem delu predstavijo rezultate dveh anketnih vprašalnikov o uporabi umetne inteligence v procesih planiranja proizvodnje v slovenskih poslovnih sistemih. Diskusijo nadaljujejo s podajo odgovorov na dilemo o vplivu kriterijev razvrščanja poslovnih sistemov na uporabo umetne inteligence. Na koncu izpostavijo razloge za manjšo uporabo umetne inteligence v slovenskih poslovnih sistemih in predstavijo glavne prednosti njene uporabe.

V naslednjih poglavjih se avtorji osredotočijo na vzpostavitev digitalnih dvojčkov in njihovo vlogo v življenjskem ciklu premoženja. V drugem poglavju avtorji Timotej Hočevar, Eva Krhač Andrašec in Tomaž Kern povežejo management poslovnih procesov z digitalnimi dvojčki. Na začetku aplikativnega dela predstavijo izbran poslovni sistem ter njegov repositoriij. Nadaljujejo z analizo časa in sredstev za izvedbo predstavljene raziskave. Na podlagi izvedene raziskave predstavijo izkušnje raziskave in podajo smernice za oblikovanje digitalnih dvojčkov poslovnih procesov. V zaključku potrdijo, da je model poslovnega sistema primerna osnova za vzpostavitev digitalnega dvojčka, ki pa je izjemno kompleksen, a koristen proces.

V tretjem poglavju avtorji Žiga Debeljak, Matjaž Maletič in Damjan Maletič nadaljujejo s področjem digitalnih dvojčkov, ki jih povežejo s sistemom obvladovanja premoženja. V nadaljevanju predstavijo vizualizacijo zemljevidov na osnovi omrežij, ki jih raziskovalci zgradijo na podlagi dostopnih multidisciplinarnih zbirk. Avtorji prikažejo rezultat sistematičnega pregleda literature in interpretirajo vizualizacije zemljevidov, v katerih so povezane naslednje ključne besede: »asset management«, »lifecycle« in »digital twin«. Na podlagi tega avtorji poglavje zaključujejo z izpostavitvijo uporabnosti digitalnih dvojčkov na področju obvladovanja premoženja.

V naslednjem poglavju Zvone Balantič, Sofija Đoković in Branka Jarc Kovačič predstavijo sinergijske učinke dveh ocenjevalnih metod v ergonomski analizi pametne montažne linije. Poglavje začnejo s predstavitev ergonomije in metod za ergonomsko analizo. Nadaljujejo s pojasnilom metodologije, kjer so za celovitost raziskave uporabili večstopenjski pristop, sestavljen iz kvantitativnih in kvalitativnih metod. Sledi predstavitev rezultatov eksperimenta, ki je izveden na primeru dvigovanja in potiskanja bremen. Avtorji zaključujejo, da je potrebno k ergonomski oceni pristopiti celovito, saj integracija obeh metod lahko izjemno prispeva k izboljšanju delovnih pogojev in produktivnosti.

Petar Todorović, Marjan Senegačnik in Štefan Žun v petem poglavju predstavijo izračun ogljičnega odtisa na primeru procesa izdelave plastičnega izdelka s pomočjo 3D tiskalnika. Uvodoma predstavijo ključne pojme raziskave in vrste 3D tiskanja z različnimi metodami. V nadaljevanju poglavja predstavijo proces izdelave izdelka in izračunajo nastali ogljični odtis pri izvedbi obravnavanega procesa. V zaključnem delu potrjujejo, da je iz okoljskega vidika 3D tiskanje manj škodljivo kot klasična metoda proizvodnje.

Nadaljujejo David Jorgić, Tilen Medved in Benjamin Urh, ki se osredotočijo na uporabo sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvodov. Najprej predstavijo sam proces razvoja proizvodov in nekaj ključnih referenčnih modelov. V osrednjem delu predstavijo napredne tehnologije v procesu razvoja proizvodov. Poglavje nadaljujejo s pregledom namenov, izzivov in prednosti implementacije naprednih tehnologij v proces razvoja proizvodov. Na podlagi opravljenih pregledov v zaključku izpostavijo ključne prednosti uporabe naprednih tehnologij, in sicer v fazi prototipiranja in v primeru proizvodnje po meri.

Za zaključek se Tilen Medved in Eva Krhač Andrašec usmerita v ključne dejavnike uspeha digitalne transformacije in pripadajočih naprednih tehnologij. Poglavje začneta s podrobno predstavitev naprednih tehnologij v digitalni transformaciji. Nadaljujeta s prikazom ključnih dejavnikov uspeha obvladovanja poslovnih procesov. Sledi predstavitev glavnih izzivov digitalne transformacije, za konec pa predstavi nekaj študij primerov o uspešnih implementacijah v priznane poslovne sisteme. V zaključnem delu poglavja avtorja povzameta ključne dejavnike uspeha digitalne transformacije.

Poglavja predstavljajo več možnih poti za soočanje z nastalo potrebo po organizacijskih spremembah. Pri tem se osredotočajo na umetno inteligenco, digitalne dvojčke in ostale napredne tehnologije, ki jih obravnavajo iz različnih vidikov poslovnega sistema: obvladovanje poslovnih procesov, obvladovanje premoženja, ergonomska analiza delovnih mest, razvoj izdelkov, planiranje proizvodnje in ogljični odtis proizvodnje izdelkov. S povezovanjem naprednih tehnologij z različnimi vidiki poslovnega sistema avtorji prikažejo posamezne možne načine prehoda v pameten poslovni sistem in posledično njegovo izboljšanje učinkovitosti, uspešnosti in konkurenčnosti. Izsledki pričujoče znanstvene monografije so uporabni za vse, ki jih v prvi vrsti zanima razumevanje delovanja poslovnega sistema. Monografija je uporabna prav tako za vse, ki se želijo spoznati z osnovami inženiringa poslovnih sistemov. Predvsem pa je uporabna za vse študente, akademike in podjetnike, ki želijo spoznati napredne tehnologije za optimizacijo poslovnih sistemov ter se želijo preizkusiti pri prenosu pridobljenega znanja v prasko.

# UPORABA UMETNE INTELIGENCE (UI) PRI PLANIRANJU PROIZVODNJE V SLOVENIJI

JELISAVETA KERVIĆ,<sup>1</sup> DUŠAN MEŽNAR,<sup>1</sup>  
MATJAŽ ROBLEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
jelisaveta.kerovic@student.um.si, dusan.meznar@um.si

<sup>2</sup> Domel, Železniki, Slovenija  
matjaz.roblek@domel.si

Umetna inteligenca (UI) je postala sestavni del naprednega poslovanja. V okviru iniciative Industrije 4.0 je namenjena proizvodnim sistemom za podporo proizvodnih procesov od planiranja do izvajanja. Z raziskavo smo ugotavljali stanje na vključenosti umetne inteligence v slovenskih podjetjih, specifično v procesih planiranja proizvodnje. V začetnem delu raziskave smo analizirali definicije o UI iz strokovne literature in o procesih planiranja proizvodnje, na podlagi katerih smo pripravili anketni vprašalnik. Raziskava je obsegala stanje o prisotnosti UI leta 2024 v 21 večjih proizvodnih podjetij v Sloveniji. Na podlagi rezultatov ugotavljamo, da leta 2024 24% proizvodnih podjetij že uporablja UI. Kot glavne razloge za neuporabo UI ugotavljamo interno pomanjkanje strokovnjakov in težko prepoznane koristi za podjetje.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.1](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.1)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
umetna inteligenca,  
planiranje proizvodnje,  
implementacija,  
anketa,  
Slovenija



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.1](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.1)

ISBN  
978-961-286-947-2

# USAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN PRODUCTION PLANNING IN SLOVENIA

JELISAVETA KERVIĆ,<sup>1</sup> DUŠAN MEŽNAR,<sup>1</sup>  
MATJAŽ ROBLEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[jelisaveta.kerovic@student.um.si](mailto:jelisaveta.kerovic@student.um.si), [dusan.meznar@um.si](mailto:dusan.meznar@um.si)

<sup>2</sup> Domel, Železniki, Slovenia  
[matjaz.roblek@domel.si](mailto:matjaz.roblek@domel.si)

**Keywords:**  
artificial intelligence,  
production planning,  
implementation,  
survey,  
Slovenia

Artificial intelligence (AI) has become an integral part of advanced business practices. Within the framework of the Industry 4.0 initiative, it is intended for manufacturing systems to support production processes from planning to execution. This research aimed to investigate the state of AI integration in Slovenian companies, specifically in production planning processes. In the initial phase of the study, we analysed definitions of AI and production planning processes from professional literature, based on which we prepared a questionnaire. The research encompassed the state of AI presence in 2024 in 21 major manufacturing companies in Slovenia. Based on the results, we found that in year 2024, 24% of manufacturing companies already use AI. The main reasons for not using AI were identified as an internal lack of experts and the difficulty in recognizing the benefits for the company.



## 1 Uvod

Koncept umetne inteligence (UI) omogoča proizvodnemu sistemu, da z uporabo tehnik strojnega učenja lahko samostojno analizira svoje obstoječe proizvodno okolje in se prilagaja novim nastalim razmeram (Dellermann idr., 2019). Z raziskavo smo želeli odkriti trenutno prisotnost UI v procesih planiranja proizvodnje v slovenskih podjetjih. Procesi planiranja proizvodnje so vmesnik med razvojem izdelka in njegove tehnologije izdelave ter realizacijo prodajnih naročil, katerega podproces je proizvodnja izdelka (Xiao idr., 2023).

## 2 Pregled raziskav

Na podlagi pregleda literature od 2017 do 2023 ugotavljamo, da se UI uporablja v proizvodnji, manj pa v procesih planiranja proizvodnje. Spodnja tabela 1 prikazuje izvelek poizvedb raziskav po ključnih besedah iz baz podatkov: Science Direct, Scopus in Web of Science.

Tabela 1: Število raziskav o UI po ključnih besedah

	SCIENCE DIRECT	WEB OF SCIENCE	SCOPUS
ai	159 110	266 423	29 503
artificial intelligence	149 042	280 692	211 535
manufacturing planning	152 345	25 191	4 882
production planning	240 541	65 285	41 449
artificial intelligence and manufacturing planning	16 693	1 034	189
ai and manufacturing planning	12 288	584	242
artificial intelligence and production planning	25 931	1 297	261
ai and production planning	20 911	922	399

Vir: lasten

S pregledom raziskav o uporabi UI v proizvodnji je bilo ugotovljeno, da je večina raziskav usmerjenih v industrijo 4.0. Tehnologije UI so sestavni del industrije 4.0, zato je logično, da so glavni predmet raziskovanja. V raziskavi Zhong idr. iz leta 2017 se omenja UI kot gradnik inteligentne proizvodnje, proizvodnje s podporo interneta stvari in oblachno podprte proizvodnje. Inteligentna proizvodnja, ki temelji na UI, omogoča tudi napredno planiranje proizvodnje. Li idr. leta 2017 raziščejo uporabo UI v inteligentni proizvodnji. V prispevku zaključijo, da prihaja novo obdobje UI

2.0. Ugotovijo, da je področje planiranja proizvodnje slabo raziskano in da bi bilo potrebno temo obravnavati v nadaljnjih raziskavah. Frank idr. so leta 2019 v Braziliji izvedli raziskavo o implementaciji tehnologij UI v Industriji 4.0. Avtorji potrjujejo hipotezo, da je inteligentna proizvodnja ključna za Industrijo 4.0. Rezultati tudi kažejo, da zelo majhen odstotek podjetij uporablja tehnologije UI.

Moeuf idr. so leta 2017 izvedli raziskavo na temo industrijskega managementa v dobi Industrije 4.0. in ugotovijo, da mala in srednja podjetja uporabljajo tehnologiji računalništvo v oblaku in internet stvari (ang. IoT) za spremljanje industrijskih procesov, dejanske uporabe UI pri planiranju proizvodnje pa je zelo malo. Zheng idr. so se v pregledu literature leta 2021 dotaknili vseh načinov, kako uporaba tehnologij industrije 4.0 vpliva na razvoj podjetij. Ne odkrijejo, da bi bil zastopan proces planiranja proizvodnje, medtem ko je omenjeno integrirano planiranje oskrbovalne verige (ang. Integrated Business Planning ali IBP, tudi Integrated Supply chain Planning ali ISP). Zaključijo, da se lahko za planiranje proizvodnje uporabi koncepte inteligentnega razvrščevalnika (ang. Smart Scheduling). Ko smo iskanje zožili na uporabo umetne inteligence pri planiranju proizvodnje, smo našli raziskavo (Daniel idr., 2019), ki tudi poudarja koncept inteligentnega razvrščevalnika kot rešitve za planiranje proizvodnje v dobi industrije 4.0. Cilj tega sistema je avtomatizirati razvrščanje/razporejanje v integriranem okviru kibernetско-fizičnih proizvodnih sistemov (ang. Cyber-physical Production Systems ali CPPS).

Raziskava »Automated Process Planning and dynamic scheduling for Smart Manufacturing: A Systematic Literature Review« ugotavlja, da se trenutno za planiranje proizvodnje največ uporablja računalniško podprto planiranje ali Computer-aided process planning (CAPP). Predlagajo uporabo sistemov Automated Process Planning and Scheduling (APPS), ki s pomočjo tehnik UI, kot sta strojno učenje in globoko učenje, samostojno izvajajo procese planiranja proizvodnje (Marzia idr., 2023). Raziskava Bueno idr. (2020) se ukvarja s podobno tematiko. Trdijo, da bi na proces planiranja proizvodnje lahko vplivala IoT tehnologija, ki pretežno podpira večino aktivnosti v procesih planiranja in nadzora proizvodnje. Zaključijo, da je IoT mogoče dobro integrirati z drugimi gradniki industrije 4.0, kot so proizvodnja v oblaku, kibernetско-fizični sistemi, uporaba velikih podatkov in UI.



Postavlja se vprašanje, ali je potrebno dano področje dodatno raziskati in kako je s stanjem v Sloveniji? Po analizi obstoječe literature smo dobili informacije, kako s pomočjo različnih tehnik uporabiti UI. Če bi iskanje v bazah člankov še bolj zožili na procese strateškega, letnega ali mesečnega planiranja, bi bilo število zadetkov večinoma blizu nič. Ugotavljamo, da so obstoječe raziskave izvedene na območjih Južne Amerike - Brazilije, Združenih držav Amerike in Evrope. Zanima nas Slovenija, ki je ne omenja nobena raziskava. Statistični urad RS navaja, da je leta 2023 11 % podjetij uporabljalo pri poslovanju tehnologijo UI. V obstoječih raziskavah ni omenjeno, koliko podjetja v Sloveniji uporabljajo tehnologijo UI pri planiranju proizvodnje, niti kaj so razlogi za neuporabo UI (Kerović, 2024).

Cilj raziskovalnega vprašanja je bil, koliko je UI prisotna v procesih planiranja proizvodnih procesov v Sloveniji v letu 2024, ter kaj so ovire, ki preprečujejo močnejšo prisotnost UI v proizvodnih podjetjih v Sloveniji. Odgovore smo pridobili iz vzorca 21 večjih slovenskih proizvodnih podjetij (Kerović, 2024).

### **3 Izhodišča raziskave**

Leta 2011, v okviru Industrije 4.0, ki je bila predstavljena v Hannoveru v Nemčiji, se omenja UI. Nemčija je leta 2013 to naznanila kot nemško strateško razvojno pobudo za prevzem vodilne vloge v proizvodnem sektorju (Xu idr., 2018). Leto po napovedi Nemčije, Kitajska napove iniciativo za proizvodna podjetja "Made in China 2025", s čimer predstavlja svoj desetletni plan, ki bo državo spremenil iz globalne *delavnice* v globalno proizvodno silo. Sočasno Združene države Amerike napovedo proizvodno strategijo »Industrial Internet«, katere cilj je povezovanje UI, baz podatkov in fizične, industrijske proizvodnje (Tao idr., 2018).

Nato se začne izvajati raziskave o vključenosti in implementaciji gradnikov pametne proizvodnje, da bi proizvodna podjetja dobila smernice za izvedbo digitalne preobrazbe. Avtorji Bueno idr. (2020) ugotovijo, da sta ključna procesa za uvajanje pametne proizvodnje planiranje in nadzor proizvodnje. Zaključijo, da je Industrija 4.0 ključna za prihodnjo konkurenčnost podjetij in je sestavljena iz večjega nabora novih tehnologij. Trdijo, da gre za novo tehnološko revolucijo, ki omogoča doseganje večje proizvodne zmogljivosti ob povečanih izkoristkih materiala. Minimizirajo se stroški proizvodnje in izgube proizvodnih kapacitet (Lee idr., 2018). Kljub različnim interpretacijam te nove tehnološke revolucije, jim je skupno, da se

stalno ponavljajo določene digitalne tehnologije: računalništvo v oblaku, internet stvari, industrijski internet stvari, tehnologija obdelave velikih podatkov, tehnologija veriženja blokov (ang. Blockchain), kibernetiski fizični sistemi, digitalni dvojček, UI (Zeba idr., 2021). Skupno je tudi, da Industrija 4.0 integrira inteligentne senzorje, UI in podatkovno analitiko za optimizacijo proizvodnje v realnem času (Xu idr., 2018).

V nadaljevanju se sprašujemo, kako je UI vključena v proizvodna podjetja? Proizvodnja je le eno izmed poslovnih področij z aplikacijami tehnologije UI (Zeba idr., 2021). UI apliciramo v proizvodnjo s tehnologijami strojnega učenja (Xu idr., 2018). Pri tem izrabljamo zmožnost računalnikov za izvajanje kognitivnih funkcij, povezanih s človekom, kot so zaznavanje, sklepanje, učenje in reševanje problemov (Arinez idr., 2020). John McCarthy je leta 1956 definiral UI kot sposobnost stroja, ki se je sposoben samostojno odločati, sklepati in reševati probleme in tako posnemati človeka in njegovo razmišljanje. Temelji na učenju in je sposoben interpretacije, samo-izboljševanja, komunikacije in predikcije (Kumar, 2017).

Tehnologija strojnega učenja, ki naj bi bila mehanizem UI, najprej ni dajala potenciala širše uporabnosti (Lee idr., 2018), toda danes predstavlja vodilni trend v aplikacijah UI. ZDA so leta 2016 objavile, da lahko UI uporabimo za znižanje stroškov, izboljšanje kakovosti izdelkov in kar je pomembno zaradi naše raziskave, za planiranje proizvodnih procesov (Yang idr., 2021). Spoznanje, da lahko UI s pomočjo strojnega učenja rešuje tudi kompleksnejše naloge, kot je analiza sprememb v okolju podjetja, pomeni preboj v potencialni uporabi UI (Dellermann idr., 2019). Izpostavlja se uporaba pri samostojnem odločanju (Kumar, 2017). Koristna lastnost UI je tudi sposobnost obdelave velikih količin podatkov in njihovega preoblikovanja v koristne informacije preko različnih kanalov (Arinez idr., 2020). UI je ključna za prehod iz klasične avtomatizirane proizvodnje v pametno proizvodnjo, ki je sposobna samo-adaptacije (Xiao idr., 2023).

Čeprav je UI že uveljavljena v proizvodnji, so težave z njeno uporabo v procesih planiranja proizvodnje. Leo Kumar (2017) se je ukvarjal z raziskovanjem vidikov uporabnosti UI. S pregledom raziskav od 1981 do 2016 odkrije možnosti njene uporabe tudi v procesu planiranja proizvodnje, konkretno pri procesu planiranja in razporejanja proizvodnih operacij (terminiranje proizvodnje), to je pri določanju optimalnega zaporedja in pri dodeljevanju proizvodnih virov znotraj krajšega časovnega horizonta. Trdi, da lahko UI ojača in nadomesti znanje in izkušnje

planerjev proizvodnje in tako nadomesti »ročno« planiranje in planiranje procesov. To potrjuje tudi kasnejša raziskava Xiao idr. (2023).

### **3.1 Uporaba UI pri planiranju proizvodnih procesov**

UI omogoča izdelavo podjetju prilagojenega oz. individualiziranega modela planiranja. S procesi planiranja in nadzora proizvodnje definiramo količine, ki jih je treba proizvesti, da lahko zadovoljimo kupčeva potrebe na način, da se doseže poslovne cilje, kot je oskrbovalna zanesljivost (Usuga idr., 2020).

#### a) Strojno in globoko učenje

Strojno učenje je bilo označeno kot eden glavnih dejavnikov, ki omogočajo prehod iz tradicionalne industrije v industrijo 4.0 (Bertolini idr., 2021). Strojno učenje je ena glavnih tehnik za implementacijo UI v proizvodnjo (Busch idr., 2019). Tehnika vključuje nabor metodologij in algoritmov, ki so sposobni pridobiti znanje iz podatkov in nenehno izboljševati svoje zmogljivosti, pri čemer se učijo iz izkušenj. Ključni faktorji za delovanje modelov strojnega učenja so algoritmi in podatki (Kang idr., 2020). Najprej se je strojno učenje v proizvodnji uporabilo na področjih vzdrževanja in kakovosti, nato na področju planiranja (Bertolini idr., 2021). Strojno učenje okrepi planiranje in nadzor proizvodnje z zmogljivostjo učenja iz zgodovinskih podatkov in podatkov v realnem času, da se lahko bolje odzove na predvidljive in nepredvidljive dogodke pri sami proizvodnji izdelkov (Usuga idr., 2020). Globoko učenje je podkategorija strojnega učenja, ki poveča točnost in natančnost obdelanih podatkov: povečajo natančnost klasifikacije ali zmanjšajo napako pri težavah z regresijo, če so na voljo ustrezno veliki nabori podatkov, ki opisujejo težavo (Kamilaris idr., 2018).

#### b) Na znanju temelječi sistemi (ang. Knowledge-based systems ali KBS)

KBS je podsistem UI, ki integrira tri dejavnike; baze podatkov in znanja ter mehanizem sklepanja (Li idr., 2017). Kot programska koda ima KBS lastno sposobnost odločanja pri reševanju problemov in temeljijo na strokovnem znanju (Kumar, 2018). KBS se v praksi kombinira z evolucijskimi algoritmi, oboji pa predstavljajo gradnike pametnega planiranja proizvodnje (Kumar, 2017).

### c) Ekspertni sistemi

Ekspertni sistemi so orodje za ohranjanje znanja in posnemajo sposobnost ljudi pri sprejemanju odločitev. Uporabljamo jih v robotiki in v proizvodnji za upravljanje protokolov (Kumar, 2018). V procesih planiranja proizvodnje se uporabljajo na področju planiranja in terminiranja proizvodnje za odločanje o velikosti proizvodne serije in/ali izbiri alternativne izdelave (Toorajipour idr., 2021).

## 3.2 Procesi planiranja proizvodnje

Skupno večini literature je, da planiranje proizvodnje nastopa v štirih procesih planiranja: v procesu strateškega planiranja, (kjer je del tudi strategija proizvodnje), v procesu letnega planiranja, (kjer je del tudi letno planiranje proizvodnih virov), v procesu mesečnega planiranja, (kjer je del poslovnih funkcij prodaje, nabave in proizvodnje) in v procesu mikroplaniranja. Zadnji proces je v grobem lasten le proizvodni funkciji.

### a) Proces strateškega planiranja

Strateško planiranje je večletni proces planiranja in avtorji se strinjajo, da 100-odstotna uporaba umetne inteligence v strateškem planiranju ni najboljša rešitev. Navajajo, da lahko kognitivne tehnologije, kot je umetna inteligenca, zagotovo pomagajo, vendar strateško razmišljanje zlasti zahteva raven smisla in razumevanja sveta, ki presega specifične odločitvene kontekste, česar smo sposobni le ljudje (Jarrahi, 2018). Trenutno potekajo raziskave o tem, kako in v kolikšni meri bo umetna inteligenca vplivala na proces strateškega planiranja z namenom ohranjanja konkurenčnosti organizacije (Keding, 2020). Ljubič (2000) poudarja, da čim dlje v prihodnost gledamo - planiramo, toliko več je možnih nepredvidenih dogodkov. Sklepamo torej, da se uporaba umetne inteligence pri planiranju proizvodnje zmanjšuje z oddaljenostjo planskega horizonta.

### b) Proces osnovnega - letnega planiranja

Tudi pri letnem planiranju proizvodnje ni zaznane pomembne uporabe metod umetne inteligence. Splošno prepričanje managerjev je, da je proces letnega planiranja kompleksna naloga, ki je odvisna od številnih dejavnikov (Kerović, 2024).

Zato se v organizacijah pogosto planira intuitivno in kaotično, brez uporabe naprednih digitalnih tehnologij (Oleinik idr., 2017). Metodi, ki lahko podpirata proces letnega planiranja, sta strojno učenje in mehka logika (González idr., 2019). Uporabni so tudi ekspertni sistemi (Duan, idr., 2019). Raziskovali so njihovo uporabo pri polletnem planiranju ter prišli do zaključka, da so lahko učinkovit pripomoček managerjem.

c) Proces mesečnega planiranja

Mesečno planiranje proizvodnje uporablja dejanska naročila in kratkoročne napovedi kupcev, ter jih primerja z razpoložljivimi proizvodnimi viri v drsnem večmesečnem planskem horizontu. Raziskovalni članki pojasnjujejo, da so ekspertni sistemi uporabni tudi v procesih mesečnega planiranja proizvodnje (Duan idr., 2019).

d) Proces terminiranja

Proces mikroplaniranja je tudi sinonim za kratkoročno terminiranje in razporejanje delovnih operacij po strojih upoštevajoč preteklo in trenutno realizacijo (nadzor proizvodnje). Planski horizont obsega nekaj dni ali tednov. Ko govorimo o procesih mikroplaniranja, so Jiang idr. (2023) raziskovali implementacijo tehnike UI – učenje s krepitvijo. Prišli so do zaključka, da je model stabilen in svojo funkcijo opravlja z zadovoljivo hitrostjo. Ista skupina avtorjev meni, da bo v prihodnosti ta metoda, skupaj z verjetnostnim napovedovanjem, še bolj natančna in bo zmanjšala vpliv negotovosti v procesu mikroplaniranja (Jiang idr., 2023).

### **3.3 Ovire pri implementaciji UI**

Raziskave kažejo, da na splošno obstajajo izzivi, ki ovirajo implementacijo UI. Izpostavljen je strah ljudi nad nekontroliranim dostopom naprednih sistemov do večje količine podatkov in posledično njihova zloraba. Dostop je potreben, če želimo, da sistem napreduje v razvojnem smislu (Quan idr., 2019). Zelo pomemben faktor je velikost podjetja. Pri implementaciji UI v mala in srednje velika podjetja sta prepoznani težavi kibernetiska varnost (ang. Cyber security) in pomanjkanje znanja o digitalnih tehnologijah pri lastnikih in managerjih teh podjetij. Določeni programi (npr. Microsoft Azure) imajo v svoji sestavi že vgrajene tehnike strojnega učenja

(Hansen idr., 2021). Na področju planiranja in odločanja ni zadovoljivega dostopa do podatkov v realnem času (Quan idr., 2019). Bertolini idr. (2021) menijo, da je na splošno implementacija tehnologij UI redka, in trdijo, da bo težko doseči, da bo 100% samostojno opravljala naloge planiranja proizvodnje.

### 3.4 Potencial za uporabo UI v prihodnosti

Gartnerjeva raziskava o možnostih uporabe UI prihaja do zaključka, da bo ta v prihodnosti našla svojo aplikacijo v vseh procesih podjetja. Največji učinek naj bi dosegli z medsebojnim sodelovanjem ljudi in UI (Gartner, 2023.). Druge raziskave kažejo, da bo do leta 2024 70 % podjetij, ki se zanašajo izključno na strojno učenje, porabilo več denarja za podporo UI kot tista, ki uporabljajo več različnih tehnik UI, ker naj bi bile te koristnejše od univerzalnih (Gartner, 2023). UI presega človeka pri obdelavi velikih količin podatkov in v planiranju procesov na podlagi teh obdelav. UI je sposobna analizirati tveganja, trende in negotovosti bolje kot ljudje (Kerović, 2024). V prihodnosti se pričakuje izenačevanje sposobnosti ljudi in UI ter optimiziranje njihovega medsebojnega delovanja (Gartner, 2022.). UI bi lahko nadomestila človeka s samo-učečimi algoritmi, ki temeljijo na izkušnjah, znanju in učenju, in raziskave »prijazno človeku« zaključijo, da jih (še) ne nadomesti, temveč jih naredi boljše (Gartner, 2023).

Po pregledu literature ugotavljamo, da UI v določeni meri pomaga pri planiranju proizvodnje, ne more pa (še) popolnoma nadomestiti človeka, kot so že primeri v drugih proizvodnih procesih, npr. uporaba strojnega učenja pri strojnem vidu za prepoznavanje kakovosti proizvedenih izdelkov.

## 4 Metodološka izhodišča

V prvem delu je bil o cilju raziskave opravljen pregled strokovne in znanstvene literature, povzete iz podatkovnih baz Web of Science, Scopus, Science Direct v obdobju od leta 2017 do 2023. V drugem delu je narejen anketni vprašalnik, sestavljen iz 17 vprašanj (zaprtega tipa), čigar cilj je bil raziskati, kako močno se UI uporablja v proizvodnih podjetjih v procesih planiranja v Sloveniji (vprašalnik se lahko uporabi univerzalno glede na proučevano državo). Ciljna skupina anketnega vprašalnika so bili zaposleni na delovnih mestih, ki sodelujejo v procesih planiranja. Anketni vprašalnik je bil izveden v programu 1KA - spletnem orodju za izdelavo

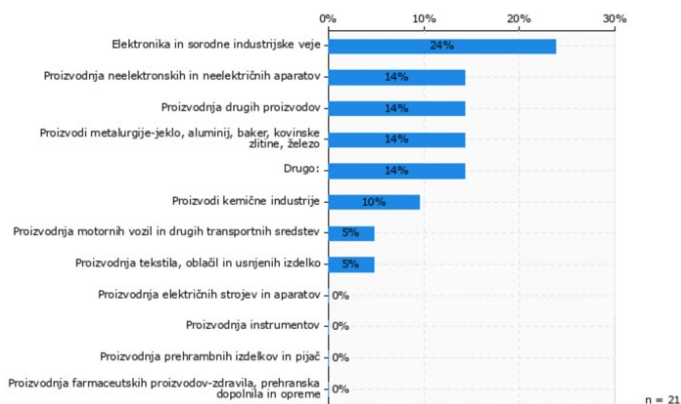
anketnih vprašalnikov. Rezultati raziskave so bili analizirani in obdelani v programu SPSS.

## 5 Rezultati

Anketni vprašalnik je anonimen in izveden med 4. 3. 2024 in 26. 3. 2024. Vprašanja so bila razdeljena v tri sklope. V prvem sklopu smo spraševali o podjetju, delovni dobi anketiranca in ali podjetje uporablja umetno inteligenco pri planiranju proizvodnje. V primeru, da se UI ne uporablja, je v naslednjem delu dobil dva vprašanja o razlogih neuporabe in zaključil anketo. Če je anketiranec odgovoril pritrdilno na to vprašanje, v naslednjem koraku dobi različna vprašanja o stopnji uporabe UI pri planiranju. Analiza podatkov je narejena v programu SPSS 23.0, od opisnih statistik do Hi-kvadrat testa. V nadaljevanju so predstavljene analize rezultatov ankete.

### 5.1 Deskriptivna analiza anketnega vprašalnika v slovenskih podjetjih

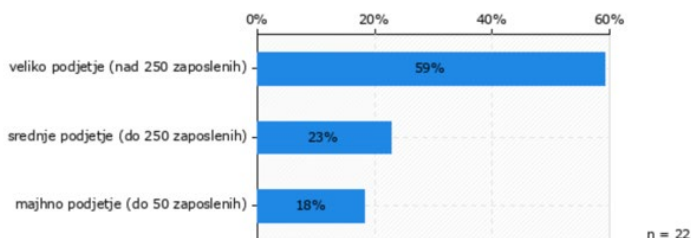
Slika 1 prikazuje stolpični diagram odgovorov na prvo vprašanje o poslovnem področju poslovnega sistema. Največ anketirancev je zaposlenih v poslovnem sistemu, ki deluje v elektroniki in njej sorodni industriji (24%). Opcijo »Drugo« so izbrali trije anketiranci z naslednjimi odgovori: proizvodnja brizganja avtodielov, proizvodnja gum in proizvodnja komponent za avtomobile in industrijske aplikacije.



Slika 1: Primarna industrija anketiranih podjetij

Vir: lasten

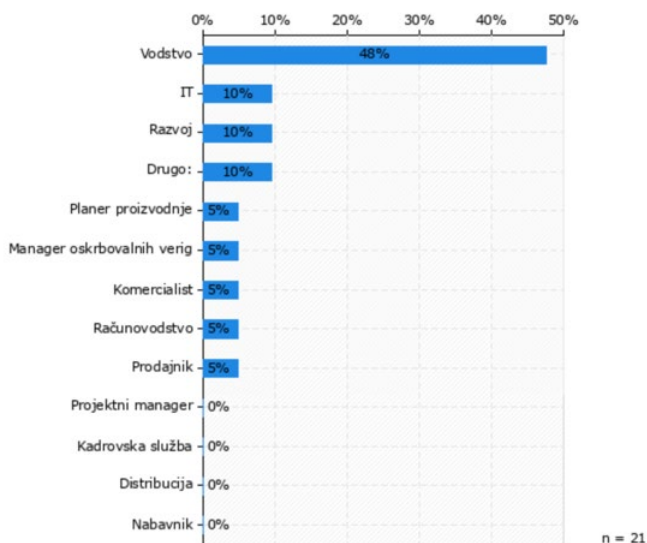
Slika 2 prikazuje odgovore na vprašanje o velikosti podjetja, v katerem je anketiranec zaposlen, in opazno je, da je odgovarjalo največ zaposlenih iz velikih proizvodnih podjetij (nad 250 zaposlenih) - 59% odgovorov.



**Slika 2: Velikost anketiranih podjetij po številu zaposlenih**

Vir: lasten

Največ anketirancev opravlja vodstveno delo (Slika 3), delo v IT sektorju in v razvoju. Dva anketiranca sta izbrala opcijo »Drugo« in opravljata delo: vodja oddelka za planiranje proizvodnje in vodja montaže.

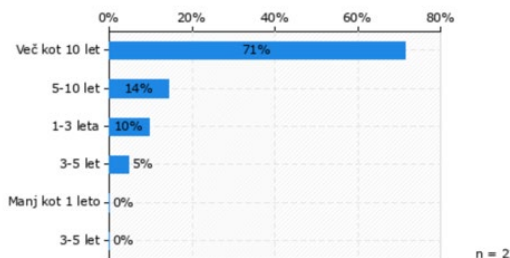


**Slika 3: Funkcije anketiranca v podjetju**

Vir: lasten



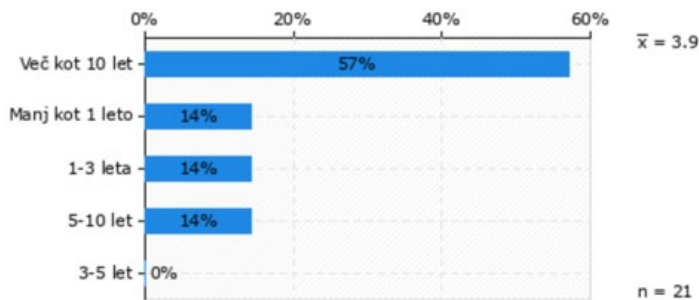
Pri analizi odgovorov na vprašanje o delovnih dobi je opazno, da ima večina anketirancev (71%) delovne dobe več kot 10 let, manjši odstotek (14%) pa predstavljajo delavci s 5 - 10 let izkušenj, 10% anketirancev ima 1 - 3 leta delovne dobe in najmanjši odstotek (5%) ima 3 - 5 let delovne dobe (Slika 4).



Slika 4: Delovna doba anketiranca

Vir: lasten

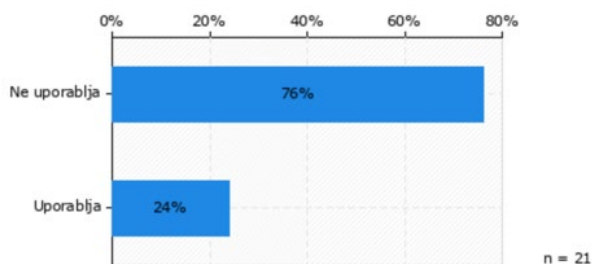
Večina zaposlenih (57%) ima več kot 10 let izkušenj v podjetju, kjer so trenutno zaposleni. To kaže na visoko stabilnost delovne sile. Manjši odstotek zaposlenih (14%) dela manj kot 1 leto, 1 - 3 leta in 5 - 10 let v izbranem podjetju (Slika 5).



Slika 5: Stalnost zaposlitve anketiranca v trenutnem podjetju

Vir: lasten

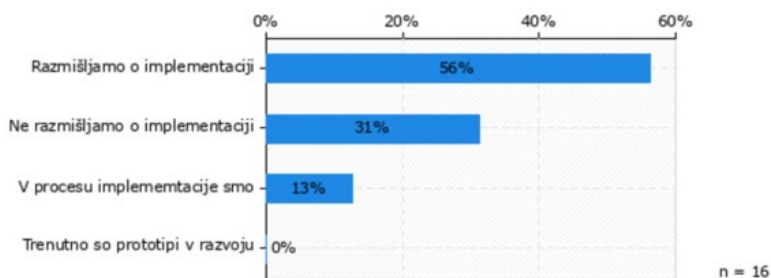
Iz odgovorov na šesto vprašanje je razvidno, da večina podjetij (76%) ne uporablja UI v procesih planiranja proizvodnje. Leta 2024 uporablja UI v procesih planiranja 24% proizvodnih podjetij (Slika 6).



**Slika 6: Uporaba UI v procesih planiranja proizvodnje**

Vir: lasten

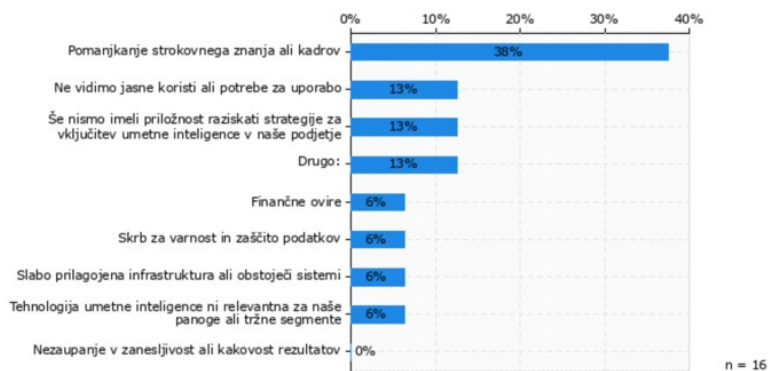
Največji odstotek (56%) podjetij, ki še ne uporabljajo UI v procesih planiranja proizvodnje, razmišlja o implementaciji, ostali so v procesu implementacije (13%), ali sploh ne razmišljajo o njeni uporabi na tem področju (31%) (Slika 7).



**Slika 7: Stopnja implementacije UI v procesih planiranja proizvodnje**

Vir: lasten

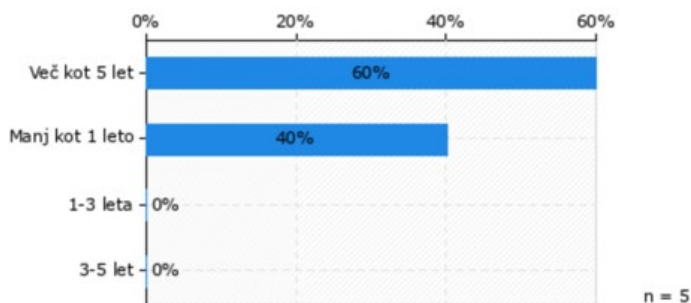
Najpogostejši razlogi za neuporabo UI v procesih planiranja so pomanjkanje strokovnega znanja ali kadrov (38%), ne vidijo jasnih koristi ali potreb za uporabo (13%), niso imeli priložnosti raziskati strategije za vključitev UI v podjetje (13%) (Kerović, 2024). Opcijo »Drugó« sta izbrala 2 anketiranca (13%) z naslednjimi odgovori: pri planiranju ne uporabljajo UI zaradi implementacije drugih principov, implementacija je zaradi kompleksnosti sistemov težavna.



Slika 8: Glavni razlogi ne-uporabe UI v procesih planiranja

Vir: lasten

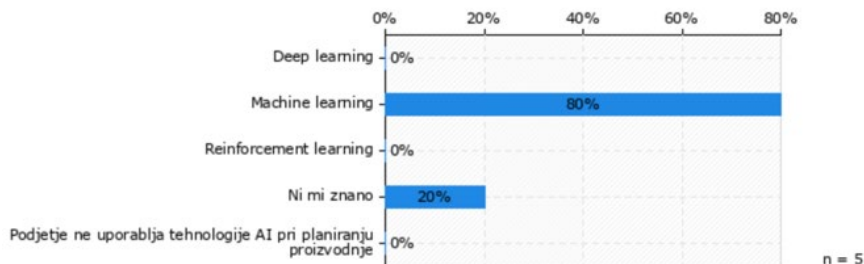
Na drugi strani so podjetja, katera uporabljajo UI, in večina jih UI uporablja že več kot 5 let. Preostali odgovori kažejo, da se UI uporablja manj kot 1 leto (Slika 9).



Slika 9: Čas uporabe UI v podjetjih, ki uporabljajo UI za planiranje proizvodnje

Vir: lasten

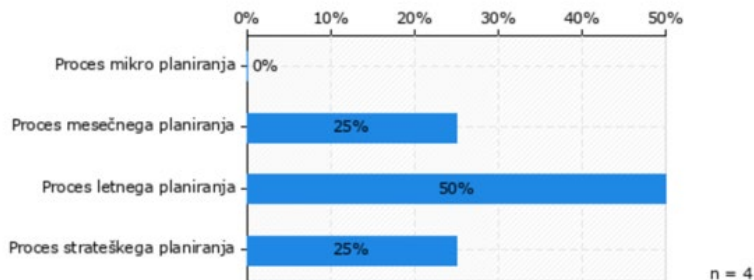
Tehnologija UI, ki se najbolj uporablja pri planiranju proizvodnje, je strojno učenje. 20% anketirancev je odgovorilo, da jim uporabljena tehnologija ni znana (Slika 10).



Slika 10: Tehnologije UI v podjetjih, ki uporabljajo UI

Vir: lasten

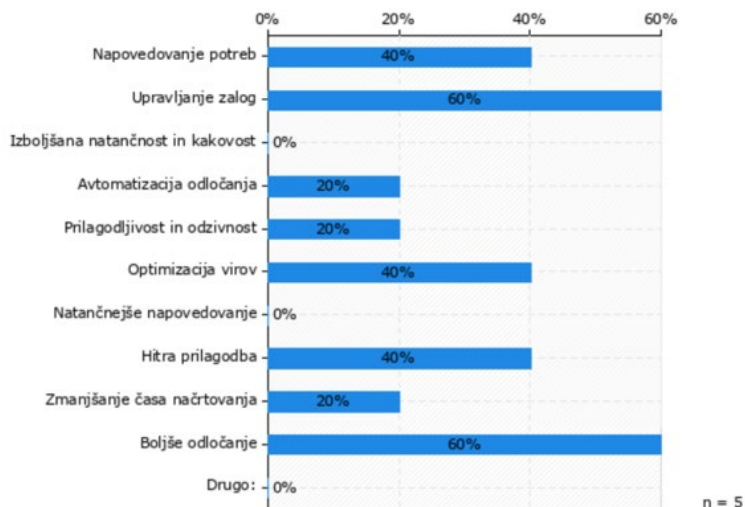
Iz Slike 11 je razvidno, da se UI največ uporablja v procesih letnega planiranja, v manjšem odstotku pa pri procesih mesečnega in strateškega planiranja.



Slika 11: Uporaba UI po vrstah procesov planiranja v podjetjih, ki uporabljajo UI

Vir: lasten

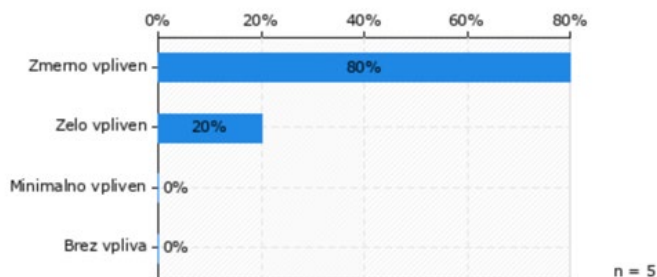
Koristi (Slika 12), ki so jih podjetja pridobila z implementacijo UI v procesih planiranja, so različne: boljše upravljanje zalog, boljše odločanje, napovedovanje potreb, optimizacija virov, hitro prilagajanje na spremembe, zmanjšanje vloženga časa v proces planiranja, avtomatizacija odločanja, prilagodljivost in odzivnost (Kerović, 2024).



Slika 12: Koristi uporabe UI v podjetjih, ki uporabljajo UI

Vir: lasten

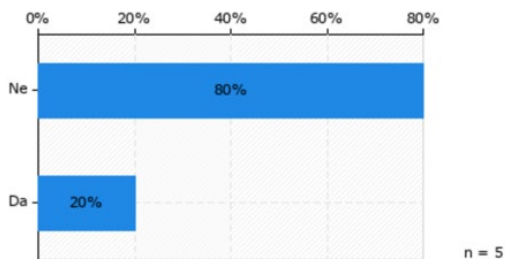
Tehnologije UI v večini primerov (80%) zmerno vplivajo na odločanje v procesih planiranja proizvodnje; ostali anketiranci (20%) pa menijo, da tehnologije UI zelo vplivajo (Slika 13).



Slika 13: Vpliv UI na odločanje v procesih planiranja proizvodnje v podjetjih

Vir: lasten

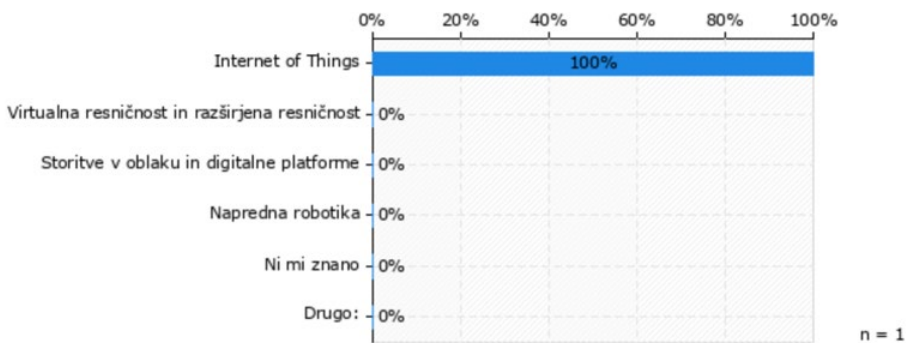
V večini podjetjih UI ni integrirana z drugimi nastajajočimi tehnologijami, kot so IoT in tehnologija veriženja blokov (Slika 14).



Slika 14: Integracija tehnologij UI z drugimi naprednimi tehnologijami

Vir: lasten

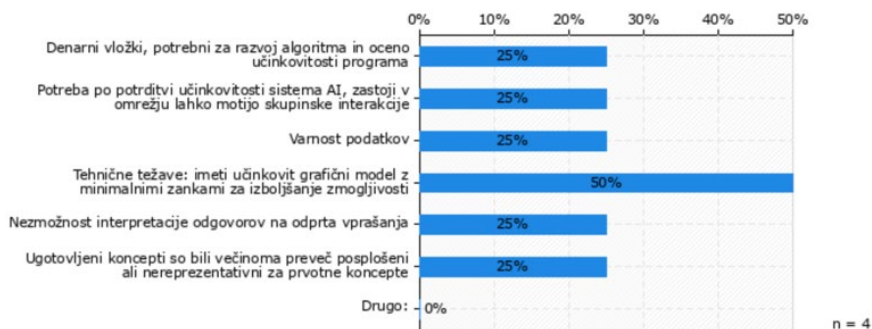
Na vprašanje, s katero drugo tehnologijo je UI integrirana, je odgovoril le en anketiravec, in sicer z tehnologijo IoT (Slika 15).



Slika 15: Tehnologije s katerimi je UI integrirana v podjetju

Vir: lasten

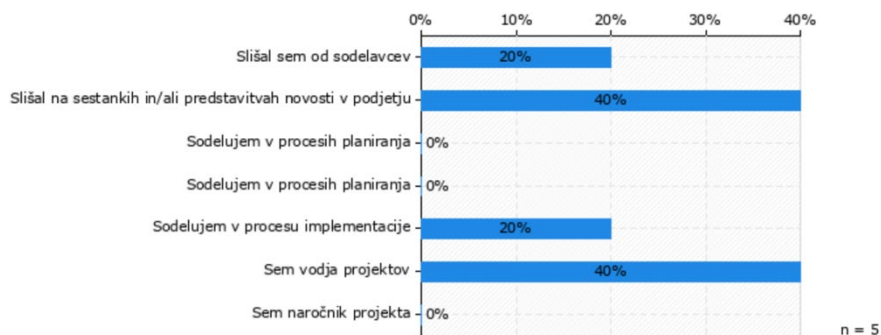
Izzivi (Slika 16), s katerimi so se podjetja soočila pri implementacij tehnologij UI so: tehnične težave, denarni vložki, potreba po potrditvi učinkovitosti sistema umetne inteligence, varnost podatkov, nezmožnost interpretacije odgovorov na odprta vprašanja, prevelika posplošenost ugotovljenih konceptov (Kerović, 2024).



Slika 16: Izzivi pri implementaciji tehnologij UI v podjetjih, ki uporabljajo UI

Vir: lasten

Obstajajo različni načini obveščanja zaposlenih (anketirancev) v poslovnih sistemih o uvajanju novih tehnologij, kot je UI.



Slika 17: Načini seznanjanja z uvajanjem novih tehnologij v podjetje

Vir: lasten

## 5.2 Deskriptivna analiza anketnega vprašalnika v podjetju »Domek«

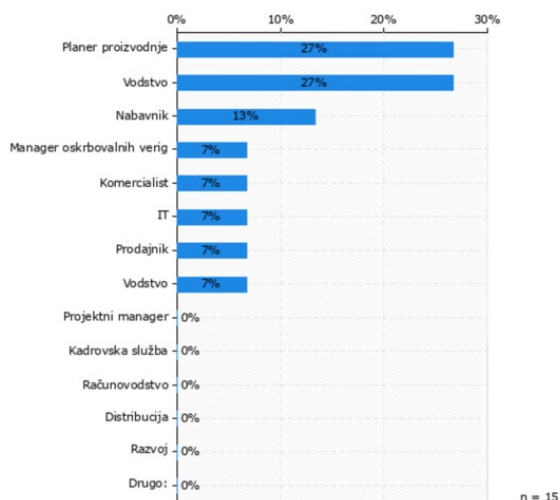
Da bi preverili kvaliteto odgovorov anketirancev v prejšnji anketi, in preverili, ali se lahko zanesljivo sklepa iz odgovora enega zaposlenega na dejansko stanje v podjetju z uporabo UI pri planiranju proizvodnje, smo naredili še ločeno anketo v podjetju »Domek«, ki se ukvarja s proizvodnjo elektro motorjev, sesalnih enot, puhal in komponent, in trenutno zaposluje več kot 1500 zaposlenih ter posluje od leta 1946.

Njihov odgovor ni zabeležen v prvi anketi. Dejansko stanje uporabe UI v podjetju (pravilen odgovor) smo preverili z obiskom v podjetju Domel, kjer smo »v živo« preverili uporabo UI v procesu mikroplaniranja proizvodnje. Odgovor podjetja Domel ni zajet v anketnem vprašalniku v slovenskih podjetjih.

Enak anketni vprašalnik je bil izveden v podjetju Domel in izpolnilo ga je 15 različnih oseb, na različnih funkcijah v podjetju. Zaradi nastavitve vprašalnika v določenih vprašanjih, manjka en odgovor. Anketni vprašalnik je izveden med 26. 2. 2024 in 15. 3. 2024. V nadaljevanju so predstavljeni odgovori na anketni vprašalnik.

Na prvo in drugo vprašanje so vsi anketiranci odgovorili Proizvodnja električnih strojev in aparatov (odgovor na vprašanje o primarnem sektorju podjetja) in veliko podjetje (nad 250 zaposlenih). Torej je konsistentnost odgovorov anketirancev 100%. S preverjanjem v podjetju smo tudi preverili, da sta odgovora pravilna.

Slika 18 prikazuje stolpčni diagram odgovorov na vprašanje o funkciji anketiranca v podjetju; iz diagrama je razvidno, da je večina anketirancev zaposlenih na vodstvenih pozicijah. Ker so odgovori anonimni, ne moremo potrditi, ali so se anketiranci pravilno opredelili.

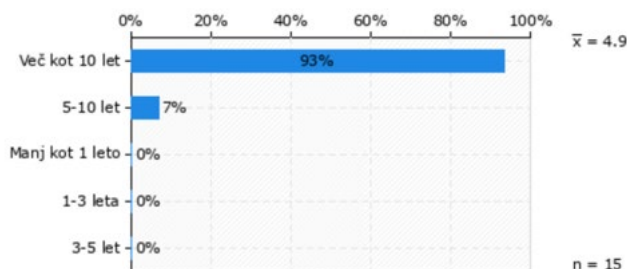


Slika 18: Funkcije anketirancev iz podjetja Domel

Vir: lasten



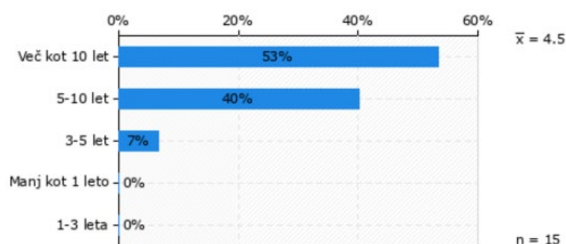
Vsi anketiranci imajo več kot 5 let delovne dobe, od tega ima 1 anketiranec 5 - 10 let delovne dobe, ostali imajo več kot 10 let (Slika 19). Ker so odgovori anonimni, tudi tu ne moremo potrditi, ali so se anketiranci pravilno opredelili.



Slika 19: Delovna doba anketirancev iz podjetja Domel

Vir: lasten

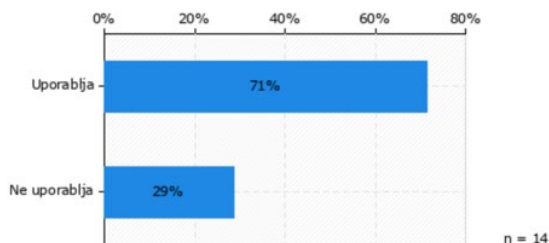
Slika 20 prikazuje stolpčni diagram odgovorov na vprašanje: Koliko časa delajo v podjetju, kjer trenutno delajo. Razvidna je stabilnost in lojalnost pri zaposlenih. Ker so odgovori anonimni, tudi tu ne moremo potrditi, ali so se anketiranci pravilno opredelili.



Slika 20: Čas zaposlitve anketirancev iz podjetja Domel

Vir: lasten

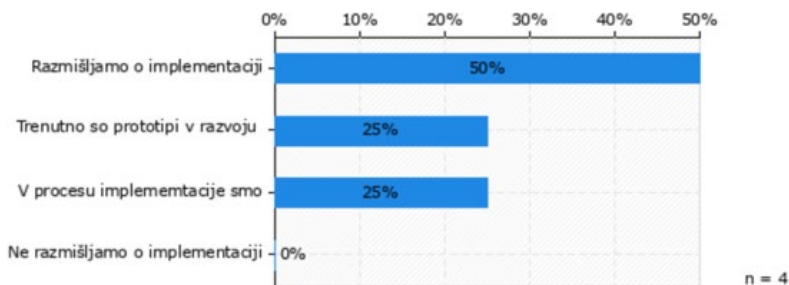
Naslednja slika prikazuje odgovor na vprašanje, ali podjetje uporablja tehnologije UI. S preverjanjem v podjetju smo tudi preverili, da je pravilen odgovor: uporablja. Obstajata dve vrsti odgovorov; do tega je mogoče prišlo zaradi tega, ker nekateri anketiranci v svojem delu ne uporabljajo tehnologije UI. Mogoče je tudi, da niso seznanjeni s celotnim poslovanjem podjetja, v katerem so zaposleni (Slika 21).



**Slika 21: Uporaba UI v procesih planiranja proizvodnje, anketiranci iz podjetja Domel**

Vir: lasten

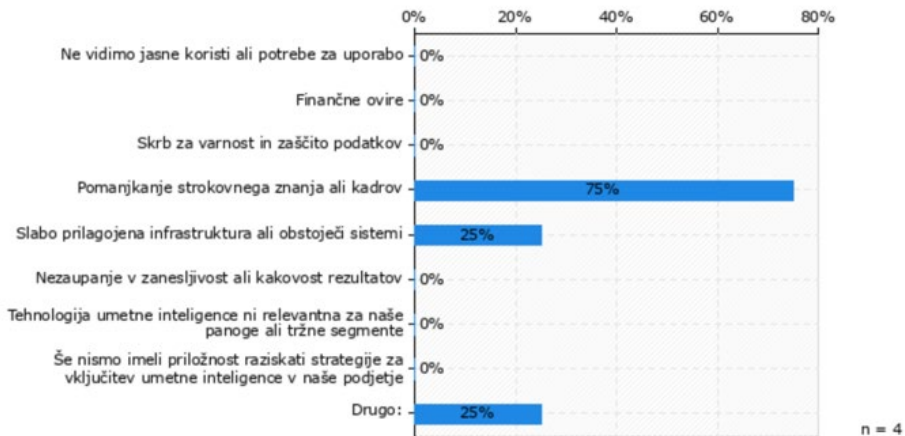
Naslednje vprašanje so dobili le tisti anketiranci, ki so obkrožili »Ne« v prejšnjem vprašanju, torej napačno glede na realno stanje v podjetju. Tukaj je razvidno kako »predvidevajo«, na kateri stopnji je Domel glede implementacije tehnologij UI (Slika 22).



**Slika 22: Anketiranci Domela, ki ne vedo, da Domel uporablja UI**

Vir: lasten

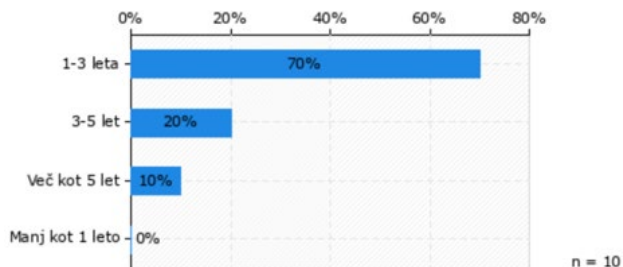
Kar se tiče razlogov za neuporabo tehnologij UI (tudi to vprašanje je bilo postavljeno le tistim anketirancem, ki so obkrožili »Ne« o uporabi UI v podjetju Domel, torej napačno glede na realno stanje v podjetju), je najbolj pogost odgovor »Pomanjkanje strokovnega znanja ali kadrov« (Slika 23). En anketiranec je izbral opcijo »Drugo« in napisal, da je podjetje, v katerem je zaposlen, v fazi uvajanja tehnologij UI.



Slika 23 Anketiranci Domela, ki ne vedo, da Domel uporablja UI, o razlogih zakaj Domel ne uporablja tehnologije UI

Vir: lasten

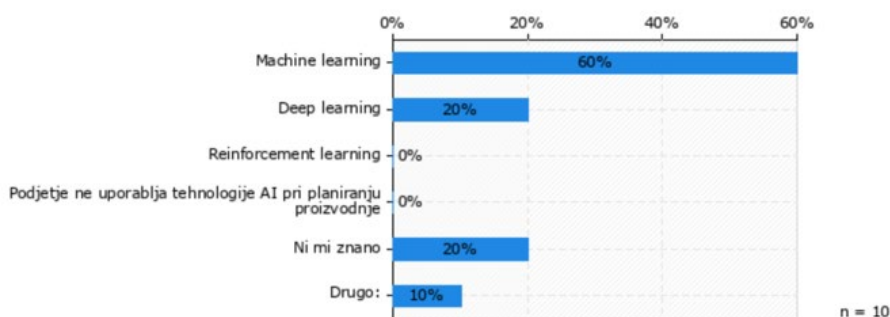
Na vsa naslednja vprašanja so odgovorili le anketiranci Domela, ki so izbrali, »Da« podjetje uporablja UI, kar je pravilen odgovor. Slika 24 prikazuje koliko časa podjetje uporablja tehnologije UI; standardni odklon je 0,7, kar pomeni, da so odgovori zelo koncentrirani okoli 1 (1 - 3 leta). S preverjanjem v podjetju smo tudi preverili, da je ta pravilen odgovor označilo 70% anketirancev. Mogoče je, da so nekateri anketiranci sodelovali tudi že v prejšnjih fazah projekta implementacije UI (priprava projekta, razvoj prototipa, pilotni projekt) in so to interpretirali kot »uporabo«.



Slika 24: Koliko časa Domel uporablja UI

Vir: lasten

Naslednji diagram prikazuje, katere tehnologije UI se uporabljajo v podjetju. Razvidno je, da se največ uporablja strojno učenje (Machine learning), poleg tega globoko učenje (Deep learning). 20% anketirancev ni seznanjenih s tem, katere tehnologije uporablja izbrano podjetje (Slika 25). S preverjanjem v podjetju smo tudi preverili, da je raztros odgovorov pričakovan: podjetje uporablja kot UI orodje Leap (Redek idr., 2023.), pri razvoju katerega je sodelovalo s podjetjem Qlector in ker so razviti algoritmi konkurenčna prednost in poslovna tajnost, je »laično« prepoznano ime uporabljene tehnologije »strojno učenje«.

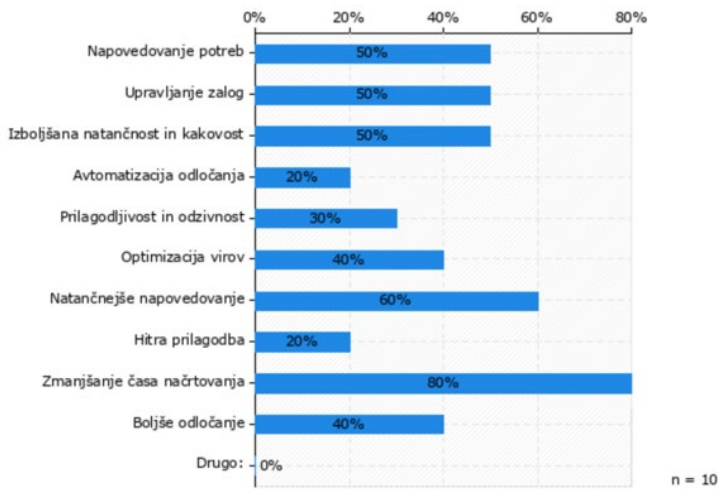


**Slika 25: Mnenje anketirancev Domela o tehnologijah UI, ki jih Domel uporablja**

Vir: lasten

Naslednje vprašanje se nanaša na proces planiranja proizvodnje, v katerem se uporabljajo tehnologije UI. Anketiranci, ki vedo, da se uporablja UI (n=7), so vsi enako in pravilno odgovorili, da se UI uporablja pri procesu mikroplaniranja proizvodnje.

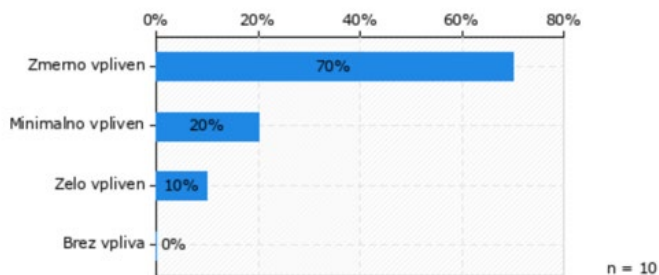
Iz naslednjega diagrama je razvidno, da anketiranci Domela menijo, da je podjetje, z implementacijo tehnologij UI pridobilo veliko različnih tipov koristi (Slika 26). Večina (80 %) se jih je odločila, da je to tudi prihranek pri času dela planerja. Ta odgovor smo preverili v podjetju in je pravilen.



Slika 26: Koristih uporabe tehnologij UI v Domelu pri planiranju proizvodnje

Vir: lasten

Večina anketirancev meni, da tehnologije UI zmerno vplivajo na odločanje v procesih planiranja proizvodnje v Domelu (Slika 27).

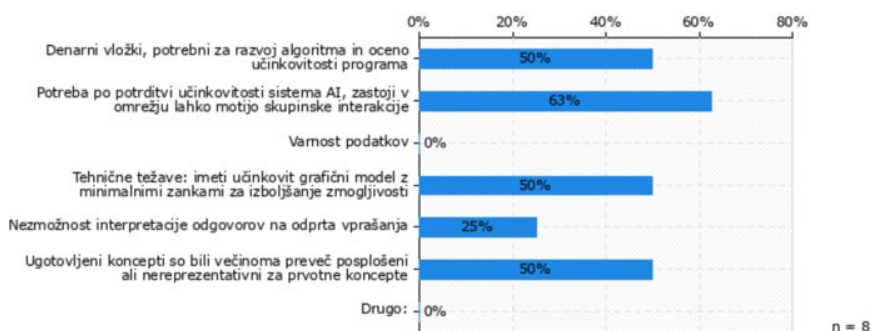


Slika 27: Vpliv UI na odločanje v procesih planiranja podjetja Domel

Vir: lasten

Sledi vprašanje o integraciji tehnologij umetne inteligence z drugimi nastajajočimi tehnologijami (npr. IoT, Blockchain). Vsi anketiranci so odgovorili »Ne«, tako da naslednjega vprašanja niso dobili. Odgovor je po preverjanju v podjetju pravilen.

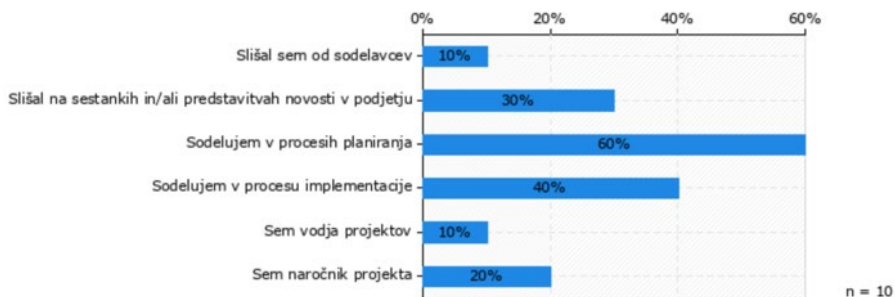
Izzivov pri implementaciji tehnologij UI v Domelu je bilo veliko; najbolj pogost odgovor je »Potreba po potrditvi učinkovitosti sistema umetne inteligence, zastoji v omrežju lahko motijo skupinske reakcije« (Slika 28). Najbolj pogost odgovor ustreza tudi dejanskemu stanju v podjetju, ki ima zaradi tega trenutno v izdelavi kvantitativno analizo kvalitete algoritma strojnega učenja (ali je njegov doprinos statistično pomemben pri mikroplaniranju proizvodnje).



Slika 28: Izzivi podjetja Domel pri implementaciji tehnologij UI

Vir: lasten

Anketiranci so na več načinov seznanjeni z novicami o implementaciji novih tehnologij v podjetje, kamor spada tudi UI za planiranje proizvodnje. Večina je seznanjena, ker sodeluje v procesih planiranja, tako da so direktno seznanjeni z izzivi in koristmi.



Slika 29: Načini seznanjanja z uvajanjem novih tehnologij v Domelu

Vir: lasten

V odgovorih anketirancev Domela se pojavlja nekaj zanimivih razlikovanj. Glede na to, da so vsi anketiranci zaposleni v istem podjetju, sklepamo, da bi tudi vsi morali enako odgovoriti. Interpretacije ujemanj in neujemanj v odgovorih anketirancev Domela smo podali že sproti, izpostavljamo razlike v odgovorih na zadnje vprašanje o seznanjenosti zaposlenih z novicami glede tehnologij UI. Sklepamo lahko, da če podjetje nima dobro razvitega sistema za prenos notranjih informacij o novostih v poslovanju med zaposlenimi, potem je tvegano sklepati na podlagi enega anketiranca iz podjetja o dejanskem stanju v podjetju (Kerović, 2024). Iz te ugotovitve Domela lahko sklepamo, s kolikšnim zaupanjem lahko interpretiramo odgovore iz glavne ankete o uporabi UI v procesih planiranja v slovenskih podjetjih.

### 5.3 Analiza raziskovalnih vprašanj

Omeniti je treba, da je podatkov za zanesljivo statistično analizo premalo, a smo jo kljub temu izpeljali do konca.

Raziskovalno vprašanje 1: Ali velikost podjetja vpliva na uporabo UI pri planiranju proizvodnje?

Za odgovor na raziskovalno vprašanje potrebujemo odgovore na vprašanja o velikosti podjetja po številu zaposlenih in uporabi/neuporabi UI v procesih planiranja, kjer se planira tudi proizvodnja. Odgovor na raziskovalno vprašanje dobimo s pomočjo hi-kvadrat testa za neodvisnost.

Tabela 2: Hi-kvadrat test

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	1.890 <sup>a</sup>	2	.389
Likelihood Ratio	2.772	2	.250
Linear-by-Linear Association	1.779	1	.182
N of Valid Cases	21		

a. 5 cells (83.3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .95.

Vir: lasten

Sklepamo da p-vrednost  $\chi^2$  testa je enaka 0,389 > 0,05 ( $\chi^2 = 1,890$ ), kar pomeni, da velikost podjetja statistično pomembno ne vpliva na uporabo UI pri planiranju proizvodnje.

Raziskovalno vprašanje 2: Ali je uporaba tehnologij UI pri planiranju proizvodnje odvisna/povezana z industrijsko panogo podjetja?

Za odgovor na to raziskovalno vprašanje bomo ponovno uporabili hi-kvadrat test neodvisnosti. Iz Tabele 3 je razvidno da je Pearsonov hi-kvadrat 2,809 in da p-vrednost znaša 0,902. Ker je  $p > 0,05$ , sledi, da sta spremenljivki neodvisni, oziroma ni statistično pomembne povezave med uporabo tehnologij UI in industrijsko panogo podjetja.

**Tabela 3: Hi-kvadrat test**

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	2.809 <sup>a</sup>	7	.902
Likelihood Ratio	3.819	7	.800
Linear-by-Linear Association	.144	1	.704
N of Valid Cases	21		
a. 16 cells (100.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .24.			

Vir: lasten

Raziskovalno vprašanje 3: Kateri razlogi najpogosteje vplivajo na odločitev podjetij za neuporabo tehnologij UI v svojem poslovanju?

Za odgovor na tretje raziskovalno vprašanje je uporabljeno anketno vprašanje o glavnih razlogih, zakaj podjetje ne uporablja tehnologije UI v svojem poslovanju. V tabeli spodaj so razvidni statistični podatki: ustreznih odgovorov je 16 (pet jih manjka). Razvidno je, da je najpogostejši odgovor četrti v vrsti (Pomanjkanje strokovnega znanja ali kadrov) označilo 37,5% anketirancev.



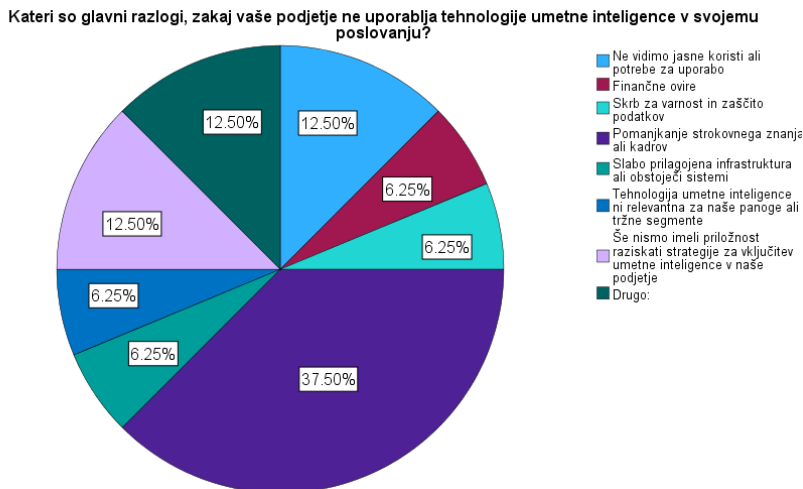
Tabela 4: Deskriptivna analiza odgovorov na vprašanje o glavnih razlogih za neuporabo UI

**Kateri so glavni razlogi, zakaj vaše podjetje ne uporablja tehnologije umetne inteligence v svojem poslovanju?**

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Ne vidimo jasne koristi ali potrebe za uporabo	2	9.5	12.5	12.5
	Finančne ovire	1	4.8	6.3	18.8
	Skrb za varnost in zaščito podatkov	1	4.8	6.3	25.0
	Pomanjkanje strokovnega znanja ali kadrov	6	28.6	37.5	62.5
	Slabo prilagojena infrastruktura ali obstoječi sistemi	1	4.8	6.3	68.8
	Tehnologija umetne inteligence ni relevantna za naše panoge ali tržne segmente	1	4.8	6.3	75.0
	Še nismo imeli priložnost raziskati strategije za vključitev umetne inteligence v naše podjetje	2	9.5	12.5	87.5
	Drugo:	2	9.5	12.5	100.0
	Total	16	76.2	100.0	
Missing	Preskok (if)	5	23.8		
Total		21	100.0		

Vir: lasten

Krožni diagram prikazuje odgovore in njihov medsebojni odnos.



Slika 30: Krožni diagram odgovorov na vprašanje o glavnih razlogih za neuporabo UI

Vir: lasten

Raziskovalno vprašanje 4: Kakšne koristi podjetje dobi z uporabo UI pri planiranju proizvodnje?

Tu smo naredili analizo frekvenc; Tabela 5 prikazuje tabelo frekvenc, iz katere je razvidno, da je pet anketirancev odgovorilo na vprašanje. Med njimi so po trije anketiranci (60 % uporabnikov UI) kot odgovor navedli upravljanje zalog in boljše odločanje. Po dva anketiranca sta odgovorila optimizacija virov, hitro prilagajanje in napovedovanje potreb, medtem ko je samo en anketiranec izbral koristi, ki se odražajo v avtomatizaciji odločanja, prilagodljivosti in odzivnosti in zmanjšanju časa odločanja (Kerović, 2024).

**Tabela 5: Deskriptivna analiza odgovorov na vprašanje o koristih uporabe tehnologij UI**

	Case Summary					
	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
\$Koristi <sup>a</sup>	5	23.8%	16	76.2%	21	100.0%

a. Dichotomy group tabulated at value 1.

#### \$Koristi Frequencies

	Responses	Percent of Cases	
		N	Percent
13 <sup>a</sup> Kakšne koristi je vaše podje: Napovedovanje potreb	2	13.3%	40.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Upravljanje zalog	3	20.0%	60.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Avtomatizacija odločanja	1	6.7%	20.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Prilagodljivost in odzivnost	1	6.7%	20.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Optimizacija virov	2	13.3%	40.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Hitra prilagodba	2	13.3%	40.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Zmanjšanje časa načrtovanja	1	6.7%	20.0%
Kakšne koristi je vaše podje: Boljše odločanje	3	20.0%	60.0%
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>100.0%</b>	<b>300.0%</b>

Vir: lasten

## 6 Diskusija in zaključek

Cilj raziskave je bil ugotoviti kako in v katerih procesih planiranja proizvodnje se uporablja UI leta 2024 v slovenskih proizvodnih podjetjih. Za sodelovanje v raziskavi smo pridobili 21 podjetij, ki so ustrezno izpolnila anketo. Anketni vprašalnik je sestavljen na podlagi pregleda najnovejših raziskav (Kerović, 2024). Postavljena so štiri raziskovalna vprašanja. Podatki so obdelani s pomočjo spletnega orodja za izdelavo anket »Ika« in programa »SPSS«. Uporabljena je statistična obdelava podatkov in hi-kvadrat test v programu »SPSS«. S Hi-kvadrat testom smo prišli do naslednjih rezultatov: ne obstaja značilna povezava med velikostjo podjetja in uporabo ali neuporabo tehnologij UI v poslovanju proizvodnega podjetja, ne obstaja značilna povezava med uporabo tehnologij UI v poslovanju proizvodnega podjetja in industrijsko panogo. Za preostali dve raziskovalni vprašanji smo uporabili deskriptivno statistiko.

Izpostavljamo slabo odzivnost anketirancev, zaradi česar je vzorec ( $n=21$ ) majhen, vendar je narejena dodatna anketa v podjetju Domel. Anketa iz podjetja Domel je analizirana in dobljeni rezultati so primerjani z anketo, narejeno v slovenskih podjetjih, da bi lahko sklepali o resničnosti odgovorov malega vzorca.

V primeru glavne ankete je več kot pol anketirancev zaposlenih v velikem podjetju in največji odstotek anketirancev je zaposlenih v podjetju, ki se ukvarja s proizvodnjo elektronskih proizvodov, preostali so zaposleni v podjetjih, ki se ukvarjajo s proizvodnjo ne-električnih in ne-elektronskih aparatov, proizvodov metalurgije, proizvodov kemične industrije, proizvodov tekstilne industrije, motornih vozil, drugih proizvodov (Kerović, 2024). Iz tega je razvidno, da so anketni vprašalnik reševali anketiranci iz različnih industrijskih panog. Glede njihove delovne pozicije v podjetju je največji odstotek anketirancev vodij oddelkov (40%) in imajo več kot 10 let delovne dobe (70%). Velik odstotek (57%) dela več kot 10 let v podjetju. Od 21 anketirancev jih je 16 odgovorilo, da njihovo podjetje ne uporablja UI, ampak večina od tistih, ki je ne uporabljajo (56%), razmišlja o implementaciji. Kot glavni razlog za neuporabo UI so navedli pomanjkanje strokovnega znanja ali kadrov. Na drugi strani je pet podjetij, katera uporabljajo UI, štiri jo uporabljajo več kot 5 let in eno podjetje, katero jo uporablja manj kot 1. 80% od teh jih uporablja tehnologijo strojnega učenja. Tehnologije UI se uporabljajo v vseh procesih planiranja proizvodnje (vključujoč odgovore podjetja Domel). Najpogostejše koristi uporabe

UI so: boljše vodenje zalog, upravljanje zalog, boljše odločanje, napovedovanje potreb, optimizacija virov, sposobnost hitrega prilagajanja. Večina meni, da UI zmerno vpliva na odločanje v procesih planiranja proizvodnje. V večini primerov UI ni integrirana z drugimi nastajajočimi tehnologijami, v enem primeru je integrirana z Internet of Things (Kerović, 2024). Priložnosti za integracijo UI z drugimi tehnologijami je veliko in integracija ponuja veliko priložnosti, ampak se podjetja niso odločila za ta korak. Najpogostejši izziv z implementacijo UI so tehnične težave. Ta odgovor je lahko povezan z odgovorom, da zaradi pomanjkanja strokovnega znanja podjetja ne uporabljajo UI. Iz ankete je razvidno, da tudi anketirana velika podjetja v Sloveniji ne uporabljajo UI. Zadnje vprašanje anketnega vprašalnika se nanaša na seznanjenost anketirancev o projektih umetne inteligence, večina jih je slišala na sestankih in/ali predstavitvah o novostih v podjetju.

Na podlagi raziskave ugotavljamo, da bodo podjetja v Sloveniji glede na leto 2024 morala začeti več vlagati v izobraževanje zaposlenih o uporabnosti UI v procesih planiranja proizvodnje (Kerović, 2024). S tem bodo povečala znanje in razumevanje zaposlenih ter zmanjšala odpor in strah pred implementacijo UI. Bistveno je, da podjetja definirajo jasne in vsem razumljive strategije za implementacijo UI. V okviru strategij je potrebno narediti analizo potreb, določitev ciljev in načrtovanje postopne implementacije. Jasna strategija bo zaposlenim dala smernice in povečala verjetnost uspešne integracije. Bistven element uspešnosti implementacije je spodbujanje sodelovanja med posameznimi funkcijskimi področji, zlasti med IT in funkcijskimi enotami. Sodelovanje vsekakor olajša reševanje tehničnih težav in omogoči boljše razumevanje potreb poslovanja, kar vodi v bolj učinkovito uporabo UI tudi na področju planiranja proizvodnje.

## Literatura

- Arinez, J. F., Chang, Q., Gao, R. X., Xu, C., & Zhang, J. (2020). Artificial intelligence in advanced manufacturing: Current status and future outlook. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11). <https://doi.org/10.1115/1.4047855>
- Bertolini, M., Mezzogori, D., Neroni, M., & Zammori, F. (2021). Machine Learning for Industrial Applications: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 175, 114820. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114820>
- Bueno, A., Godinho Filho, M., & Frank, A. G. (2020). Smart production planning and control in the industry 4.0 context: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106774. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106774>
- Busch, M., Schuh, G., Kelzenberg, C., & de Lange, J. (2019). Short paper: Development of production planning and control through the empowerment of Artificial Intelligence. 2019

- Second International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I)*.  
<https://doi.org/10.1109/ai4i46381.2019.00037>
- Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., & Leimeister, J. M. (2019). Hybrid intelligence. *Business & Information Systems Engineering*, 61(5), 637–643. <https://doi.org/10.1007/s12599-019-00595-2>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Fu, Y., Hou, Y., Wang, Z., Wu, X., Gao, K., & Wang, L. (2021). Distributed scheduling problems in Intelligent Manufacturing Systems. *Tsinghua Science and Technology*, 26(5), 625–645. <https://doi.org/10.26599/tst.2021.9010009>
- IBM Corp. (2022). IBM SPSS Statistics (Version 29.0.1.0) [Statistical software; macOS]. IBM Corp.
- Ivanov, D., Tang, C. S., Dolgui, A., Battini, D., & Das, A. (2020). Researchers' perspectives on industry 4.0: Multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2055–2078. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1798035>
- 1KA (Verzija 23.06.20) [programska oprema]. (2023). Ljubljana: Fakulteta za družbene vede. Dostopno na: <https://www.1ka.si>
- Hansen, E. B., & Bogh, S. (2021). Artificial intelligence and Internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.009>
- Helen, P. (3.3.2022). Workforce Planning — How to Use Technology to Support Planning Processes <https://www.gartner.com/document/4012061?ref=solrAll&refval=384242810&>
- Jiang, W., Liu, Y., Fang, G., & Ding, Z. (2023). Research on short-term optimal scheduling of Hydro-Wind-solar multi-energy power system based on Deep Reinforcement Learning. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135704>
- Ljubič, T. (2000). Planiranje in vodenje proizvodnje. Univerza v Mariboru-Fakulteta za Organizacijske vede.
- Kang, Z., Catal, C., & Tekinerdogan, B. (2020). Machine learning applications in production lines: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106773. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106773>
- Kerović, J. (2024) *Vključenost tehnologij umetne inteligence v procese planiranja proizvodnje* [Diplomsko delo]. Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede.
- Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18, 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.09.002>
- Leo Kumar, S. P. (2018). Knowledge-based expert system in manufacturing planning: State-of-the-art review. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 4766–4790. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424372>
- Leo Kumar, S. P. (2017). State of the art-intense review on Artificial Intelligence Systems Application in process planning and manufacturing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 294–329. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.08.005>
- Li, Bh., Hou, Bc., Yu, Wt. *et al.* Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. *Frontiers Inf Technol Electronic Eng* 18, 86–96 (2017). <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601885>
- Linden A., Choudhary F. (10.1.2023). Uncovering Artificial Intelligence Business Opportunities in Over 20 Industries and Business Domains <https://www.gartner.com/document/4000992?ref=solrAll&refval=384241775&>
- Liu, B., Xu, W., Liu, J., Yao, B., Zhou, Z., & Pham, D. T. (2019). Human-robot collaboration for disassembly line balancing problem in Remanufacturing. *Volume 1: Additive Manufacturing; Manufacturing Equipment and Systems; Bio and Sustainable Manufacturing*. <https://doi.org/10.1115/msec2019-2919>

- Marzia, S., Alejandro Vital-Soto, & Azab, A. (2023). Automated Process Planning and dynamic scheduling for Smart Manufacturing: A Systematic Literature Review. *Manufacturing Letters*, 35, 861–872. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.07.013>
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2017). The industrial management of smes in the era of industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Möhring, H., Wiederkehr, P., Erkorkmaz, K., & Kakinuma, Y. (2020). Self-optimizing machining systems. *CIRP Annals*, 69(2), 740–763. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.007>
- Redek, T., Komar, M., & Muren, P. D. The use of artificial intelligence in Slovenian companies: main facts and research agenda. *Beyond Bits and Algorithms*, 2023.
- Rossit, D. A., Tohmé, F., & Frutos, M. (2018). Industry 4.0: Smart scheduling. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3802–3813. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1504248>
- Sallam, R., Ramos L., Miclaus, R., Mullen A (17.8.2023.). Research Roundup: Realizing Value From Artificial Intelligence (AI). <https://www.gartner.com/document/4643999?ref=solrAll&refval=384242703&>
- Statistični urad Republike Slovenije (2024). Dostopno na: <https://www.stat.si/statweb>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- Usuga Cadavid, J.P., Lamouri, S., Grabot, B. *et al.* Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. *J Intell Manuf* 31, 1531–1558 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01531-7>
- Xiao, Y., Zheng, S., Shi, J., Du, X., & Hong, J. (2023). Knowledge graph-based manufacturing process planning: A state-of-the-art review. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 417–435. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.006>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yang, T., Yi, X., Lu, S., Johansson, K. H., & Chai, T. (2021). Intelligent manufacturing for the process industry driven by industrial artificial intelligence. *Engineering*, 7(9), 1224–1230. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.04.023>
- Yan, B., Brethenoux, E., Fang, M., Hamer, P. (26.9.2023.) Go Beyond Machine Learning and Leverage Other AI Approaches. <https://www.gartner.com/document/4014117?ref=solrAll&refval=384241775&>
- Zeba, G., Dabić, M., Čičak, M., Daim, T., & Yalcin, H. (2021). Technology mining: Artificial intelligence in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120971. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120971>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2020). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the context of industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015>

# MODEL POSLOVNEGA SISTEMA KOT OSNOVA ZA VZPOSTAVITEV DIGITALNEGA DVOJČKA

TIMOTEJ HOČEVAR, EVA KRHAČ ANDRAŠEC,  
TOMAŽ KERN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
timotej.hocevar@student.um.si, eva.krhac1@um.si, tomaz.kern@um.si

V raziskavi smo naslovili problematiko razumevanja delovanja poslovnih sistemov in obvladovanja sprememb v poslovnih sistemih. Pri tem smo se osredotočili na izzive razumevanja in obvladovanja poslovnih procesov v realnem času. V teoretičnem delu raziskave smo ugotovili, da je ena od tehnologij, ki omogočajo razumevanje in obvladovanje poslovnih procesov v realnem času, tudi t.i. digitalni dvojček (»digital twin«). Zanimalo nas je, ali je mogoče uporabiti že oblikovan poslovni repozitorij izbranega poslovnega sistema kot osnovo za oblikovanje digitalnega dvojčka. Zanimalo nas je, katere dodatne tehnologije so potrebne za oblikovanje in uporabo digitalnega dvojčka in katere ključne indikatorje učinkovitosti procesa je smiselno spremljati med uporabo. Nazadnje nas je zanimalo, koliko napora in časa je potrebno za oblikovanje digitalnega dvojčka in kje uporabnik naleti na ovire. Ugotovili smo, da je uporaba digitalnih dvojčkov obetavna, vendar je razvoj še v začetnih fazah. Potrebne bodo nadaljnje raziskave in aplikativni razvoj, da bo tehnologija primerna za široko uporabo v poslovnem okolju.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.2](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.2)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
model poslovnega sistema,  
digitalni dvojček,  
digitalna transformacija,  
prenova poslovnih  
procesov,  
živi laboratorij



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.2](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.2)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**  
business system model,  
digital twin,  
digital transformation,  
reengineering of business  
processes,  
living laboratory

# A BUSINESS SYSTEM MODEL AS A BASIS FOR THE ESTABLISHMENT OF A DIGITAL TWIN

TIMOTEJ HOČEVAR, EVA KRHAČ ANDRAŠEC,  
TOMAŽ KERN

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[timotej.hocevar@student.um.si](mailto:timotej.hocevar@student.um.si), [eva.krhac1@um.si](mailto:eva.krhac1@um.si), [tomaz.kern@um.si](mailto:tomaz.kern@um.si)

In the research, we addressed the problem of understanding the functioning of business systems and managing changes in business systems. We focused on the challenges of understanding and managing business processes in real-time. In the theoretical part of the research, we found that one of the technologies that enable the understanding and control of business processes in real-time is the so-called digital twin. We were interested in whether it is possible to use the already created business repository of the selected business system as a basis for creating a digital twin. We were interested in which additional technologies are needed to design and use a digital twin and which key process indicators make sense to monitor during use. Finally, we were interested in how much effort and time is required to create a digital twin and where the user encounters obstacles. We found that using digital twins is promising, but development is still in its early stages. Further research and application development will be required to make the technology suitable for widespread use in a business environment.





## 1 Uvod

V današnjem hitro spreminjajočem se poslovnem okolju, kjer tehnološki napredek nenehno postavlja nove izzive, podjetja iščejo inovativne načine za optimizacijo poslovnih procesov (Urh in Kern, 2014; Kerremans, 2023). Hkrati se povečujejo zahteve strank po večji prilagodljivosti, transparentnosti in hitrejšem odzivu na njihove potrebe. V tem kontekstu se osredotočamo na preučevanje implementacije digitalnih dvojčkov v poslovnem sistemu, pri čemer si prizadevamo raziskati, kako lahko ta tehnološka rešitev izpolni pričakovanja podjetij v danem poslovnem sektorju. Digitalni dvojček predstavlja digitalno različico poslovnega sistema v realnem času. Povezave med fizičnim in digitalnim sistemom so podatki, ki prehajajo iz fizičnega v digitalni sistem in informacije, ki so na voljo iz digitalnega sistema v fizično okolje (Piascik idr., 2010 v Kovačič, 2021). Implementacija digitalnih dvojčkov je postala ena od ključnih strategij, ki omogoča podjetjem boljše razumevanje in obvladovanje njihovega delovanja. Ob naraščajoči pobudi za digitalno transformacijo se poslovni sistemi soočajo s težko odločitvijo glede izbire in implementacije digitalnih dvojčkov, ki so posledica številnih vzajemno povezanih operacij, procesov in sistemov (Kerremans, 2023). Digitalni dvojčki predstavljajo kompleksne sisteme, kar pomeni, da za njihovo ustrezno vzpostavitev zahtevajo znatna sredstva in čas, kar posledično naredi njihovo uporabo manj primerno za vse poslovne sisteme. Kljub temu pa so nesporno koristni ob digitalni transformaciji, saj prinašajo številne prednosti, kot sta npr. prilagodljivost in sposobnost napovedovanja.

Glavni namen raziskave je preučiti možnost vzpostavitve digitalnega dvojčka na primeru Laboratorija za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov (LIPPS) na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru. Za doseglo namena je najprej oblikovan poslovni repozitorij laboratorija v orodju ARIS (Software AG, 2023). Nato je raziskana možnost vzpostavitve digitalnega dvojčka v izbranem orodju.

V naslednjem poglavju so opisana in obrazložena metodološka izhodišča raziskave. Sledi izvleček aktualne literature iz obvladovanja poslovnih procesov ter oblikovanja digitalnih dvojčkov. Opisan je tudi ustroj laboratorija IPPS, ki služi kot osnova aplikativnega dela raziskave. V rezultatih je predstavljen repozitorij laboratorija in oblikovanje digitalnega dvojčka. Raziskava je zaključena z diskusijo na osnovi pridobljenih rezultatov.

## 2 Metodološka izhodišča

V raziskavi je opravljen pregled dostopne literature iz znanstvenih in strokovnih multidisciplinarnih zbirk s področja prenove poslovnih procesov, digitalne preobrazbe in oblikovanja digitalnih dvojčkov. Na podlagi teoretičnega pregleda je oblikovan koncept in postavljen temelj za aplikativni del raziskave. Oboje skupaj služi kot trdna podlaga za utemeljitev naših ugotovitev.

V prvem delu raziskave se osredotočamo na uporabo ARIS platforme za modeliranje, ki predstavlja napredno orodje za oblikovanje in analizo poslovnih procesov. V letu 1992 je bilo prvič predstavljeno orodje ARIS kot inovativna platforma, ki je napovedala vzpon odličnosti v obvladovanju poslovnih procesov (Software AG, 2023). Podjetje Software AG s svojo ARIS družino izdelkov združuje poslovne vidike z informacijsko tehnologijo, prevzemajoč vodilno vlogo na trgu analize poslovnih procesov. Tako podjetjem omogoča boljše razumevanje in optimizacijo procesov, s čimer uspešno prispeva k preoblikovanju njihovih poslovnih modelov (Software AG, 2022). V okviru raziskave je posodobljen repositorij laboratorija LIPPS z modelom organizacijske strukture (OC model), ter registrom sporočil in procesnim modelom (VAD model), ki je za izbrane procese razgrajen do nivoja aktivnosti v procesu (EPC modeli). EPC modeli vključujejo sosledje aktivnosti, ki se aktivirajo ob posameznih dogodkih. Za modeliranje so uporabljeni štirje osnovni objekti: organizacijski objekti, objekti procesnega toka, dodatni objekti in povezave. Poslovni proces je opisan s kombinacijo dogodkov in aktivnosti (Zajec, 2018). Tehnika EPC vključuje tri poglede: pogled aktivnosti, pogled podatkov in pogled organizacije (Krhač Andrašec, 2022). Osnovni gradniki modela EPC so (Kovač in Vukšić, 2005):

- Izvajanje aktivnosti v poslovnem procesu povzroča dogodka ali pa do njih pride med izvajanjem;
- Aktivnost v poslovnem procesu predstavlja dejavno komponento, ki uporablja vire in kjer se ustvarja dodana vrednost;
- Kontrolni tok ali tok delovnega procesa predstavljajo povezave med objekti, ki jasno označujejo potek ali zaporedje izvajanja aktivnosti;
- Logični operatorji označujejo točke, kjer se kontrolni tokovi razcepljajo ali združujejo;

- Izvajalci (delovna mesta in delovne vloge) opravljajo aktivnosti ter so odgovorni za njihovo izvedbo;
- Informacijski objekti vključujejo sporočila (dokumente v različnih oblikah in zbirke podatkov).

V raziskavi je uporabljena metoda PERT (angl. Program Evaluation and Review Technique), ki predstavlja metodo evalvacije in ocene programa. Metoda PERT je bila razvita v drugi polovici 20. stoletja in je prvotno namenjena ameriški vojni mornarici. Je statistična metoda, ki uporablja stohastični pogled na trajanja posameznih aktivnostih. Metoda PERT za izračun pričakovanega trajanja uporablja tri ocene trajanja aktivnosti (Zajec, 2018): najverjetnejša, optimistična in pesimistična. Metoda deluje z jasno opredeljenimi cilji in aktivnostmi ter upošteva verjetna območja trajanja posameznih aktivnosti. V okviru raziskave je metoda uporabljena za analizo časa in sredstev ter predstavlja temelj za oceno potrebnih sredstev za oblikovanje poslovnega sistema.

### 3 Teoretična izhodišča

#### 3.1 Management poslovnih procesov

Uspešno obvladovanje poslovnega sistema zahteva posvečanje pozornosti različnim dejavnikom. Glavni dejavniki so strateško načrtovanje, postavljanje ciljev, usposabljanje in razvoj zaposlenih v podjetju, trženje in gradnja blagovne znamke, obvladovanje dobavne verige in obvladovanje tveganj (Peng in Bao, 2023). To zahteva sistematični pristop, ki se nenehno razvija. V organizaciji, kjer je proces celota in proizvod končen rezultat, govorimo o procesni organizaciji (Urh, 2011). Poslovni procesi, ki ustvarjajo željeni cilj in dodajajo vrednosti poslovnim sistemom, postajajo ključnega pomena pri načrtovanju organizacije poslovnega sistema (Aguilar-Savén, 2004). Zaporedje aktivnosti poslovnih procesov je potrebno smiselno oblikovati v različne modele poslovnih procesov, kar omogoča doseganje končnega, željenega proizvoda.

Modeliranje poslovnih procesov je postala stalna praksa, saj so različni strokovnjaki na področju informacijske tehnologije in inženiringa poslovnih sistemov prišli do zaključka, da je za uspešen poslovni sistem najprej potrebno dobro razumevanje poslovnih procesov (Aguilar-Savén, 2004). Da bi se poslovni sistemi izognili

nepotrebni porabi sredstev, mora biti modeliranje poslovnih procesov usmerjeno k izpolnjevanju strateških ciljev in sprejeto s strani uporabnikov (Mivšek in Rozman, 2011).

Za uspešen poslovni sistem je obvladovanje poslovnih procesov in vodenje ljudi v njih ključnega pomena. Obvladovanje poslovnih procesov zajema celovito in sistematično vodenje različnih strategij in odločitev poslovnega sistema s ciljem uresničevanja pričakovanih rezultatov v svojih rednih poslovnih aktivnostih (Peng in Bao, 2023). Ustrezno obvladovanje poslovnih procesov zmanjša stroške in potrebna sredstva, obenem pa izboljša produktivnost in učinkovitost organizacije (Bai in Sarkis, 2013). Obvladovanje poslovnih procesov predstavlja skupek povezanih tehnik, metod in orodij za prepoznavanje, analiziranje, preoblikovanje, izvajanje in spremljanje poslovnih procesov (Dumas idr., 2018). Iz literature lahko zaznamo več faz življenjskega cikla obvladovanja poslovnih procesov, ki tvorijo podporo operativnim poslovnim procesom (Weske idr., 2004). Dumas idr. (2018) obvladovanje poslovnih procesov delijo na naslednje faze življenjskega cikla:

- Identifikacija poslovnih procesov – pripravljen je repozitorij poslovnih procesov v poslovnem sistemu;
- Prepoznavanje poslovnih procesov – odraža razumevanje ljudi v organizaciji o poteku dela preko AS-IS modelov;
- Analiza poslovnih procesov – identificirani so glavni vzroki za nezadovoljive poslovne rezultate;
- Izboljšava poslovnih procesov – predlaganih je več možnosti preoblikovanja poslovnih procesov, katere je potrebno analizirati in izbrati najbolj primerno rešitev;
- Implementacija poslovnih procesov – implementiran je informacijsko-komunikacijski sistem, ki podpre novo oblikovane poslovne procese; izvede se sprememba v organiziranosti dela;
- Spremljanje in nadzorovanje poslovnih procesov – zbirajo se podatki za spremljanje učinkovitosti poslovnih procesov; analizirane so napake in odstopanja od željenega rezultata; navedeni so korektivni ukrepi.

Poznamo več procesnih pristopov izboljševanja poslovnih procesov. Vsem so skupne ključne faze posnetka stanja, analize in izboljšave poslovnih procesov (Krhač Andrašec, 2022). Ob študiju literature ugotavljamo, da je že v fazi analize priporočljivo implementirati digitalnega dvojčka, ki nudi simulacijo in interpretacijo podatkov v realnem času, saj tradicionalni sistemi ne ponujajo orodij za diagnosticiranje vzrokov neučinkovitosti poslovnih procesov (Weske idr., 2004).

Glavni kazalniki učinkovitosti poslovnih procesov so (Bai in Sarkis, 2013): čas, stroški, fleksibilnost in kakovost. Ob želji podjetja, da zadovolji svoje končne porabnike, poveča produktivnost, zmanjša nihanja, skrajša čase izvajanja, je potrebno ključne poslovne procese nadzorovati od znotraj in meriti na kritičnih točkah (Lee in Dale, 1998 v Trkman, 2010). V literaturi je mogoče zaznati strukturne in operativne kazalnike učinkovitosti (Sharma, 2009; Urh, 2011). Strukturni kazalniki se delijo v štiri skupine na podlagi objektov, ki so del EPC modela (Urh, 2011; Sharma, 2009): kazalniki poteka procesa, povezav, organizacijske strukture in izdelkov. Operativne kazalnike na splošno razdelimo na kazalnike (Urh, 2011; Bai in Sarkis, 2013): odvisne od odzivnih časov, vezane na produkte, produktivnosti in izboljšanja donosnosti.

Učinkovitost izvajanja poslovnih procesov je v veliki meri odvisna od tehnične zmogljivosti opreme, na vse poslovne procese pa vplivajo tudi različni dejavniki širšega in ožjega okolja ter dejavniki notranjega okolja, v katerem se nahaja organizacija (Krhač Andrašec, 2022; Dumas idr., 2004; Aguilar-Savén, 2004). Podjetja ob želji povečanja učinkovitosti poslovnega sistema uporabljajo različne pristope, metode in tehnike, ki jim je skupen procesni vidik obravnavanja organizacijskega sistema (Krhač Andrašec, 2022; Dumas idr., 2004). Le-ti imajo tudi nekaj razlik, in sicer: način uvajanja, stopnjo sprememb opravil in procesov, vpletenost zaposlenih, stopnjo sprememb v organizacijski strukturi, način vodenja izboljšave poslovnih procesov, vlogo uporabljene informacijsko-komunikacijske tehnologije in dinamiko uvajanja sprememb (Kern, 1998; Peng in Bao, 2023). Kot glavno razliko med različnimi pristopi Urh in Kern (2012) prepoznata način doseganja cilja, ki je lahko dosežen z implementacijo hitrih in korenitih sprememb ali pa s postopnim spreminjanjem procesov in sistema. Pristopov izboljšanja poslovnih procesov je torej mnogo, njihova uporaba pa je prepuščena odločitvi menedžerjev posameznih poslovnih sistemov (Debevc idr., 2018).

### 3.2 Oblikovanje digitalnih dvojčkov

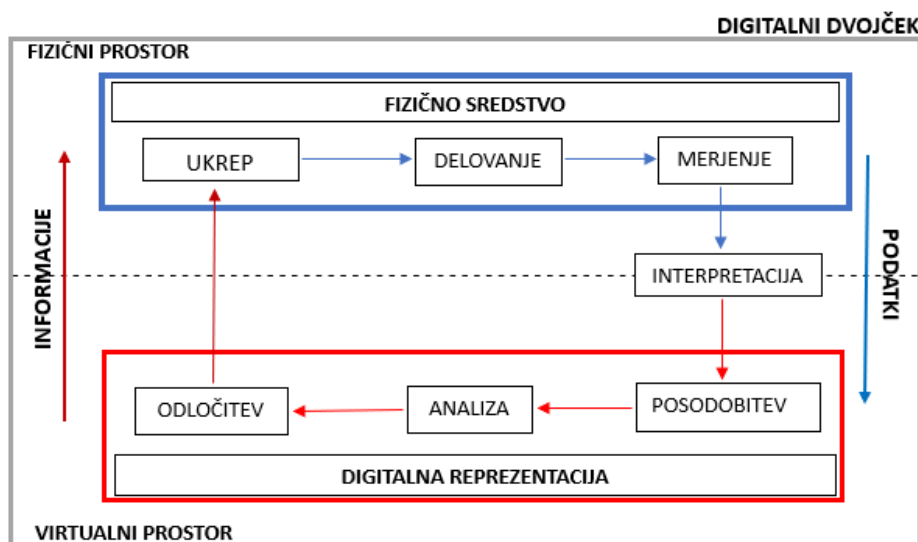
Digitalni dvojček (opomba: uporablja se tudi izraz »digitalni dvojnik«) predstavlja virtualno repliko fizičnega objekta ali sistema v digitalnem svetu (Slika 1). Pri apliciranju koncepta na področje poslovnih sistemov, se odpirajo vrata inovativnim pristopom k izboljšavam in optimizaciji delovanja poslovnih procesov (Abouzid in Saidi, 2023).

Senzorji, kibernetски sistemi, internet stvari in pametna omrežja so le nekateri od novejših tehničnih omogočevalcev (angleško: »enablers«), ki vplivajo in bodo v prihodnosti še naprej vplivali na naše vsakdanje življenje (Abouzid in Saidi, 2023). Koncept digitalnega dvojčka je bil predstavljen pred več kot desetletjem, in sicer kot inovativno vseobsegajoče orodje s prednostmi, kot so spremljanje v realnem času, simulacija, optimizacija in natančno napovedovanje. Vendar praktične izvedbe digitalnega dvojčka še niso v celoti dosegle te vizije v željenem obsegu (Sharma idr., 2022). Ker koncept digitalnega dvojčka ni v celoti vzpostavljen, zanj ni splošno sprejete definicije. V digitalni obliki je opredeljen kot »naslednji ključni korak v procesu digitalne preobrazbe« ter hkrati kot »novo obdobje v razvoju simulacij« (Rosen idr., 2015). Digitalni dvojček predstavlja več komponent (digitalni oziroma virtualni del; fizični del - produkt ali sistem; povezave med njima; podatki; storitev; verifikacija, validacija, akreditacija), ki ga povezujejo v brezhibno integracijo med kibernetским in fizičnim prostorom (Tao idr., 2019 v Sharma idr., 2022). Miller in drugi (2018) v koncept digitalnih dvojčkov vključijo različne povezane podatkovne modele poslovnih procesov organizacije, kateri ustvarjajo povezave med različnimi modeli in odnosi med podatki, shranjenimi v njih.

Ena od opredelitev digitalnega dvojčke je, da »virtualni digitalni dvojček predstavlja resnične entitete poslovnih sistemov, ki zajemajo vodstvene, delovne in podporne procese v realnem času«. Digitalni dvojček je torej virtualna predstavitev resnične entitete, kot je izdelek, oseba, proces ali sistem, ki pomaga organizacijam pri sprejemanju odločitev na podlagi modela (Abouzid in Saidi, 2023).

V nadaljevanju se bomo osredotočili na digitalne dvojčke poslovnih sistemov. V praksi se lahko poslovni sistemi, v katerih razmišljajo o implementaciji digitalnega dvojčka, soočijo s številnimi izzivi, ki lahko preprečijo dosego potencialnih koristi in otežijo uspešno uresničitev le-tega (Saporiti idr., 2023). Strokovnjaki, ki razvijajo

digitalne dvojčke, se soočajo predvsem s tehničnimi izzivi, kateri so odvisni od domene, kjer bo dvojček implementiran (Tao idr., 2018). Za uporabo v industriji, kjer je veliko ponovitev in več različnih delovnih procesov, je izredno težko doseči natančno dvosmerno sinhronizacijo. Za to je potrebno vložiti ogromno sredstev ter vzpostaviti učinkovit in hiter sistem izmenjave podatkov med napravami in aplikacijo digitalnega dvojčka (Tao idr., 2018). Grieves (2019) kot izziv implementacije digitalnih dvojčkov navaja (ne)povezljivost različne programske opreme, katero podjetja uporabljajo za podporo različnim procesom. Izziv je tudi kibernetška varnost večjih korporacij, ki digitalne dvojčke uporabljajo v mnogih sistemih in na različnih lokacijah (Grieves, 2019).



Slika 1: Predstavitev koncepta digitalnega dvojčka

Vir: prirejeno po Abouzid in Saidi, 2023

Organizacije, ki se odločijo za digitalno transformacijo svojega poslovnega sistema, sprožijo več povezanih sprememb v proizvodnji ter internih in eksternih odnosih (Kerremans, 2023). Tehnologija, ki poslovnim sistemom omogoča digitalno preobrazbo, so tudi digitalni dvojčki (Grieves, 2019; Saporiti idr., 2023). Digitalni dvojček poslovnega sistema je dinamičen programski model vsakega poslovnega sistema, ki se opira na operativne in kontekstne podatke iz realnega časa za razumevanje delovanja poslovnega sistema, poslovnega modela, trenutnega stanja v

poslovnem sistemu, odziva na spremembe, porabljanja sredstev ter dostavljanja vrednosti strankam (Piascik idr., 2010; Tao idr., 2018). Digitalni dvojček poslovnega sistema pomaga pri določanju prednostnih nalog, usmerjanju, načrtovanju, spremljanju, analiziranju in uresničevanju kompleksnih pobud (Kerremans, 2023; Abouzid in Saidi, 2023). Digitalni dvojček poslovnega sistema se razlikuje od ostalih v tem, da poleg modeliranja poslovnega sistema upošteva tudi človeški faktor in dejansko delo, ki ga zaposleni opravi (Kerremans, 2023). Večina organizacij, ki se odločijo za vpeljavo naprednih digitalnih poslovnih sistemov oziroma programov, se sooča z izzivom vodenja, spremljanja in določanja prednostnih nalog, ter z usmerjanjem osnovnih delovnih procesov ter količino podatkov (Sharma idr., 2022; Kerremans, 2023). Zaradi številnih medsebojnih odvisnosti in povezav med aktivnostmi, procesi in sistemi, je uspešna vpeljava digitalne poslovne preobrazbe, brez izkušenega navigatorja, težko in kompleksno delo (Miller idr., 2018).

V nadaljevanju sta opisana dva primera oblikovanja in implementacije digitalnih dvojčkov v praksi:

- Eden od uspešnih primerov pri razvoju digitalnega dvojčka je podjetje Siemens, ki ponuja odprt in prilagodljiv sistem za avtomatizacijo skladiščnih terminalov. Ta varna digitalna kopija poslovnega sistema zagotavlja operaterjem ažurne podatke, kot so podatki o nakladalnem mostu, izmerjenih nivojih v rezervoarjih in alarmih. Le-ti so predstavljeni s pomočjo grafičnih prikazov v polnih barvah. Sistem integrira ključne terenske naprave (npr. pred-nastavljeni krmilniki, naprave za vmesnik voznika (DID), merilniki in druge funkcije), ki so ključne za obratovanje terminala za skladiščenje. Siemensov digitalni dvojček omogoča zajemanje in analizo operativnih podatkov, kar olajša odločanje operaterjev terminala s predstavitvijo natančne digitalne slike njihovega objekta v realnem času. Glavne koristi izvedbe digitalnega dvojčka podjetje vidi: v integraciji ključnih naprav, proaktivnem vzdrževanju, možnosti simulacije, preverjanju učinkovitosti in pretoka ter večji prilagodljivosti trgu. Uspešna implementacija Siemensove tehnologije digitalnega dvojčka izpostavlja potencial za izboljšanje varnosti, učinkovitosti in odločanja v naftni in plinski panogi, kar predstavlja dragoceno orodje za podjetja, ki želijo ostati konkurenčna v spreminjajočem se okolju. Uspešno sprejemanje digitalnih



dvojčkov je ključno za obvladovanje odpornosti in učinkovitosti obratovalnih in poslovnih modelov industrije (Siemens Energy, 2023).

- Ena od možnosti ustvarjanja digitalnih dvojčkov poslovnih sistemov je implementacija Azur Digital Twin programske rešitve v kombinaciji z orodjem ARIS. Za ustvarjanje digitalnih dvojčkov morajo uporabniki kodirati datoteke DTDL Json in jih nato naložiti v Azur-ov Digital Twin program. Kodiranje DTDL Json je kompleksna naloga. Uporabnikom je zato omogočeno modeliranje poslovnih procesov v orodju ARIS Process Modelling podjetja Software AG. ARIS ima več različnih modelov, (med drugim tudi model IoT), in omogoča ustvarjanje prilagojenih poročil z uporabo JavaScripta. Partnerji Software AG so razvili prilagojeno poročilo za izvoz modelov IoT v format DTDL za Azure Digital Twins. Izvožena datoteka DTDL Json vsebuje definicije digitalnega dvojčka, IoT lastnosti, komponente digitalnih dvojčkov in povezave med njimi. Datoteko je mogoče uvoziti v Azure Digital Twins z uporabo orodja Azure Digital Twins Explorer. To omogoča uporabnikom povezovanje z Azure Digital Twins, in sicer za razumevanje, vizualizacijo in spremljanje podatkov digitalnih dvojčkov. Podatki digitalnih dvojčkov se lahko pridobijo iz Azure Digital Twins s pomočjo vmesnikov REST, ki se lahko uporabijo za ustvarjanje nadzornih plošč v orodju ARIS (Software AG, 2022).

## 4 Rezultati raziskave

V aplikativnem delu raziskave smo, za lažje razumevanje poslovnega sistema LIPPS in oblikovanje digitalnega dvojčka, uporabili orodje ARIS in platformo Azure Digital Twins. Zanimalo nas je, koliko časa in sredstev je potrebno nameniti za doseg definiranega namena. Želeli pa smo tudi izvedeti, s kakšnimi izzivi se lahko sooča oblikovalec digitalnega dvojčka.

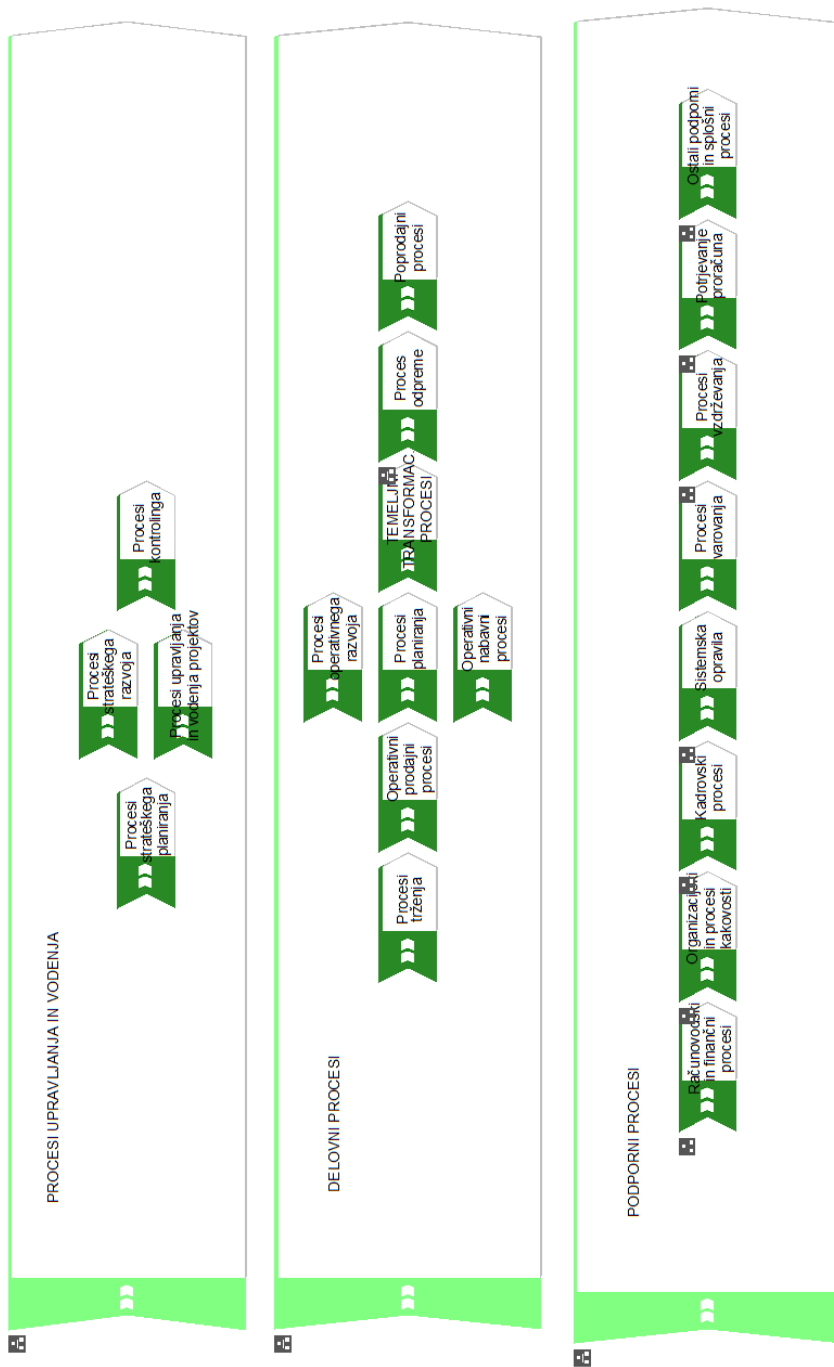
### 4.1 Laboratorij IPPS

Za oblikovanje digitalnega dvojčka moramo najprej izbrati poslovni sistem in procese v njem. Za potrebe raziskave so modeli izbranega poslovnega sistema zbrani v poslovnem repozitoriju laboratorija za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru. Laboratorij so zasnovali profesorji in študenti študijskega programa Inženiring poslovnih sistemov. Predstavlja “živi laboratorij v praksi” (angl. “living lab”) in omogoča razvoj, testiranje in validacijo novih idej, izdelkov ali storitev v resničnem okolju ter

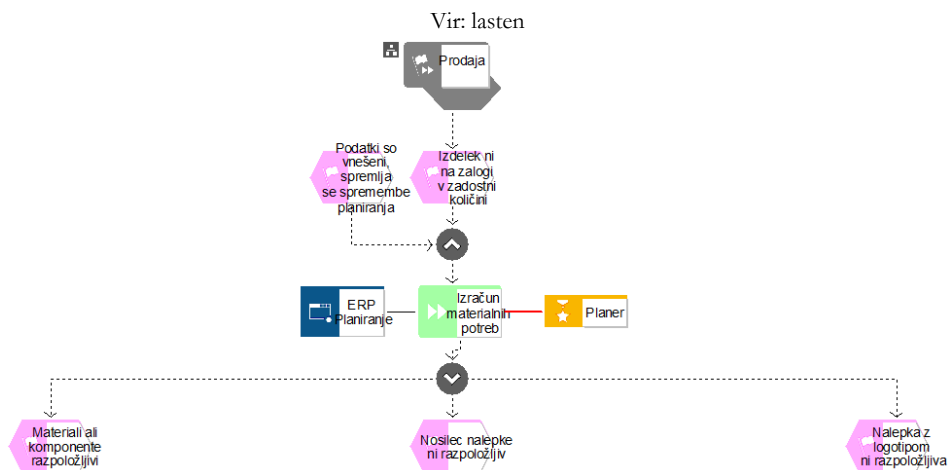
uporabnikom omogoča pridobitev neposrednih povratnih informacij iz virtualnega poslovnega sistema. Zasnovan je tako, da ima vse lastnosti pravega poslovnega sistema, ki izdeluje in razvija preproste izdelke iz lesa, kovine in plastike. Predstavlja srednje veliko podjetje s približno 100 zaposlenimi v štirih glavnih sektorjih: razvojni sektor, proizvodni sektor, komercialni sektor in sektor za splošne zadeve. Razvojni sektor se deli na več oddelkov: strateški razvoj, operativni razvoj, tehnologija, laboratorij za meritve in prototipni oddelek. Zaposleni v oddelkih razvojnega sektorja omogočajo nadaljnji razvoj in konkurenčnost na trgu. Proizvodnja, operativna priprava dela, služba vzdrževanja in kontrola proizvodnje tvorijo proizvodni sektor, ki je odgovoren za zagotavljanje učinkovitega in zanesljivega proizvodnega procesa. Komercialni sektor omogoča ustvarjanje prihodkov in trženje izdelkov. V virtualnem podjetju je vzpostavljen tudi sektor za splošne zadeve, v katerem delujejo finančno računovodska služba, služba za organizacijo in informatiko, služba za kakovost, služba za kadrovske in pravne zadeve ter služba za varovanje. Laboratorij posnema običajne organizacijske oblike v praksi in ni zasnovan optimalno. Na ta način raziskovalec in študentom omogoča, da izboljšujejo vse vidike organiziranosti. Prav tako tehnološka opremljenost posameznih delovnih mest ni dokončna in se nenehno dopolnjuje. Zato je bil laboratorij v zadnjih letih opremljen s 3D tiskalnikom, 3D čitalnikom, s kolaborativnim robotom in z nekaterimi drugimi tehnologijami. V prihodnje so načrtovane dodatne tehnološke nadgradnje, kot so 3D rezalnik, 3D hologram in avtonomni mobilni robot (AMR). Navedene nadgradnje so posledica več projektov prenove poslovnih procesov v laboratoriju, na podlagi katerih je ugotovljeno, kateri tehnološki omogočevalci (angl. »technical enablers«) so potrebni za večjo učinkovitost, kakovost dela in odpornost poslovnega sistema.

## **4.2 Repozitorij poslovnega sistema in poslovnih procesov LIPPS**

Repozitorij poslovnega sistema v orodju ARIS ponuja celovit prikaz poslovnih procesov z različnih vidikov poslovanja v obliki naslednjih modelov: organizacijska struktura, diagram dodane vrednosti, EPC. Z modeli so tako določene organizacijske enote in delovna mesta, procesi in aktivnosti poslovnega sistema ter glavni izvajalci, dokumenti in informacijska podpora v procesu izdelave priponk. Diagram dodane vrednosti (Slika 2) predstavlja celovit pogled dejavnosti poslovnega sistema in je razdeljen na tri glavne skupine procesov: procese upravljanja in vodenja, delovne procese in podporne procese. V nadaljevanju je prikazan EPC model (Slike 3 - 5) izdelave priponk v laboratoriju IPPS.

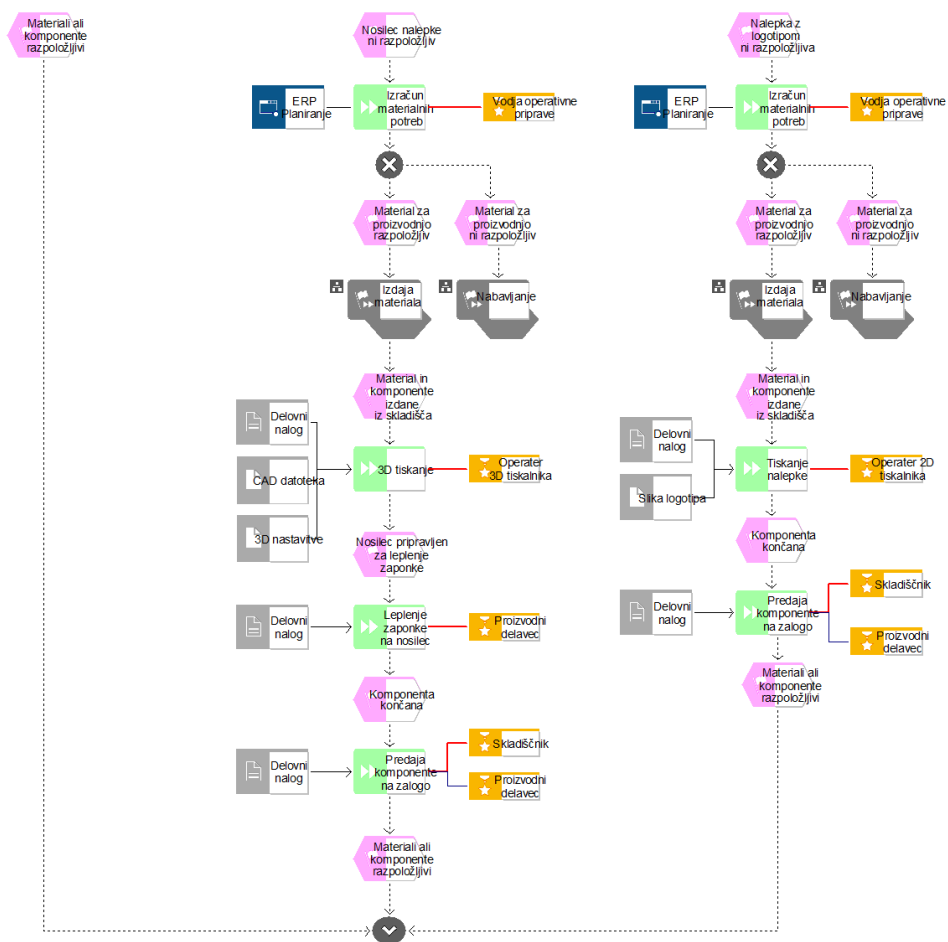


Slika 2: Diagram dodane vrednosti repozitorija LIPPS



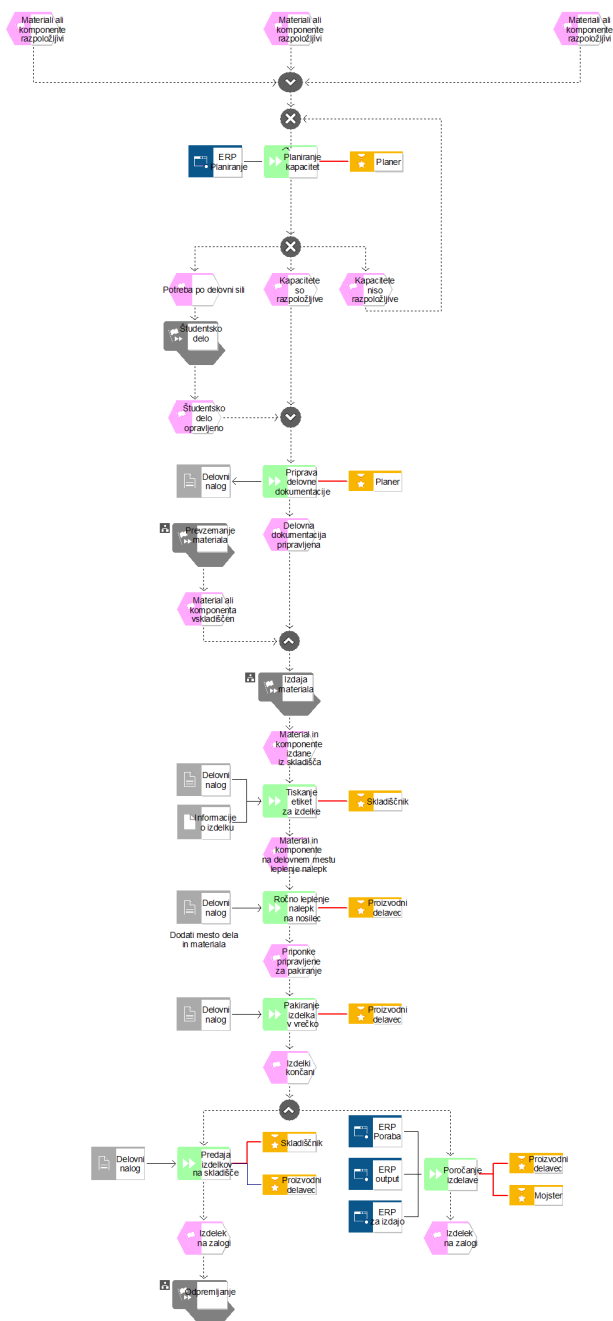
Slika 3: Proces izdelave priponk v LIPPS (1/3)

Vir: lasten



Slika 4: Proces izdelave priponk v LIPPS (2/3)

Vir: lasten



Slika 5: Proces izdelave priponek v LIPPS (3/3)

Vir: lasten

### **4.3 Analiza časa in sredstev za izvedbo raziskave**

Med izvedbo aplikativnega dela raziskave smo spremljali porabljen čas in sredstva za raziskavo, razvoj in oblikovanje digitalnega dvojčka. Pri planiranju in spremljanju časovnega okvirja smo uporabili PERT metodo (Zajec, 2018), ki nam je omogočila sistematično analizo potrebnega časa za izvedbo aktivnosti raziskave. V razpredelnici (Tabela 1) smo dokumentirali ocene najhitrejšega, najbolj verjetnega in najdaljšega časa za vsako aktivnost ter izračunali pričakovani čas. S tem smo dobili pregled nad kritičnimi potmi in identificirali ključne dejavnike, ki so vplivali na celotno trajanje raziskave.

Začetek raziskave predstavlja izdelava in oddaja prijave raziskave, ki smo jo zaključili po 12,5 urah. Sledilo je raziskovanje področja modeliranja in analize poslovnih sistemov in sprotno raziskovanje področja oblikovanja digitalnih dvojčkov. Raziskovanje je zahtevalo več časa, kot smo pričakovali, saj sta obe aktivnosti skupaj trajali okvirno 8,5 ur več, kot je bilo pričakovano. Ko je bil izdelan izvleček literature, smo se lotili aplikativnega dela raziskave. Najprej smo pregledali pravilnost modelov že obstoječega repositorija LIPPS. Nato smo popravili nekatere pomanjkljivosti v modelih v repositoriju. Za pregled in popravke v repositoriju smo porabili 10,5 ur. Za oblikovanje digitalnega dvojčka, skupaj z raziskovanjem programa, smo potrebovali 16 ur. Za analizo rezultatov ter pripravo diskusije in zaključkov smo porabili 8,5 ur. Oblikovanje zaključnega elaborata in končne verzije raziskave smo opravili v 5,5 urah.

Iz analize časa smo ugotovili, da smo za vse aktivnosti (z izjemo treh) porabili več časa, kot je bilo pričakovano. Do največjega časovnega odstopanja med pričakovanim in dejanskim časom aktivnosti je prišlo pri raziskovanju področja oblikovanja digitalnih dvojčkov. Ocena najhitrejšega časa zaključka aktivnosti je bila postavljena na 15 ur. Ocena najdaljšega časa zaključka pa na 40 ur. Razliko med ocenami bi lahko pripisali nepoznavanju raziskovanega področja ter novosti tehnologije digitalnih dvojčkov v poslovnem okolju. Iz podobnih razlogov je prišlo do razlike pri oceni potrebnega časa za aktivnost oblikovanja digitalnih dvojčkov. Najbolj točno pa smo ocenili tveganje pri aktivnostih: oblikovanje zaključnega elaborata in končne verzije raziskave ter popravljanje modelov repositorija LIPPS. Skupni pričakovan čas zaključka raziskave je 89,42 ur. Dejanski porabljen skupni čas izdelave pa je bil 110,5 ur, kar pomeni, da smo za izdelavo porabili 23,57% več časa. V povprečju so posamezne aktivnosti trajale 15,32% dlje, kot je bilo pričakovano.

Tabela 1: Prikaz analize časa

Aktivnosti	Trajanje (v urah)					
	Predhodne aktivnosti	Ocena najhitrejšega časa	Ocena najbolj verjetnega časa	Ocena najdaljšega časa	Pričakovani čas	Dejanski čas
Priprava raziskave (A)	/	6	10	15	10,17	12,5
Raziskovanje področja modeliranja in analize poslovnih sistemov (B)	A	10	20	30	20	23
Raziskovanje področja oblikovanja digitalnih dvojčkov (C)	A	15	30	40	29,17	34,5
Pregled modelov repositorija LIPPS (Č)	B, C	2	4	5	3,83	7,5
Popravljanje modelov repositorija LIPPS (D)	B, C	2	3	5	3,17	3
Oblikovanje digitalnih dvojčkov (E)	D	5	10	30	12,5	16
Analiza rezultatov (F)	E	2	4	6	4	5
Pisanje diskusije in zaključkov (G)	F	1	2	5	2,33	3,5
Oblikovanje zaključnega elaborata in končne verzije raziskave (H)	G	2,5	4	8	4,42	5,5

Vir: lasten



V aplikativnem delu raziskave smo uporabili naslednja sredstva:

- Osebni računalniki – osnovno orodje za izvajanje večine aktivnosti, vključno z raziskovanjem in analizo podatkov ter oblikovanjem zaključnega elaborata. Orodja za izdelavo aplikativnega dela niso bila kompleksna, zato lastnostni računalnika (npr. zmogljivost procesorja, količina pomnilnika, grafična zmogljivost itn.) niso imele pomembne vloge.
- Orodje ARIS – orodje smo uporabili za pregled in dopolnitev modelov poslovnega sistema. Za uporabo orodja ima Univerza v Mariboru raziskovalno licenco, kar nam je omogočilo brezplačno uporabo.
- Azure Digital Twins – platforma za ustvarjanje digitalnega dvojčka v oblaku. Univerza v Mariboru ima dostop do storitev Microsoft Azure orodij, kar nam je omogočilo brezplačno uporabo.
- Internetna povezava – povezava je ključna za dostop do spletnih virov, komunikacijo s soavtorjema ter prenos posodobitev programske opreme.
- Dostop do knjižnic in multidisciplinarnih zbirk – za izdelavo raziskave smo potrebovali dostop do znanstvenih virov, kar za namen raziskav prav tako brezplačno omogoča Univerza v Mariboru.
- Čas in strokovno znanje – poleg fizičnih sredstev smo porabili tudi veliko časa za raziskave in razvoj. Potrebovali smo tudi strokovno znanje, predvsem pri uporabi orodij ARIS in Azure Digital Twins.

#### 4.4 Smernice in izkušnje oblikovanja digitalnih dvojčkov poslovnih procesov

Oblikovanje digitalnih dvojčkov je izjemno kompleksna naloga. Izziv je že izbira ustreznih tehnologij. Kot eno od najbolj obetavnih smo prepoznali Azure Digital Twins tehnologijo za vzpostavitev digitalnega dvojčka poslovnih procesov. Obstaja več načinov vzpostavitve digitalnih dvojčkov. Azure Digital Twins pri tem uporabi model Digital Twins Definition Language oziroma DTDL, ki je bil ustvarjen iz strani Microsofta. DTDL model digitalnega dvojčka je sestavljen iz štirih glavnih elementov (Industry40tv, 2021):

- Entitete (angl. “properties”) – vsaka entiteta ima določeno stanje, ki predstavlja njeno fizično stanje, po katerem je prepoznavna v sistemu. To

lahko predstavlja ime, strojno moč, barvo ali serijsko številko. Pomembno je, da ima entiteta zmožnost trajnega hranjenja in posredovanja podatkov naprej v sistem, ko je to potrebno.

- Telemetrija (angl. “telemetry”) – tok dogodkov, ki predstavlja merjenje fizičnih parametrov. Podatki, ki pridejo v digitalni dvojček, so procesirani na vhodu, vendar v sistemu niso hranjeni. Po potrebi se jih lahko shranjuje v zunanji sistem.
- Komponente (angl. “components”) – v uporabo nastopijo, ko v digitalni dvojček želimo vključiti posamezne modele, ki so del večjega sistema. V digitalnem dvojčku tovarne komponento lahko predstavlja npr. proizvodni obrat.
- Povezave (angl. “relationships”) – povezave med posameznimi deli ali modeli določenega digitalnega dvojčka. Več povezanih modelov oziroma sestavnih delov digitalnega dvojčka sestavlja graf dvojčkov (angl. “twins graph”). Slednji predstavlja fizične entitete v celotnem okolju digitalnega dvojčka, hkrati pa odraža njihove interakcije.

Vsi navedeni elementi digitalnega dvojčka so vključeni v vmesnik, ki omogoča medsebojno sodelovanje sestavnih delov. Ustvarjanje digitalnega dvojčka v Azure Digital Twins platformi poteka po naslednjih korakih (Industry40tv, 2021):

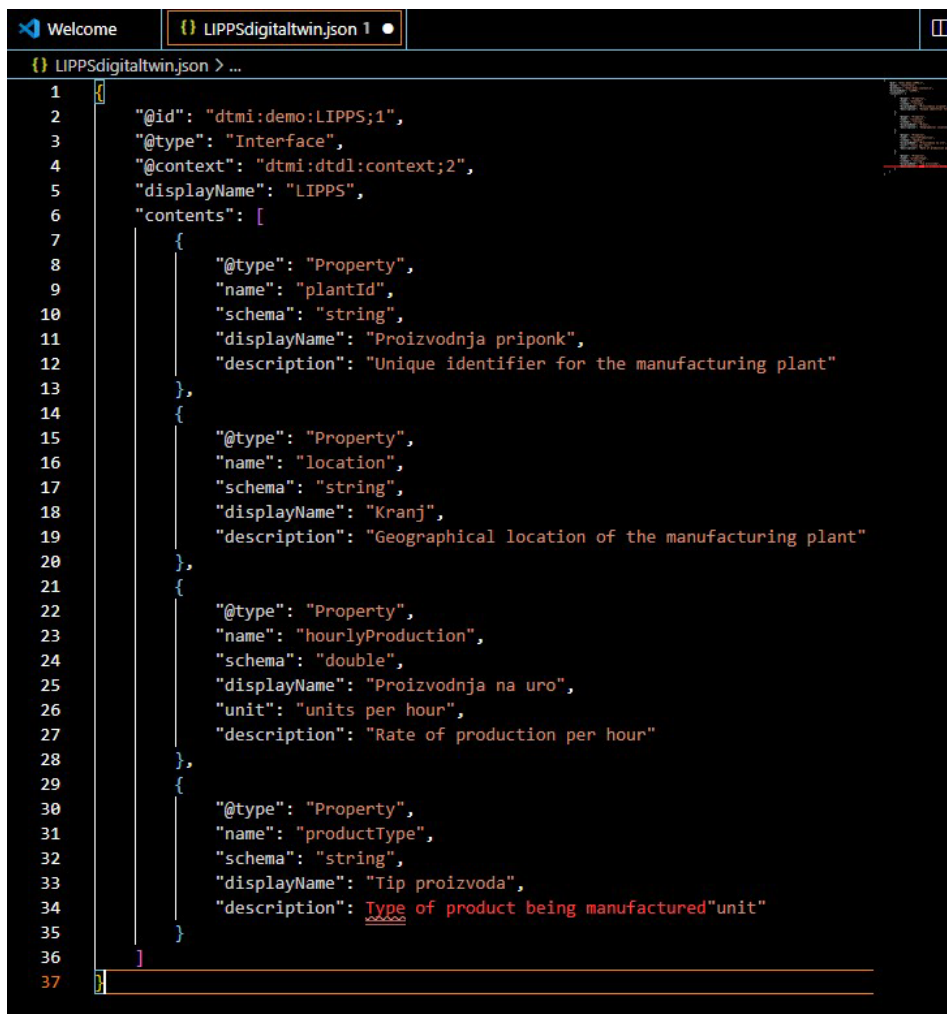
- Načrtovanje digitalnega dvojčka – prvi korak je načrtovanje digitalnega dvojčka, kjer določimo, kaj želimo modelirati, analizirati in na osnovi česa bomo izvajali simulacije. Pred ustvarjanjem je potrebno določiti strukturo in parametre, ki bodo vključeni v digitalni dvojček.
- Priprava Azure okolja – najprej je potrebno ustvariti Azure račun. Nato je potrebno zagotoviti dostop do Azure Digital Twins, Azure Digital Twins Explorer, Azure IoT Hub in Azure Function App. Slednja omogočata integracijo senzorjev realnega sistema z digitalnim dvojčkom. Potem v Azure Digital Twins ustvarimo digitalni dvojček, ki ga poimenujemo.
- Pisanje in pretvorba programske kode v Json datoteko – pisanje kode se lahko izvaja v urejevalnikih besedila, kot je npr. Visual Studio Code, ki ima tudi funkcijo pretvorbe v Json datoteko. S kodiranjem definiramo ključne elemente sistema, ki predstavljajo fizične in logične komponente modela.

Te bodo kasneje uporabljene za konfiguracijo in upravljanje digitalnega dvojčka.

- Uvoz datoteke Json v Azure Digital Twins Explorer – v tem koraku Json datoteko uvozimo v prej ustvarjen digitalni dvojček. Program nato obdela datoteko ter uporabi vse podatke in konfiguracije za ustvarjanje in posodabljanje digitalnega dvojčka. V tem koraku se model pregleda in primerja z načrtovanim digitalnim dvojčkom.
- Implementacija in integracija senzorjev – senzorje je potrebno najprej ustrezno kodirati. Programska koda omogoča senzorjem zajemanje podatkov iz okolja (npr.: temperatura, vlaga ali gibanje, pa tudi čas, kosi in drugo). Podatki, ki jih odčitavajo senzorji, so nato preko komunikacijskega vmesnika Azure IoT Huba preneseni v digitalni dvojček. Senzorji morajo biti opremljeni s potrebnimi informacijami (npr.: ID senzorja), ki omogočajo prepoznavnost v modelu. Prenos podatkov je omogočen s kombinacijo programov Azure IoT Huba in Azure Function App. Po vzpostavitvi povezave so podatki v digitalnem dvojčku na voljo za nadaljnjo analizo in obdelavo.
- Simulacija in analiza – z modelom in podatki, ki jih zajemajo senzorji Azure Digital Twins Explorer, omogoča vizualizacijo, simulacijo dogodkov ter spremljanje trenutnega stanja v fizičnem sistemu.
- Sprotno nadgrajevanje in optimiziranje – z vključevanjem novih sestavnih delov, modelov in senzorjev lahko nadgrajujemo digitalni dvojček. Po potrebi se dodajo nove funkcije, optimizira porabo virov ali prilagodi konfiguracije glede na spremenjene zahteve in cilje.

S sledenjem zgoraj naštetih korakov smo ustvarili osnovno obliko digitalnega dvojčka LIPPS za proces izdelave priponk. Nastavili smo več testnih parametrov, kot so npr. število proizvodov na uro in tip proizvoda. Tako bo mogoče nadzorovati učinkovitost proizvodnje in število določenih tipov proizvoda po implementaciji senzorjev.

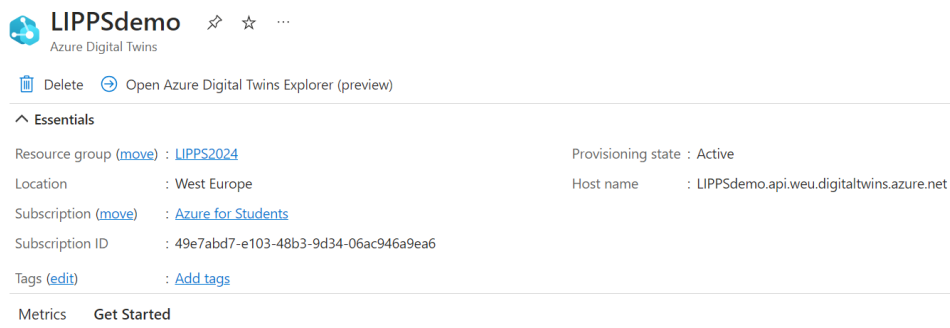
V programu Visual Studio Code (Slika 6) smo določili komponente digitalnega dvojčka in parametre, ki jih želimo meriti. Nato smo ustvarili digitalni dvojček in ga poimenovali v platformi Azure Digital Twins, kot je prikazano na Sliki 7.

The image shows a screenshot of the Visual Studio Code editor. The top bar displays 'Welcome' and the active file 'LIPPSdigitaltwin.json 1'. The editor window shows the following DTDL code:

```
1  {}
2  "@id": "dtmi:demo:LIPPS;1",
3  "@type": "Interface",
4  "@context": "dtmi:dtdl:context;2",
5  "displayName": "LIPPS",
6  "contents": [
7    {
8      "@type": "Property",
9      "name": "plantId",
10     "schema": "string",
11     "displayName": "Proizvodnja priponk",
12     "description": "Unique identifier for the manufacturing plant"
13   },
14   {
15     "@type": "Property",
16     "name": "location",
17     "schema": "string",
18     "displayName": "Kranj",
19     "description": "Geographical location of the manufacturing plant"
20   },
21   {
22     "@type": "Property",
23     "name": "hourlyProduction",
24     "schema": "double",
25     "displayName": "Proizvodnja na uro",
26     "unit": "units per hour",
27     "description": "Rate of production per hour"
28   },
29   {
30     "@type": "Property",
31     "name": "productType",
32     "schema": "string",
33     "displayName": "Tip proizvoda",
34     "description": "Type of product being manufactured"unit"
35   }
36 ]
37 }
```

Slika 6: Programirana koda DTDL v programu Visual Studio Code

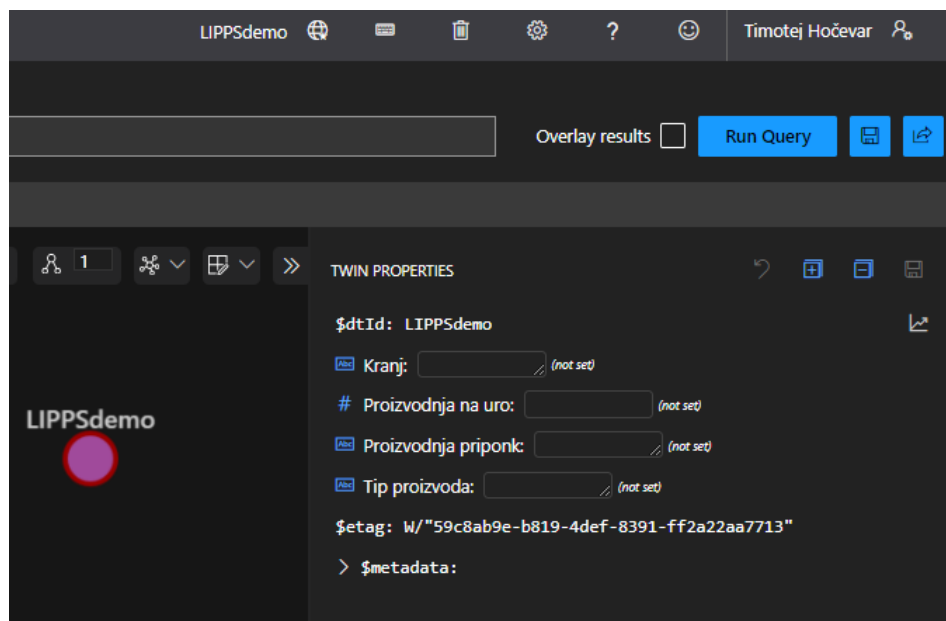
Vir: lasten



Slika 7: Ustvarjen digitalni dvojček na platformi Azure Digital Twins

Vir: lasten

Ko je bil digitalni dvojček ustvarjen smo se prijavili v Azure Digital Twins Explorer in programsko kodo naložili v program. Tako smo dobili preprost graf digitalnega dvojčka (Slika 8), ki omogoča predstavitev poslovnega sistema.



Slika 8: Digitalni dvojček LIPPSdemo v Azure Digital Twins Explorer

Vir: lasten

Prikazan je primer z omejenim obsegom in naborom podatkov. V nadaljevanju bomo nabor podatkov povečali in vključili še druge procese, ki so neposredno povezani z obravnavanim poslovnim procesom. Na ta način bomo izpopolnili model digitalnega dvojčka poslovnega sistema LIPPS.

## 5 Diskusija in zaključek

V sodobnem poslovnem okolju se poslovni sistemi vse bolj zavedajo pomembnosti razumevanja delovanja poslovnih sistemov, obvladovanja sprememb in uporabe naprednih tehnologij za izboljšanje operativne učinkovitosti in konkurenčne prednosti. Uspešno obvladovanje poslovnega sistema zahteva sistematičen pristop. Znanih je več procesnih pristopov, vsem pa so skupne tri ključne faze posnetka in analize stanja ter izboljšave poslovnih procesov. Na podlagi pregleda literature smo ugotovili, da digitalni dvojček predstavlja eno od obetavnih tehnologij za izpostavljene faze, saj omogoča zajem, spremljanje in interpretacijo podatkov v realnem času. Tehnologija digitalnih dvojčkov je novost in posledično na trgu ni veliko uporabnih rešitev. Izbira pravilne poti do vzpostavitve modela digitalnega dvojčka je zato zahtevna.

Za ustrezno vzpostavitev digitalnega dvojčka najprej potrebujemo procesno tehnologijo ter jasno in pravilno definirane poslovne procese, saj drugače pride do neuskklajenosti med realnim (fizičnim) sistemom in digitalnim modelom. Potrdili smo domnevo, da je za to mogoče uporabiti že oblikovan poslovni repositorij izbranega poslovnega sistema. Da bi dosegli svoj namen, smo uporabili orodje ARIS, kjer smo imeli že oblikovan repositorij LIPPS. Modele poslovnega sistema smo pregledali in pomanjkljivosti v njih odpravili. Modele v orodju smo uporabili za razumevanje osnovnega stanja in prepletenosti povezav med posameznimi poslovnimi procesi v sistemu.

Naslednja zahteva je podatkovna tehnologija, ki omogoča oblikovanje in prikaz digitalnega dvojčka. Za to smo uporabili platformo Azure Digital Twins, s pomočjo katere smo prikazali ključne elemente in korake oblikovanja. Potrdili smo domnevo, da je oblikovanje digitalnega dvojčka kompleksno delo, saj zajema pisanje programske kode. Napor je z uporabo ARIS orodij in ustreznih modelov mogoče nekoliko zmanjšati. Ustvarili smo osnovni model laboratorija IPPS s proizvodnim obratom, kjer bomo v prihodnje lahko merili parametre, kot so število proizvodov

na uro, tip proizvoda in drugo. Ta korak je zahteval bistveno več znanja in časa, kot je bilo predvideno v začetni fazi oblikovanja raziskave.

Za uporabnost rešitve je potrebno implementirati digitalni dvojček na način, da bo v prihodnje mogoče v realnem času izvajati simulacije in imeti vpogled v poslovne procese v fizičnem sistemu. Povezati je torej potrebno procesno in podatkovno tehnologijo ter na podlagi tega spremljati operativno učinkovitost sistema ter le-to po možnosti izboljševati. Za to bo v prihodnje potrebno natančneje določiti, katere kazalnike operativne učinkovitosti je smiselno in možno spremljati. Hkrati pa je orodja ARIS in Azure Digital Twins potrebno povezati tudi z ostalimi naprednimi tehnologijami v procesu izdelave priponk (npr. 3D tiskalnik), saj bodo le-te podale realne prometne podatke izvajanja procesa ter omogočile njegovo spremljanje in izboljševanje.

Pričujoča raziskava je pokazala, da je oblikovanje digitalnih dvojčkov kompleksen, a izjemno koristen proces, ki poslovnim sistemom omogoča boljše razumevanje njihovega delovanja, hitrejšo odzivanje na spremembe ter izboljšanje operativne učinkovitosti. Ključni dejavniki uspeha implementacije digitalnih dvojčkov vključujejo jasno definicijo poslovnih procesov, učinkovito integracijo tehnologij ter aktivno sodelovanje vseh deležnikov v sistemu. Vsekakor bodo potrebne dodatne raziskave in nadaljnji razvoj, da bo tehnologija primerna za širšo uporabo v poslovnem okolju. V nadaljevanju bomo tako izvedli raziskavo, kjer bomo ugotavljali delež slovenskih podjetij, ki pri obvladovanju poslovnega sistema uporabljajo digitalni dvojček. Osredotočili pa se bomo predvsem na razvoj končnega modela digitalnega dvojčka, ki ga bomo povezali s pripadajočimi tehnologijami na procesu izdelave priponk in tako predstavili delovanje poslovnega sistema LIPPS.

## Literatura

- Abouzid, I., & Saidi, R. (2023). Digital twin implementation approach in supply chain processes. *Scientific African*, 21, e01821. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01821>
- Aguilar-Savén, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *International Journal of Production Economics*, 90(2), 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00102-6)
- A.M. Miller, R. Alvarez, N. Hartman. (2018). Towards an extended model-based definition for the digital twin. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(6), 880–891. <https://doi.org/10.1080/16864360.2018.1462569>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2013). A grey-based DEMATEL model for evaluating business process management critical success factors. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 281-292. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.011>

- Debevc, I., Svetec, P., & Krhač Andrašec, E. (2018). Učinkovitost in uspešnost organizacije skozi uporabo različnih metodologij, konceptov in pristopov. In *37th International Conference on Organizational Science Development. Organization and uncertainty in the digital age* (pp. 217-233).
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). *Fundamentals of business process management* (Vol. 2). Heidelberg: Springer.
- Industry40tv (2021). Azure Digital Twins Tutorial – Getting Started With Azure Digital Twins (A Step-by-Step Guide). Dostopno na: <https://www.youtube.com/watch?v=YBwraf72BKI>.
- Kern, T. (1998). *Procesna organizacija–oblikovanje organizacije poslovnih sistemov na osnovi modela strukturiranih organizacijskih procesov* [Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede].
- Kerremans, M. (2023). Market Guide for Tehnologies Supporting a Digital Twin of an Organization. *Gartner*. Dostopno na: <https://www.gartner.com/document/4022648?ref=solrAll&refval=384971901&>
- Balantič, Z., Balantič, B., & Kovacič Jarc, B. (2021). Digital twins in ergonomic workplaces arrangements. In *40th Conference on Organizational Science Development. Values, Competencies and Changes in Organizations* (pp. 43-56).
- Krhač Andrašec, E. (2022). *Vpliv uporabe metod in tehnik izboljševanja poslovnih procesov na učinkovitost organizacijskih sistemov* [Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru]. Digitalna knjižnica Univerze v Mariboru. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=82145>.
- Mivšek, J., & Rozman, T. (2007). Modeliranje in izvajanje poslovnih procesov v spletnem okolju. Dostopno na: <ftp://ftp.eranova.si/aida/mivsek-rozman-bpm-naspletu-dsi07>.
- M.W. Grieves (2019). Virtually intelligent product systems: Digital and physical twins. In *Complex Systems Engineering: Theory and Practice* (175-200). American Institute of Aeronautics and Astronautics. <http://doi.org/10.2514/5.9781624105654.0175.0200>.
- Peng, J., & Bao, L. (2023). Construction of enterprise business management analysis framework based on big data technology. *Heliyon*, 9(6), e17144. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17144>.
- Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567-572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>.
- Saporiti, N., Cannas, V. G., Pozzi, R., & Rossi, T. (2023). Challenges and countermeasures for digital twin implementation in manufacturing plants: A Delphi study. *International Journal of Production Economics*, 261, 108888. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108888>
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100383. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100383>
- Sharma, A. (2009). Implementing balance scorecard for performance measurement. *ICFAI Journal of Business Strategy*, 6(1), 7-16.
- Siemens Energy. (2023). Terminal Operators Benefit from Digital Twin. *Siemens Energy Magazine*. Dostopno na: <https://www.siemens-energy.com/mea/en/news/magazine/terminal-operators-benefit-from-digital-twin.html>
- Software AG. (2023). ARIS: Thirty Years of Passion for Business Processes. *Software AG Blog*. Dostopno na: <https://blog.softwareag.com/aris-thirty-years-of-passion-for-business-processes/>
- Software AG (2022). ARIS & Azure Digital Twins DTDL. Dostopno na: <https://www.youtube.com/watch?v=CsgrQ86dY8c>.
- Trkman, P. (2010). The critical success factors of business process management. *International Journal of Information Management*, 30(2), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2009.07.003>.
- Urh, B. (2011). *Predvidevanje uspešnosti poslovnega sistema z vidika obvladovanja učinkovitosti poslovnih procesov* [Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede].



- Urh, B., & Kern, T. (2012). Učinkovitost poslovnih procesov z vidika njihove strukture. In *31th International Conference on Organizational Science Development. Quality, innovation, future* (pp. 1326-1334).
- Urh, B., & Kern, T. (2014). Vplivni dejavniki učinkovitosti izvajanja poslovnih procesov. *Uporabna informatika*, 22(2), 85-103.
- Weske, M., van der Aalst, W.M.P., & Verbeek, H.M.W. (2004). Advances in business process management. *Data & Knowledge Engineering*, 50(1), 1-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.datak.2004.01.001>.
- Zajec, K. (2018). *Prenova procesov na sekretariatu Ministrstva za javno upravo* [Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede].



# BIBLIOMETRIČNA ANALIZA IN RAZVOJ MODELA UPORABNOSTI DIGITALNEGA DVOJČKA V VSEH FAZAH ŽIVLJENJSKEGA CIKLA PREMOŽENJA

ŽIGA DEBELJAK, MATJAŽ MALETIČ, DAMJAN MALETIČ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
ziga.debeljak@student.um.si, matjaz.maletic@um.si, damjan.maletic@um.si

V sodobnem poslovnem okolju je učinkovito obvladovanje premoženja ključno za ustvarjanje vrednosti v organizacijah. Soočamo se z vprašanji, kot so, kaj pomeni imeti DT za fizično premoženje/sredstvo? Kakšna je vloga DT na področju obvladovanja premoženja/sredstev (Errandonea idr., 2020)? Cilj pričujočega poglavja je izdelati celovit pregled trenutne uporabnosti digitalnega dvojčka (DT) v vseh fazah življenjskega cikla premoženja. Poglavje obravnava problematiko s sistematičnim pregledom literature, identificiranjem ključnih ugotovitev ter analizo vloge DT pri obvladovanju premoženja. Metodologija reševanja vključuje temeljito raziskavo obstoječih objavljenih del (v zbirki Scopus) o DT, nato pa sintezo pridobljenih podatkov za razumevanje vloge DT pri obvladovanju premoženja. Rezultati bodo služili kot osnova za pripravo analitičnih ugotovitev, ki bodo organizaciji omogočile ustvarjanje vrednosti iz premoženja na osnovi digitalnega dvojčka.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.3](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.3)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
obvladovanje premoženja,  
digitalni dvojček,  
vzdrževanje,  
življenjski cikel  
premoženja,  
optimizacija



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.3](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.3)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**  
physical asset management,  
digital twin,  
maintenance,  
asset lifecycle,  
optimization

# BIBLIOMETRIC ANALYSIS AND MODEL DEVELOPMENT OF THE DIGITAL TWIN APPLICABILITY AT ALL STAGES OF THE ASSET LIFECYCLE

ŽIGA DEBELJAK, MATJAŽ MALETIČ, DAMJAN MALETIČ

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[ziga.debeljak@student.um.si](mailto:ziga.debeljak@student.um.si), [matjaz.maletic@um.si](mailto:matjaz.maletic@um.si), [damjan.maletic@um.si](mailto:damjan.maletic@um.si)

In today's business environment, effective asset management is crucial for creating value in organizations. We face questions such as what it means to have a Digital Twin (DT) for physical assets? What is the role of DT in asset management (Errandonea idr., 2020)? The objective of the chapter is to provide a comprehensive overview of the current applicability of the digital twin (DT) in all phases of the asset lifecycle. The chapter contributes to the discussion of this issue by systematically reviewing literature, identifying key findings, and analyzing the role of DT in asset management. The methodology for solving includes thorough research of existing scientific and professional sources on DT, followed by synthesizing the obtained data to understand the role of DT in asset management. The results serve as a basis for preparing analytical findings, enabling the organization to create value from digital twin-based assets.



## 1 Uvod

Učinkovito obvladovanje premoženja je ključna aktivnost, ki organizacijam omogoča ustvarjanje vrednosti. Premoženje, bodisi v obliki objekta, stvari ali subjekta, predstavlja potencialno ali dejansko vrednost za organizacijo (Maletič in Maletič, 2023). Cilj obvladovanja premoženja je generiranje vrednosti iz tega premoženja, pri čemer lahko vplivamo na uspešnost in učinkovitost organizacije.

Tradicionalni pristopi k vzdrževanju fizičnih sredstev pogosto ne zajemajo celotnega življenjskega cikla, kar omejuje razumevanje na fazo delovanja (Liyanaage in Badurdeen, 2009). Pogosto se organizacije osredotočajo le na posamezne segmente vzdrževalnih procesov, kar otežuje celostno upravljanje (Pacaiova idr., 2012). Glede na to, da stroški vzdrževanja predstavljajo pomemben delež stroškov proizvodnje, je ključno obravnavati to področje celostno.

Obvladovanje premoženja postaja še bolj ključno v kontekstu globalizacije, konkurenčnega pritiska in ciljev zmanjševanja stroškov ter izboljšanja kakovosti (Liyanaage in Badurdeen, 2009). Proizvodna podjetja so pod pritiskom za zmanjšanje stroškov, kjer stroški vzdrževanja predstavljajo od 15 do 40 odstotkov stroškov proizvodnje (Dunn, 1987). Obvladovanje premoženja lahko pomembno vpliva na finančno uspešnost organizacije, saj prinaša koristi v zmanjšanju stroškov, izboljšanju operativne učinkovitosti, obvladovanju investicij, tveganj ter celotnega življenjskega cikla fizičnih sredstev (Waeyenbergh in Pintelon, 2002).

Spremembe v zadovoljstvu kupcev, družbeni odgovornosti, pridobivanju tržnega deleža in konkurenčnosti postajajo očitne skozi zagotavljanje kakovostnih izdelkov po konkurenčnih cenah. Obvladovanje premoženja zajema aktivnosti skozi celoten življenjski cikel, vključno s planiranjem in končno odstranitvijo fizičnih sredstev iz proizvodnje (Amadi-Echendu, 2004). Razumevanje različnih faz življenjskega cikla je ključno za obvladovanje premoženja, saj je cilj ustvarjanje vrednosti skozi celoten cikel (Schuman in Brent, 2005; Maletič, 2015; Maletič idr., 2017; Maletič idr., 2023; Almeida idr., 2022).

Osnovna načela za ustrezno podporo odločanju v sistemu obvladovanja premoženja vključujejo usmerjenost k celotnemu življenjskemu ciklu, sistemsko usmerjenost, usmerjenost k tveganjem ter usmerjenost k sredstvom (Roda in Macchi, 2016). Ta

načela omogočajo dolgoročno usmerjanje odločanja, celovit pristop k sistemom obvladovanja premoženja, upoštevanje tveganj ter poudarek na podatkih za premišljene poslovne odločitve.

Skupno gledano je obvladovanje premoženja ključna dejavnost za organizacije, ki želijo uspešno ustvarjati vrednost iz svojega premoženja. S tem se lahko odzivajo na izzive globalizacije, konkurence ter pritiskov za zmanjšanje stroškov, obenem pa optimizirajo dobičkonosnost in operativno učinkovitost (Maletič idr., 2020).

Kljub temu pa se postavlja nekaj vprašanj: Kaj dejansko pomeni imeti DT za fizično premoženje/sredstvo? Kakšna je vloga DT na področju obvladovanja premoženja/sredstev? Različne industrije že leta uporabljajo paradigmo DT, da bi zmanjšale tveganja, ugotovljena pri sredstvih, ter izboljšale sledljivost, vzdrževanje in analitično izboljšanje njihovega življenjskega cikla (Errandonea idr., 2020).

Digitalni dvojčki so pridobili pozornost v številnih industrijah zaradi svoje sposobnosti ustvarjanja natančnih virtualnih reprezentacij predmetov in simulacije operativnih procesov. V letu 2019 je raziskava napovedala, da bo do leta 2020 kar 75% organizacij uporabljalo digitalne dvojčke v povezavi z Internetom stvari (IoT). Nadaljnja napoved za leto 2027 kaže, da bo več kot 40% velikih podjetij vključevalo digitalne dvojčke v svoje projekte za povečanje prihodkov (Gartner, 2019). Po ocenah Global Market Insight naj bi se tržna velikost digitalnih dvojčkov do leta 2032 povečala po letni stopnji rasti približno za 25%. V skladu s poročilom globalnega tehnološkega raziskovanja naj bi se trg digitalnih dvojčkov skoraj podvojil od leta 2021 do 2026 in dosegel stopnjo skoraj 32 milijard dolarjev. Tudi izvršni direktorji v različnih industrijah načrtujejo, da bodo do leta 2028 vključili digitalne dvojčke v svoje operacije (Global Market Insight, 2022).

Pričakuje se, da se bodo digitalni dvojčki še naprej povezovali z drugimi tehnologijami, kot so govor, obogatena resničnost, Internet stvari (IoT) in umetna inteligenca (AI). Kot rezultat so digitalni dvojčki postali ključni tehnološki trend, Gartner pa napoveduje, da jih bo do leta 2021 uporabljala polovica velikih industrijskih podjetij v ključnih poslovnih aplikacijah. Trg digitalnih dvojčkov kaže izjemno rast, saj podjetja v proizvodnji iščejo načine za zmanjšanje stroškov in izboljšanje operacij dobavne verige. Glede na napovedi naj bi trg dosegel vrednost

73,5 milijarde dolarjev do leta 2027, s srednjo letno stopnjo rasti (CAGR) več kot 60 odstotkov.

Digitalni dvojčki predstavljajo vrhunsko tehnologijo, ki omogoča odsevanje praktično vsakega vidika izdelka, procesa ali storitve v digitalnem prostoru. Njihov potencial omogoča podjetjem hitro zaznavanje in reševanje fizičnih težav ter ustvarjanje boljših izdelkov. Te tehnologije tudi omogočajo izboljšanje poslovnih procesov in uspešnost podjetij. Kljub temu, da koncept digitalnih dvojčkov ni nov, se je v zadnjih letih hitro razvil in postal del realnosti. Digitalne tehnologije bodo tako olajšale razvoj praks na področju vzdrževanja in širše obvladovanja premoženja. Managerji morajo poznati premoženja, ki jih upravljajo, da bi izboljšali organizacijsko znanje in odločanje ter povečali vrednost, ki jo ustvarja portfelj premoženja. Zato je obvladovanje premoženja aktivnost, ki zahteva veliko podatkov, managerji pa potrebujejo orodja in postopke za učinkovito zbiranje, združevanje, obvladovanje, analiziranje in uporabo teh podatkov. V zvezi s temi pristopi, ki temeljijo na Industriji 4.0, kot je DT, prispevajo k odločanju o obvladovanju premoženja in ustvarjanju vrednosti (Vieira idr., 2022). Vsled navedenega bi izpostavili uporabnost DT v vseh fazah življenjskega cikla (t.j. od načrtovanja, pridobitve obratovanja, vzdrževanja, do končne odstranitve). Pa vendar trenutna stopnja uporabe še ne dosega zahtevane ravni Industrije 4.0 (Maletič in Maletič, 2024; Maletič, Grabowska in Maletič, 2023). Pričujoče poglavje se osredotoča na celovit pregled literature s področja DT v povezavi z obvladovanjem premoženja.

## **2 Teoretično ozadje**

### **2.1 Sistem obvladovanja premoženja**

Organizacije, ki so uvedle sisteme v skladu s zahtevami, kot so ISO 9001 ali ISO 14001, bodo opazile, da ima ISO 55001 zelo podobno strukturo. Vse standarde ISO za sisteme obvladovanja odlikuje skupna struktura visoke ravni in temeljijo na modelu planiraj-izvajaj-preverjaj-ukrepaj. To pomeni, da vsi ti standardi obravnavajo enake teme, v našem primeru s poudarkom na obvladovanju sredstev. Med teme spadajo (ISO 55001, 2014):

- **Kontekst organizacije:** Organizacija mora upoštevati potrebe in pričakovanja svojih deležnikov ter uskladiti cilje obvladovanja premoženja s strateškimi cilji organizacije. Poleg tega mora organizacija določiti obseg svojega sistema obvladovanja sredstev. Na primer, organizacija se lahko odloči, da omeji obseg na eno enoto ali eno regijo, preden uvede sistem obvladovanja sredstev za vse svoje dejavnosti.
- **Vodenje:** Vodstvena ekipa organizacije mora dokazati svojo zavezanost obvladovanju sredstev z zagotavljanjem potrebnih virov in razvojem politike obvladovanja sredstev, ki jo morajo razumeti in spoštovati vsi zaposleni v organizaciji. Prav tako zagotavlja potrebno pooblastilo in podporo zaposlenim, da lahko učinkovito opravljajo svoje naloge.
- **Načrtovanje:** Zahtevani so jasni cilji in načrti za njihovo doseg, vključno s koordinacijo z drugimi funkcijami v organizaciji, kot so finance, kadri, itd. Organizacija mora tudi dokumentirati svoje načrte (npr. strateški načrt obvladovanja sredstev) ter zagotoviti, da so upoštevana tveganja in priložnosti, povezana s tem načrtom.
- **Podpora:** Zagotoviti je treba, da so potrebni viri na voljo, da so zaposleni, vključeni v obvladovanje premoženja, usposobljeni, da je preostanek organizacije seznanjen s sistemom, ter da so vzpostavljeni ustrezni komunikacijski mehanizmi. Prav tako poudarja potrebo po določitvi informacijskih zahtev (npr. register sredstev). Informacije je treba dokumentirati, ne le zaradi zakonskih ali regulativnih zahtev, temveč tudi zaradi skladnosti s sistemom obvladovanja sredstev (npr. potreba po pisni politiki obvladovanja sredstev). Finančna sredstva in podatki se pogosto delijo med različnimi oddelki, kar poudarja potrebo po uskladitvi, katere informacije se vzdržujejo.
- **Delovanje:** Zahteva vzpostavitev potrebnih procesov in kontrolnih mehanizmov za izvajanje načrtov obvladovanja sredstev. Prav tako obravnava pomembnost obvladovanja sprememb, potrebnih za doseg ciljev obvladovanja premoženja. Nazadnje zahteva, da organizacija oceni in obvladuje tveganja vseh zunanjih dejavnosti, povezanih s področjem obvladovanja sredstev.
- **Vrednotenje izvedbe:** Standard zahteva, da organizacija spremlja, meri in analizira uspešnost svojih sredstev, funkcije obvladovanja premoženja ter samega sistema obvladovanja premoženja. Vodstvo naj redno pregleduje te



informacije, da oceni potencialna tveganja in prepozna priložnosti za izboljšave.

- Izboljševanje: Za zaključek cikla planiraj-izvajaj-preverjaj-ukrepaj mora organizacija neprestano izboljševati svoje procese in sistem obvladovanja premoženja. Pomembno je, da ima postopke za obravnavo kršitev in razvoj preventivnih ukrepov, kjer je to potrebno.

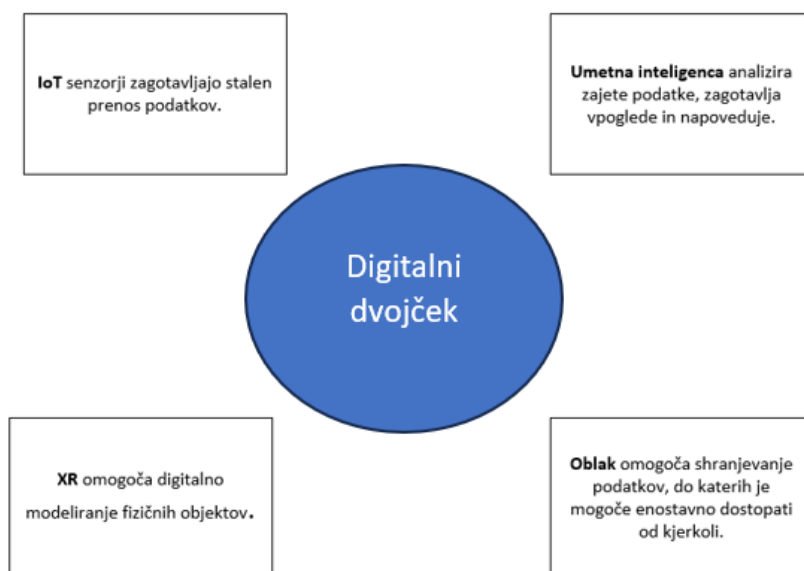
## **2.2 Digitalni dvojčki**

Digitalni dvojčki se osredotočajo na zbiranje, modeliranje in uporabo podatkov. Za zbiranje in shranjevanje podatkov v realnem času uporabljajo tehnologije, kot so Internet stvari (IoT), umetna inteligenca (AI), razširjena resničnost (XR) in računalništvo v oblaku. Odvisno od vrste aplikacije pa lahko uporabljamo različne tehnologije v večjem ali manjšem obsegu (Attaran in Celik, 2023; Lv in Xie, 2021; Attaran, 2017; Shu, Wan in Zhang, 2016). Na kratko bomo predstavili te štiri tehnologije, ki jih lahko uporabljamo za zbiranje in shranjevanje podatkov:

- IoT, kot obsežno omrežje povezanih entitet, bo v vsaki aplikaciji digitalnih dvojčkov do leta 2027 prispevalo več kot 90% platform IoT zmožnosti digitalnega dvojčkanja. S pomočjo senzorjev za pridobivanje podatkov iz resničnega sveta in prenosa podatkov prek omrežja IoT ta tehnologija omogoča nenehno posodabljanje podatkov in ustvarjanje realno-virtualne predstavitve fizičnih objektov.
- Računalništvo v oblaku, kot zagotavljanje storitev prek interneta, ključno prispeva k digitalnim dvojčkom. S tehnologijo shranjevanja in dostopa do podatkov prek interneta omogoča učinkovito obdelavo kompleksnih sistemov in rešuje izzive pri shranjevanju obsežnih podatkov.
- Umetna inteligenca (AI) z uporabo nevronske mreže, strojnega učenja in drugih sistemov omogoča digitalnim dvojčkom napredna analitična orodja za samodejno analizo podatkov ter zagotavljanje dragocenih vpogledov in napovedi o rezultatih.
- Razširjena resničnost (XR), ki vključuje VR, AR in MR, omogoča digitalnim dvojčkom interaktivnost med virtualnimi in resničnimi objekti v realnem času. Ta tehnologija ima obširen potencial uporabe v različnih industrijah, vključno s proizvodnjo, kjer digitalni dvojčki pomagajo pri nadzoru,

simulaciji in oddaljenem upravljanju fizičnih sredstev ter prispevajo k inovacijam in izboljšanju storitev.

Digitalni dvojčki v proizvodnji omogočajo inteligentnejše odločanje in napovedovalno delovanje, kar pripomore k boljšemu zadovoljstvu strank in učinkovitejšemu prilagajanju njihovim potrebam (Attaran in Celik, 2023). Na Sliki 1 je prikazan teoretični del še v obliki slike.



**Slika 1: Tehnologije digitalnih dvojčkov**

Vir: prirejeno po Attaran in Celik, 2023

Digitalni dvojčki predstavljajo potencial za velik napredek v primerjavi s sedanjo prakso obvladovanja premoženja, saj nadomeščajo zamudne, neučinkovite, subjektivne in drage tehnike s hitrimi, objektivnimi ter avtomatiziranimi postopki. Kot primer si lahko ogledamo mostove, ki se trenutno ročno pregledujejo (vizualno ocenjevanje) v Evropi in Združenih državah Amerike, pri čemer je strošek približno 600 milijonov dolarjev letno, in jih je več kot 720.000 (Arisekola in Madson, 2023).

Uporaba video kamer ali laserskih skenerjev za ustvarjanje 3D modelov mostov ter avtomatsko zaznavanje napak, povezanih s tem modelom, lahko bistveno zmanjša stroške in čas takega pregleda. Raziskave in implementacija digitalnih dvojčkov so

postale izjemno razširjene po prelomnem delu Michaela Grievesa o obvladovanju življenjskega cikla izdelkov v začetku 2000-ih. Dejansko je ugotovljeno, da se je povpraševanje po digitalnih dvojčkih povečalo s 3,8 milijarde USD na 36 milijard USD (Sepasgozar).

Analiza raziskovalnih uporabnih primerov je zagotovljena za olajšanje razumevanja funkcionalnosti in značilnosti digitalnih dvojčkov za podporo obvladovanju premoženja. Uporabni primeri, povezani z različnimi raziskovalnimi projekti, v katerih so avtorji sodelovali, so preslikani v okvir obvladovanja sredstev. Okvir (Roda in Macchi, 2016) se dejansko uporablja za organizacijo različnih vrst odločitev glede na faze življenjskega cikla sredstva, (začetek življenja (BOL), sredina življenja (MOL) in konec življenja (EOL)), ter ravni nadzora sredstva (strateška, taktična in operativna raven) (Macchi idr., 2018).

S petimi izbranimi primeri bodo za vsakega od njih navedene nekatere podrobnosti, ki poudarjajo, kako lahko postopek odločanja, povezan z opremo, podpre modeliranje digitalnih dvojčkov (DT) (Roda in Macchi, 2016):

- Konfiguracija sredstva – Uporaba DT za modeliranje proizvodne linije, oceno sistemskih lastnosti ter napoved celotnih stroškov lastništva (TCO).
- Ponovna konfiguracija sredstva – DT se uporablja za modeliranje kompleksnih proizvodnih enot, oceno sistemskih lastnosti, napoved TCO in izbor optimalne rekonfiguracijske alternative. Ponovna konfiguracija in načrtovanje sredstva – DT kot semantični podatkovni model v kontrolnem sistemu za proizvodne sisteme, osnova za odprti izvršilni sistem ter podpora rekonfiguraciji in načrtovanju sredstev.
- Spremljanje in vzdrževanje sredstev – DT za modeliranje ključnih sredstev v proizvodnem okolju, vključno s podatki v realnem času, zgodovinskimi informacijami in evidencami vzdrževanja. Pomaga pri spremljanju zdravja sredstev, napovedovanju vzdrževanja ter optimizaciji urnikov za optimalno uspešnost.
- Odločanje o koncu življenjske dobe sredstva – Uporaba DT za simulacijo scenarijev konca življenjske dobe sredstev v proizvodnem objektu. DT prispeva k informiranim odločitvam o odstranitvi, zamenjavi ali obnovitvi premoženja, kar optimizira skupne stroške življenjske dobe.

Ti primeri ilustrirajo vsestranskost modeliranja digitalnih dvojčkov pri podpori različnim vidikom obvladovanja življenjskega cikla premoženja, od začetne konfiguracije in ponovne konfiguracije, do spremljanja, vzdrževanja in odločitev o koncu življenjskega cikla. Integracija semantičnih podatkovnih modelov in analitike v realnem času prek digitalnih dvojčkov prispeva k izboljšanim procesom odločanja na področju obvladovanja premoženja.

Primer se nanaša na proizvodni obrat v prehrabni panogi, kjer je podjetje želelo podporo pri oblikovanju novega obrata v začetni fazi življenjske dobe (BOL). Prav tako so razmišljali o možnostih uporabe te podpore v srednji fazi življenjske dobe (MOL) obrata. Za rešitev teh izzivov so razvili digitalni dvojnik (DT) obrata, ki temelji na stohastični simulaciji in vključuje zanesljiv model obrata. Uporaba DT je omogočila oceno alternativnih rešitev oblikovanja in oceno celotnih stroškov lastništva (TCO) obrata. Podobno je bila izvedena študija primera v jeklarskem obratu, kjer je bil glavni izziv podpora odločanju o vzdrževalnih dejavnostih v srednji fazi življenjske dobe kritičnega sredstva. Tudi tu je bila uporaba DT ključna za izboljšano odločanje o vzdrževanju na operativni ravni, s čimer so se zmanjšali časi zastojev in se je povečala varnost. Raziskovalni projekti kažejo, da lahko DT prispeva k boljšemu obvladovanju življenjskega cikla sredstva, predvsem z napovedovanjem uspešnosti in vedenja sistema ter izboljšanim odločanjem o vzdrževanju v samem obvladovanju premoženja (Macchi idr., 2018). Rezultati tega primera so prikazani v Tabeli 1.

**Tabela 1: Življenjski cikel premoženja**

Stopnje nadzora premoženja	Strateški nivo	1	2	
	Taktični nivo		3	
	Operativni nivo		4 5	
Začetna faza življenjske dobe		Srednja faza življenjske dobe		Končna faza življenjske dobe
Faza življenjskega cikla premoženja				

Vir: prirejeno po Macchi idr., 2018

V kompleksnem okolju, kot je železniška infrastruktura, se lahko digitalni dvojnik obravnava kot sistem IAM. Vključuje podatke, omrežje storitev in aplikacije za končne uporabnike, ki si prizadevajo olajšati upravljanje infrastrukture in sodelovanje med storitvami. Študija se osredotoča na izboljšanje koordinacije med pripravo na vzdrževanje in uporabo digitalnega dvojnika infrastrukture za

načrtovanje vzdrževanja. Metodološki okvir CSCW (podpora računalniško podprtemu sodelovanju) se uporablja za združevanje etnografije, uporabniško usmerjenega oblikovanja in tehnoloških sond. Raziskava je razkrila tri ključne vidike (Stalder, Ducellier, Lewkowicz, 2023):

- Koordinacija trkov: Koordinatorji ročno identificirajo trke med načrtovanjem. Vključujejo utelešenje zahteve in pregled koordinacijskega diagrama. Tehnološka sonda je bila predstavljena za avtomatizacijo odkrivanja trkov z uporabo digitalnega dvojnika SNCF Réseau.
- Geografski zemljevid: Koordinatorji uporabljajo zemljevid za situacijsko označevanje urnika, vendar opazijo pomanjkanje podrobnosti za upravljanje artikulacije dela. Raziskava kaže, da bi lahko diagrami zagotovili boljši vpogled v vzporedne tire.
- Ocena kakovosti podatkov: Tehnološka sonda je razkrila izgubo podatkov med digitalnim dvojnikom in uporabniškimi podatki. Kljub temu je koncept pomemben, saj lahko zmanjša napake v urniku in prispeva k izboljšanju koordinacije.

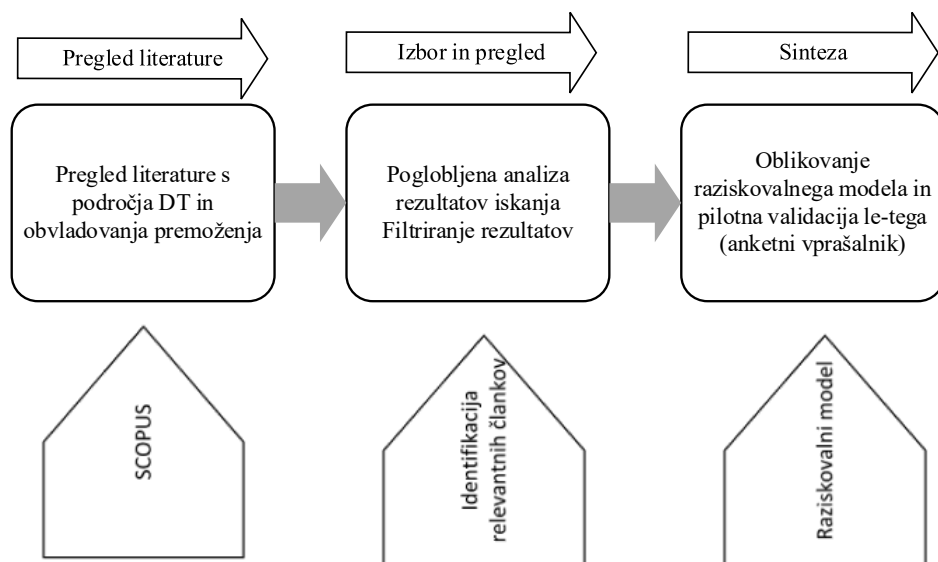
Analiza koordinacijskih praks je vodila k identifikaciji funkcij, ki jih ni prepoznalo podjetje SNCF Réseau. Kljub temu pa kaže, da bi morala bodoča aplikacija izboljšati zaznavanje in vizualizacijo zemljevida, da bi postala uporabna v industriji. Potrebno bo premagati semantično vrzel in omogočiti koordinatorjem, da dodajo lokalni opis infrastrukture v podatkovno bazo. Če te izzive premagamo, bi lahko aplikacija spremenila način, kako koordinatorji načrtujejo delo in se ukvarjajo s koordinacijskimi trki v urniku (Stalder, Ducellier, Lewkowicz, 2023).

### **2.3 Metodološka izhodišča**

Metodologija raziskave se zdi zelo pomembna, saj lahko raziskovalcem pomaga opredeliti potrebne korake za doseg cilja študije. Raziskava je bila izvedena na podlagi sekundarnih podatkov. Informacije in podatki za raziskovalno delo so bili zbrani iz različnih virov, predvsem iz znanstvenih revij. Študija vključuje identifikacijo, izbor in analizo ustreznih člankov. V ta namen smo upoštevali korake in smernice, predlagane v prejšnjih raziskavah (Jesson, Matheson in Lacey, 1. izd.,

2011; Fink, 4. izd., 2019). Prva dva koraka sta pojasnjena v tem razdelku, četrti korak (ekstrakcija in sinteza) pa bo obravnavan v naslednjih razdelkih.

Za identifikacijo, izbor in analizo ustreznih člankov smo uporabili korake, opisane v prejšnjem razdelku. V skladu s tem je ta študija razdeljena na tri glavne faze: (1) oblikovanje problema, ki ga je treba rešiti s sistematičnim pregledom literature; (2) iskanje in izbira člankov; (3) pridobivanje in vrednotenje kritičnih dejavnikov uspeha. V prvi fazi smo opredelili problem, ki ga je treba rešiti. Glavno raziskovalno vprašanje se je glasilo: "Kateri so najpomembnejši kritični dejavniki uspeha, ki lahko vplivajo na uspešnost uvedbe sistema obvladovanja sredstev?" Logika študije je prikazana na Sliki 2.



**Slika 2: Logika študije**

Vir: lasten

Uporabili bomo sistematični pregled literature in vključili študije primera. Glede na ključne ugotovitve in pa predloge bomo ocenili stanje zrelosti digitalnih dvojčkov pri obvladovanju premoženja. Za analizo in vizualizacijo podatkov pregleda literature bomo uporabili prosto dostopen program VOSviewer ([www.vosviewer.com](http://www.vosviewer.com)) (van Eck in Waltman, 2010).

Sistematični pregled literature je "jasno oblikovano vprašanje, ki uporablja sistematične in eksplicitne metode za identifikacijo, izbor ter kritično oceno relevantnih raziskav, ter zbiranje in analizo podatkov iz vključenih študij v pregledu" (Moher idr., 2009, str. 1). Sistematični pregled išče literaturo po dokumentiranem postopku ali okviru, podrobno opisuje metode in omogoča transparentnost in ponovljivost za druge (Grant in Booth, 2009). To omogoča nadaljnjo analizo in sintezo literature ter podatkov v njej za odgovor na raziskovalna vprašanja (Borrego, Foster in Froyd, 2015).

V tem sistematičnem pregledu literature je bil uporabljen protokol izjava o prednostnih poročilih za sistematične preglede in metaanalize (PRISMA) (Moher idr., 2009). S pomočjo izjave PRISMA je bila literatura, pridobljena med sistematičnim pregledom literature, presejana glede na določen seznam kriterijev, ki temeljijo na uporabljenih praksah obvladovanja premoženja in na raziskovalnem vprašanju.

Proces sistematičnega pregleda literature je treba upravljati, da se omeji morebitna pristranskost zbranih publikacij (Knobloch, Yoon in Vogt, 2011). To obvladovanje zmanjševanja pristranskosti se izvaja s pomočjo strukturiranega procesa, kot je PRISMA, med identifikacijo, zbiranjem in pregledom člankov, ki ustrezajo podrobnim kriterijem (Shamseer idr., 2015). Razpravljalo se je o različnih možnih tehnikah iskanja, kot so iskanje citatov, seznam referenc in rast biserov (Papaioannou idr., 2009). Odločeno je bilo, da se bo kot osnovna tehnika iskanja uporabljalo iskanje po podatkovnih bazah. Avtorji so se tudi odločili, da bo kot dodatna tehnika iskanja uporabljeno pregledovanje ciljno usmerjenih konferenčnih prispevkov, povezanih z obvladovanjem premoženja, kar je bilo vključeno za usmerjanje na konference s področja inženiringa in obvladovanja premoženja. Ta dodatna tehnika je bila vključena, da omogoča ciljano iskanje konferenčnih prispevkov v zvezi s pojmi iskanja. Ti bodo navedeni v PRISMA-diagramu kot "dodatni zapisi" (Munn idr., 2021).

Poglavje obravnava primerjalno analizo okvirov za obvladovanje premoženja na strateškem nivoju, in sicer na podlagi sistematičnega pregleda literature. Sistematični pregled je sledil znanstvenemu postopku za zmanjšanje pristranskosti in je vključeval tri glavne faze:

- Zbiranje podatkov: Uporabljena je bila podatkovna baza Scopus, ki omogoča dostop do različnih znanstvenih baz. Iskanja s ključnimi besedami so vključevala izraze, kot so »asset management« AND »digital twin« in »asset management« AND »lifecycle« AND »digital twin«.
- Opisna analiza in izbira kategorij: V tej fazi so bili ocenjeni formalni vidiki podatkov, izbrane pa so bile kategorije za razvrstitev rezultatov glede na vrsto okvira, področje uporabe, raven odločanja, skupine kazalnikov in prakse obvladovanja z negotovostjo.
- Evalvacija podatkov: Material je bil tematsko analiziran glede na izbrane kategorije. Veljavnost in zanesljivost rezultatov sta bili povečani z uporabo interaktivnega procesa za ustvarjanje konceptualnega okvira. Pri analizi podatkov so iskali nastajajoče klasifikacije, skupine kazalnikov in vzorce (Hanski, Ojanen, 2020).

### 3 Rezultati

VOSviewer je orodje za ustvarjanje zemljevidov na podlagi omrežnih podatkov ter za vizualizacijo in raziskovanje teh zemljevidov. Omogoča ustvarjanje zemljevidov na osnovi obstoječih omrežij ali pa lahko omrežje najprej konstruiramo sami. Z njim lahko gradimo omrežja znanstvenih publikacij, znanstvenih revij, raziskovalcev, raziskovalnih organizacij, držav, ključnih besed ali izrazov. Elemente v teh omrežjih povezujejo različne vrste povezav, kot so soavtorstvo, so-pojavitev, citiranje, bibliografsko povezovanje ali so-citacijske povezave. Podatke za gradnjo omrežja lahko zagotovimo VOSviewerju v obliki datotek iz bibliografskih baz podatkov, kot so Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens in PubMed, ali pa datotek iz upravljalcev referenc, kot so RIS, EndNote in RefWorks. Poleg tega VOSviewer omogoča tudi prenos podatkov preko različnih vmesnikov API, na primer Crossref API, OpenAlex API, Europe PMC API in drugih.

Pri prikazu omrežja se elementi ponavadi označujejo s svojimi oznakami in privzeto tudi s krogi. Velikost oznake in kroga elementa je odvisna od teže elementa - večja teža pomeni večjo oznako in krog. Včasih oznake za nekatere elemente morda niso prikazane, kar preprečuje prekrivanje. Barva elementov je določena glede na pripadajočo skupino. Črte med elementi pa predstavljajo povezave. Privzeto je prikazanih največ 1000 črt, ki predstavljajo najmočnejše povezave med elementi.



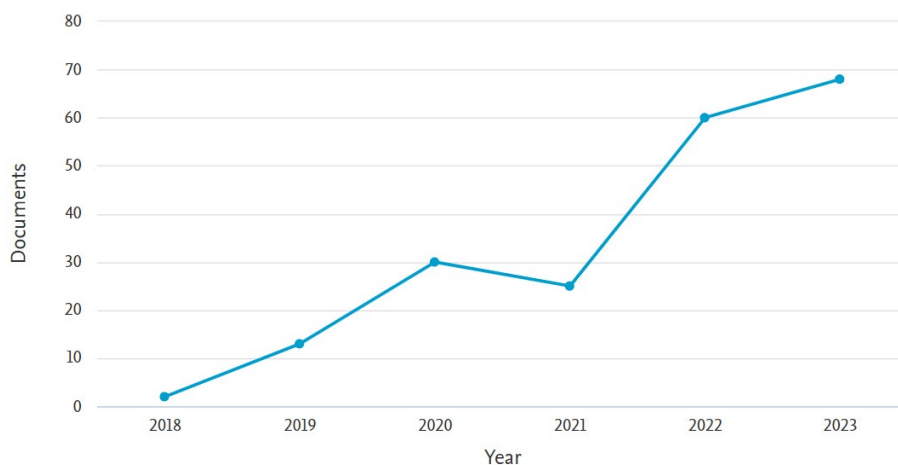
Pri sistematičnem pregledu literature smo uporabili multidisciplinarno bibliografsko zbirko Scopus, pri čemur smo uporabili dva iskalna niza.

**Prvi iskalni niz:** "asset management" AND "digital twin"

Rezultat: 209 zadetkov

Slika 3 prikazuje naraščanje vsote dokumentov za posamezno leto na temo asset managementa in digital twin. Lahko vidimo, da je bilo leta 2018 samo nekaj dokumentov, v letu 2023 pa je število naraslo že na malo manj kot 70 dokumentov.

Documents by year



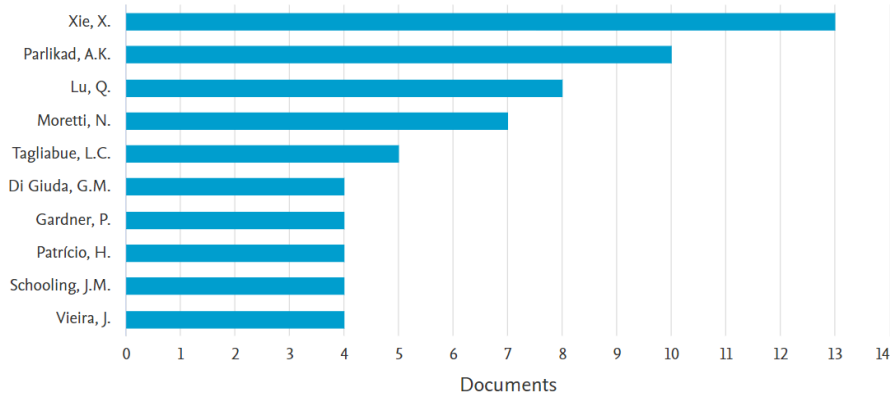
**Slika 3: Pregled dokumentov po letih**

Vir: SCOPUS

Slika 4 prikazuje pogostost pojavljanja avtorjev na temo asset managementa in pa digital twina. Vidimo, da je največ vsebine ustvaril avtor Xie X., sledita pa mu Parlikad A. K. in Lu Q.

### Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



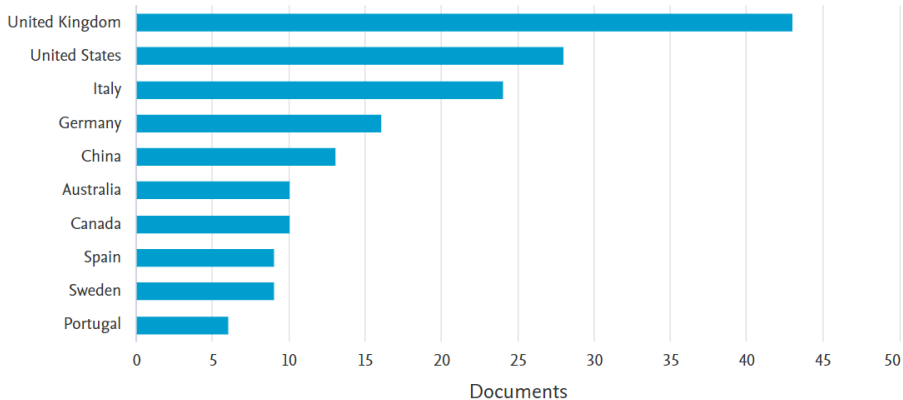
**Slika 4: Pregled dokumentov po avtorjih**

Vir: SCOPUS

Iz Slike 5 je razvidno, v kateri državi se je pojavilo največ dokumentov v prvem iskalnem nizu. Izstopajo naslednje tri države: Združeno kraljestvo, Združene države Amerike in Italija.

### Documents by country or territory

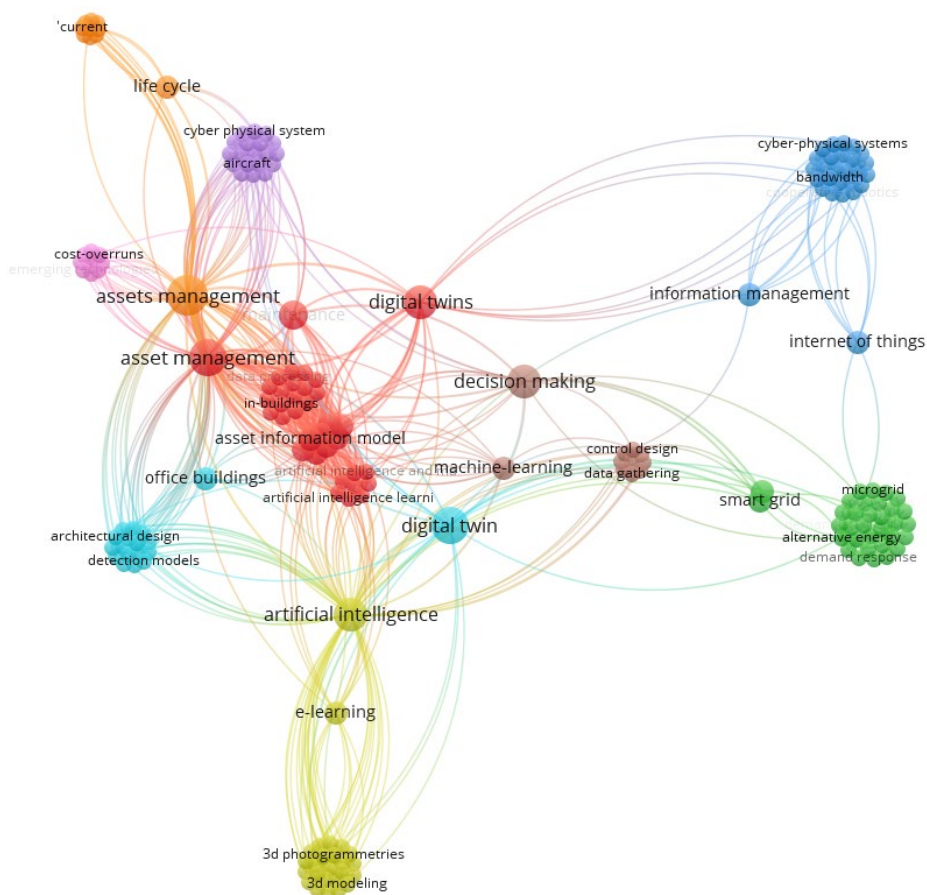
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



**Slika 5: Pregled dokumentov po državah (1)**

Vir: SCOPUS

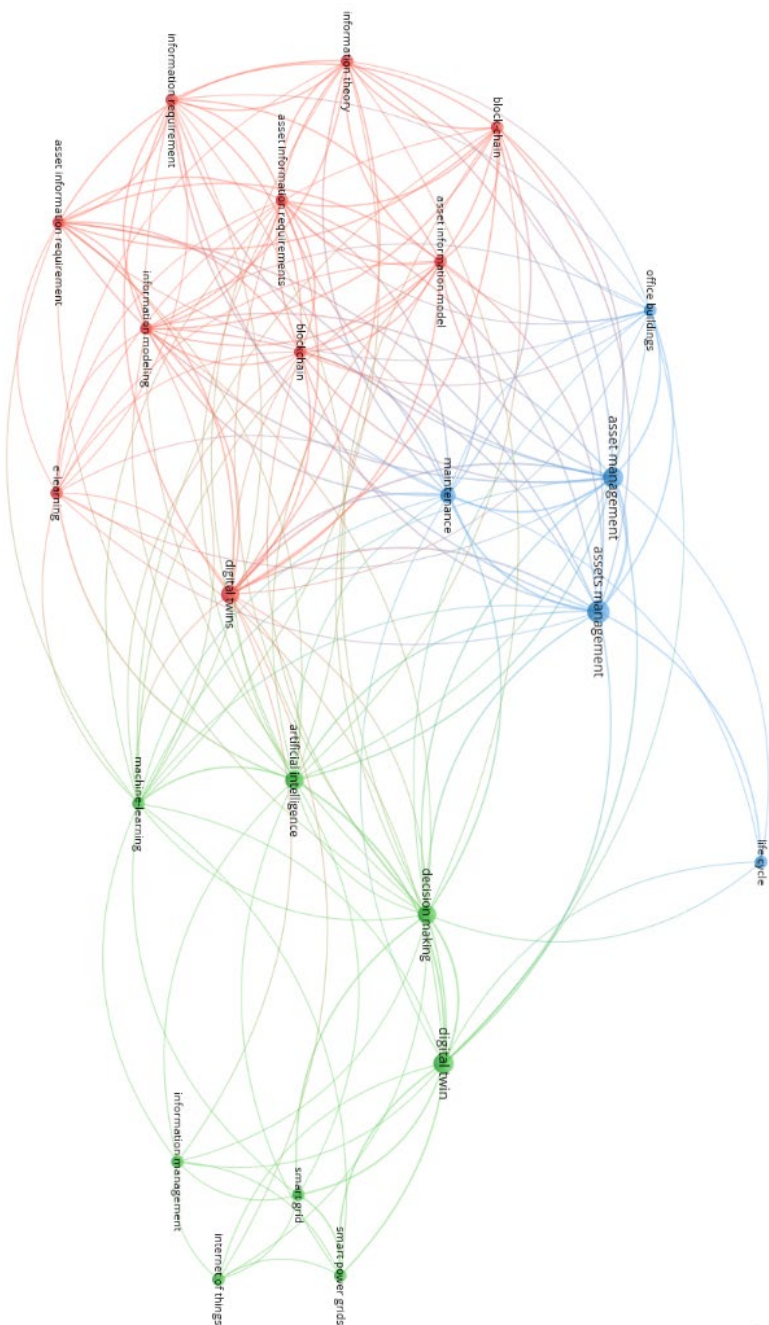
Iz Slike 6 je razvidno, da prikazuje najpogostejše ključne besede, ki se pojavljajo na temo asset managementa in digital twin. Največkrat se pojavijo besede asset management, asset information model, decision making in artificial intelligence.



Slika 6: Vizualizacija omrežja glede na ključne besede prvega iskalnega niza

Vir: VOSviewer

Slika 7 prikazuje, da so najpomembnejše besede digital twins, block-chain, asset information model in asset information requirements.



Slika 7: Omrežna analiza besed

Vir: VOSviewer

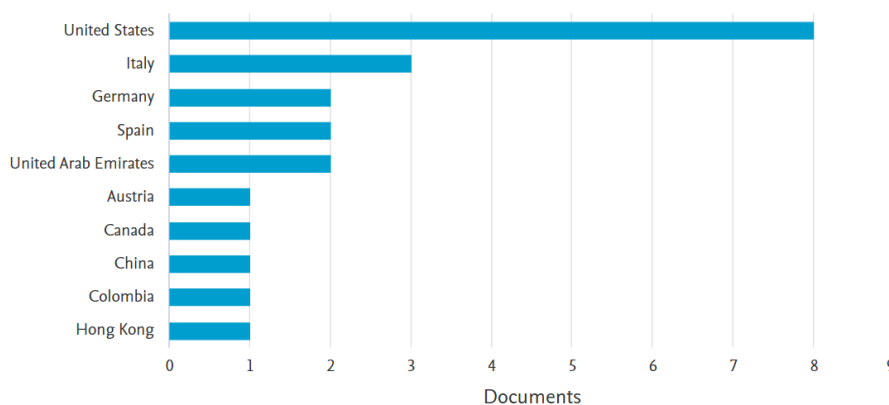
## Drugi iskalni niz: "asset management" AND "lifecycle" AND "digital twin"

Rezultat: 25 zadetkov.

Slika 8 prikazuje, v katerih državah je največ dokumentov v drugem iskalnem nizu. Najbolj izstopajo Združene države Amerike, nato pa Italija in Nemčija.

### Documents by country or territory

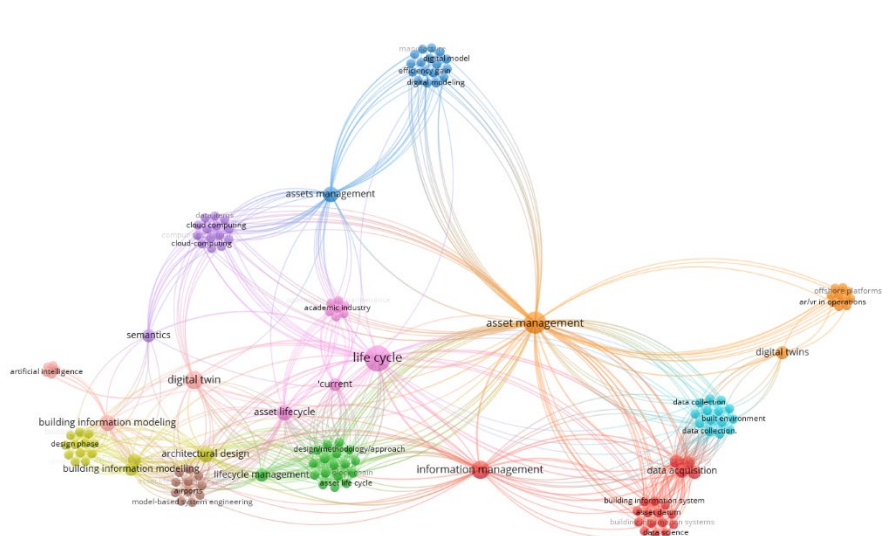
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Slika 8: Pregled dokumentov po državah (2)

Vir: SCOPUS

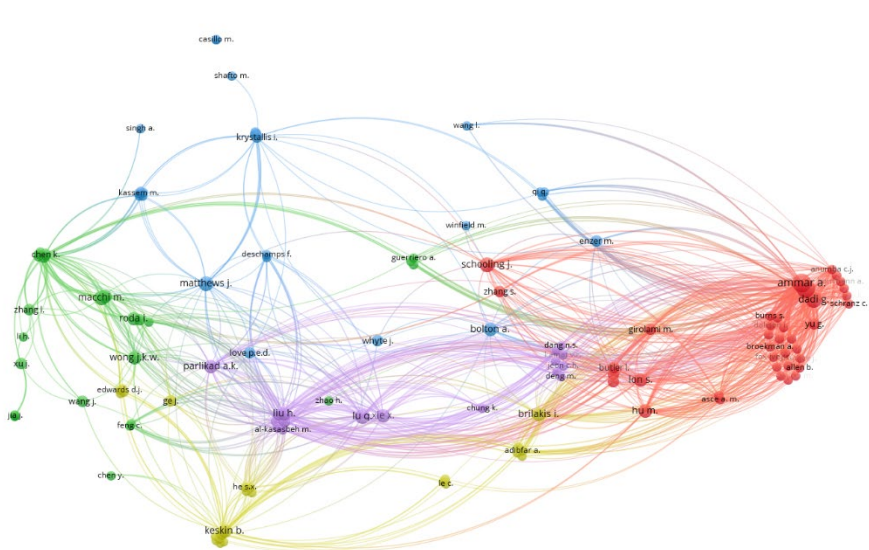
Slika 9 prikazuje najpogosteje uporabljene besede na temo asset management, lifecycle in digital twin. Najpomembnejše besede so information management, data acquisition, building information system in data science.



Slika 9: Vizualizacija omrežja glede na ključne besede drugega iskalnega niza

Vir: VOSviewer

Na Sliki 10 je prikaz povezanosti avtorjev na temo asset management, lifecycle in digital twin. Najpomembnejši so Schooling, Girolami, Hu in Ammar.



Slika 10: Vizualizacija omrežja glede na avtorje

Vir: VOSviewer

## 4 Diskusija in zaključek

Poglavje preko pregleda literature izpostavlja uporabnost DT na področju obvladovanja premoženja. Kot je tudi razvidno iz literature, bi izpostavili uporabnost na področju simulacije in modeliranja, nadzora in spremljanja, analitične in prediktivne zmogljivosti. Le-to ustvarja pomembne vplive med delovanjem premoženja, načrtovanjem in pridobivanjem, vzdrževanjem ter odzivanjem na incidente ali okvare (Vieira idr., 2022). V organizaciji učinki vključujejo bolj neposredne učinke, kot je znižanje operativnih stroškov (OPEX) in vpliv na kapitalske naložbe CAPEX ter večja razpoložljivost sistemov. Posredni vpliv se pogosto izraža v večjem zaupanju in zanesljivejšem odločanju ter v večjem sodelovanju in učinkovitosti notranjih procesov (Vieira idr., 2022).

Obstaja konvergenca med potrebami po podpori odločanja obvladovanja premoženja in koristmi, ki jih zagotavljajo funkcionalnosti digitalnih dvojčkov vzdolž življenjskega cikla premoženja. Glavna ugotovitev, ki izhaja, je, da se lahko digitalni dvojčki smatrajo za koncept z visokim potencialom za obvladovanje življenjskega cikla premoženja. Naslednje raziskave bodo pomembne za razvrstitev ključnih tehnologij, potrebnih za modeliranje digitalnih dvojčkov, s posebnim poudarkom na obvladovanju premoženja kot aplikacijskem področju. To bi lahko pomagalo podjetjem, da boljše obvladujejo premoženje, na primer z boljšim vzdrževanjem ali predvidevanjem težav, kar bi izboljšalo njihovo delovanje. To pomeni, da digitalni dvojčki lahko močno pomagajo pri obvladovanju premoženja. Za razvoj takih orodij in sistemov pa bo potrebno še veliko raziskav in dela. (Macchi idr., 2018).

Digitalni dvojčki predstavljajo inovativno tehnologijo, ki omogoča ustvarjanje natančnih virtualnih predstav fizičnih objektov in procesov. Njihova uporaba omogoča organizacijam boljše razumevanje in obvladovanje s svojim premoženjem skozi celoten življenjski cikel. Z možnostjo simuliranja operativnih procesov ter spremljanjem in analiziranjem podatkov v realnem času digitalni dvojčki omogočajo inteligentnejše odločanje in napovedovanje, kar lahko prispeva k izboljšanju učinkovitosti, zmanjšanju stroškov in povečanju zadovoljstva strank.

V obvladovanju sredstev se digitalni dvojčki izkažejo kot ključni element, ki omogoča celovito obvladovanje premoženja. Z združevanjem različnih tehnologij, kot so Internet stvari, računalništvo v oblaku, umetna inteligenca in razširjena resničnost, digitalni dvojčki omogočajo zbiranje, modeliranje in analizo podatkov na napreden način. Tako organizacijam pomagajo pri sprejemanju bolj informiranih odločitev, optimizaciji delovanja in ohranjanju konkurenčnosti na trgu.

Pričakovana rast uporabe digitalnih dvojčkov v prihodnosti kaže na njihovo vse večjo pomembnost v poslovnem okolju. Napovedi kažejo na široko uporabo teh tehnologij v različnih industrijah, kar bo prispevalo k njihovemu še večjemu razvoju in izboljšanju. Pričakovati je, da se bodo digitalni dvojčki še naprej povezovali z drugimi tehnologijami, kar bo omogočilo še večje izkoristke in inovacije na področju obvladovanja sredstev.

Za organizacije je ključno, da digitalne dvojčke integrirajo v svoje poslovne procese na učinkovit in smiseln način. To vključuje ustrezno usposabljanje zaposlenih, vzpostavitev potrebnih komunikacijskih mehanizmov ter stalno spremljanje in analiziranje uspešnosti teh tehnologij. Le na ta način lahko organizacije izkoristijo polni potencial digitalnih dvojčkov in dosežejo želene koristi v obvladovanju premoženja (Attaran, Celik, 2023; Arisekola, Madson, 2023).

**Tabela 2: Avtorji na področju digitalnih dvojčkov**

Avtor	Vrsta raziskave	Ključne ugotovitve poučevanja
Arisekola, K. in Madson, K.	Pregled literature	Uporaba digitalnih dvojčkov za obvladovanje premoženja
Attaran, M., Celik, B. G.	Pregled literature	Koristi, uporabni primeri, izzivi in priložnosti digitalnih dvojčkov
Chiara, C., Elisa N., in Luca F.	Pregled literature	Aplikacije digitalnih dvojčkov v proizvodnji
Errandonea I. Beltran S. in Arrizabalaga, S.	Pregled literature	Digitalni dvojčki na področju vzdrževanja
Macchi, M. Roda, I., Negri, E. in Fumagalli, L.	Pregled literature	Raziskovanje vloge digitalnih dvojčkov pri obvladovanju življenjskega cikla premoženja

Vir: lasten



## Opombe

DT-digitalni dvojček/digitalni dvojnik

## Literatura

- Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D. in Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, 75, 101354.
- Amadi-Echendu, J. E. (2004). Managing physical assets is a paradigm shift from maintenance. Paper presented at the IEEE International Engineering Management Conference. doi:10.1109/IEEMC.2004.1408874
- Arisekola, K. in Madson, K. (2023). Digital twins for asset management: Social network analysis-based review. *Automation in Construction*, 150, 104833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833>
- Attaran, M., Celik, B. G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- Borrego, M., Foster, M. in Froyd, J. (2015). What Is the State of the Art of Systematic Review in Engineering Education? *Journal of Engineering Education*, 104(2), 212–242. doi:10.1002/jee.20069.
- Chiara, C., Elisa, N. in Luca, F. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130.
- Dunn, R. (1987). Advanced maintenance technologies. *Plant Engineering*, 40(12), 80-2.
- Errandonea, I., Beltrán, S. in Arriabalaga, S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. *Computers in Industry*, 123, 103316.
- Fink, A. (2019). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper* (4th ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
- Gartner. (2019). Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use. Retrieved from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream>
- Gartner. (2022). Top strategic technology trends, 2023. Retrieved from <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/globalassets/en/publications/documents/2023-gartner-top-strategic-technology-trends-ebook.pdf>
- Global Market Insight. (2022). Digital twin market. Retrieved from <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market>
- Grant, M. in Booth, A. (2009). A Typology of Reviews: An analysis of 14 Review Types and Associated Methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26, 91–108. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x
- Hanski, J. in Ojanen, V. (2020). Sustainability in strategic asset management frameworks: a systematic literature review. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, 3(4), 263–294.
- Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M. in Baudry, D. (2019). Digital twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 472–489.
- ISO 55001 (2014) Asset management — Management systems — Requirements. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- Jesson, J., Matheson, L. in Lacey, M. F. (2011). *Doing Your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques* (1st ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications Ltd.
- Knobloch, K., Yoon, U. in Vogt, P. (2011). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and Publication Bias. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 39(2), 91–92. doi:10.1016/j.jcms.2010.11.001

- Kylie Munn, Steven Goh, Marita Basson in David Thorpe (2021) Asset management competency requirements in Australian local government: a systematic literature review, *Australasian Journal of Engineering Education*, 26:2, 167-200, DOI: 10.1080/22054952.2021.1934262
- Ly, Z. in Xie, S. (2021). Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics. Retrieved from <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17524.1>.
- Macchi, M., Roda, I., Negri, E. in Fumagalli, L. (2018). Exploring the role of digital twin for asset lifecycle management. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 790–795.
- Maletič, D., Marques de Almeida, N., Gomišček, B., & Maletič, M. (2023). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control*, 34(15), 1497-1512.
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B. in Gomišček, B. (2020). An analysis of physical assetmanagement core practices and their influence on operational performance. *Sustainability*, 12(21), 9097.
- Maletič, D. in Maletič, M. (2024). An Exploration of Organisational Readiness for Industry 4.0: A Predictive Maintenance Perspective. *Quality Innovation Prosperity*, 28(1), 26–46. <https://doi.org/10.12776/qip.v28i1.1984>
- Maletič, D., Grabowska, M. in Maletič, M. (2023). Drivers and Barriers of Digital Transformation in Asset Management. *Management and Production Engineering Review*, 118-126.
- Maletič, D., Marques de Almeida, N., Gomišček, B. in Maletič, M. (2023). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control*, 34(15), 1497–1512.
- Maletič, Damjan, Maletič, Matjaž. (2017). Izzivi na področju obvladovanja fizičnega premoženja. *Vzdrževalec: revija Društva vzdrževalcev Slovenije*, ISSN 1318-2625, št. 177-178, str. 34-36.
- Maletič, Damjan, Maletič, Matjaž. (2023). Kako obvladovanje premoženja ustvarja vrednost organizaciji? *Vzdrževalec: revija Društva vzdrževalcev Slovenije*, ISSN 1318-2625, 2023, št. 203/204, [št. članka] 1171, str. 8-10, ilustr.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. in PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097.
- Papaioannou, D., Sutton, A., Carroll, C., Booth, A. in Wong, R. (2009). Literature Searching for Social Science Systematic Reviews: Consideration of a Range of Search Techniques. *Health Information and Libraries Journal*, 27, 114–122. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00863.x
- Schuman, C. A., & Brent, A. C. (2005). Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(6), 566–579. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/01443570510599728>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., ... Stewart, L. (2015). Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and Explanation. *The BMJ*. Retrieved from <https://www.bmj.com/content/bmj/349/bmj.g7647.full.pdf>
- Stalder, C., Ducellier, G. in Lewkowicz, M. (2023). The implementation of a digital twin as an intelligent asset management system of a railway infrastructure: application to the work scheduling process at SNCF Réseau. *Transportation Research Procedia*, 72, 2302–2308. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.720>
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237–244. doi:10.1016/S0925-5273(00)00067-0
- van Eck, N. J. in Waltman, L. (2010). VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523–538.
- Vieira, J., Patrício, H., Poças Martins, J., Gomes Morgado, J. in Almeida, N. (2022, October). The Potential Value of Digital Twin in Rail and Road Infrastructure Asset Management. In *World Congress on Engineering Asset Management* (pp. 439-447). Cham: Springer International Publishing.

- Wacyenbergh, G. in Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313. doi:10.1016/S0925-5273(01)00156-6
- Z. Shu, J. Wan, D. Zhang. (2016). Cloud-integrated cyber–physical systems for complex industrial applications. *Mobile Networks and Applications*, 21(5), 865–878.
- Z. Lv, S. Xie. (2021). Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics. Retrieved from <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17524.1>.
- Z. Geng, M. Li, Z. Hu, Z. Han, R. Zheng. (2022). Digital twin in smart manufacturing: Remote control and virtual machining using VR and AR technologies. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65, 321.



# SINERGIJSKI UČINKI OCENJEVALNIH METOD OWAS IN KIM PRI CELOVITI ERGONOMSKI ANALIZI

ZVONE BALANTIČ, SOFIJA ĐOKOVIĆ,  
BRANKA JARC KOVAČIČ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
zvone.balantic@um.si, sofija.djokovic@student.um.si, branka.jarc@guest.um.si

Študija je bila izvedena v Laboratoriju za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov (LIPPS), kjer smo analizirali telesne drže delavcev na simulirani montažni liniji. Metode OWAS (OVAKO Working Postures Analysing System) in KIM (Key Indicator Method) so bile uporabljene za prepoznavanje kritičnih telesnih drž v delovnem procesu. Glavni cilj raziskave je bil raziskati možno sinergijo med tema dvema metodama ter izboljšati razumevanje ergonomskih dejavnikov v delovnem okolju. Ugotovitve so pokazale, da je integracija obeh metod omogočila natančnejšo identifikacijo kritičnih telesnih položajev in prilagajanje delovnih postopkov ter opreme posameznim delavcem. Rezultati proučevanega delovnega postopka so izpostavili, da je delo na montažni liniji povezano z zmerno utrujenostjo po metodi OWAS, medtem ko je metoda KIM pokazala bistveno povečana tveganja za telesne obremenitve pri ročnih delih. Rezultati poudarjajo pomen izvedbe obeh analiz za objektivno oceno delovnih pogojev in izboljšanje produktivnosti delavcev, kar lahko dolgoročno pozitivno vpliva na zdravje in zadovoljstvo zaposlenih ter na uspešnost podjetja.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.4](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.4)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
ergonomija,  
sinergija,  
metoda,  
ocena,  
obremenitev



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.4](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.4)

ISBN  
978-961-286-947-2

# SYNERGISTIC EFFECTS OF OWAS AND KIM ASSESSMENT METHODS IN A COMPREHENSIVE ERGONOMIC ANALYSIS

ZVONE BALANTIČ, SOFIJA ĐOKOVIĆ,  
BRANKA JARC KOVAČIČ

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[zvone.balantic@um.si](mailto:zvone.balantic@um.si), [sofija.djokovic@student.um.si](mailto:sofija.djokovic@student.um.si), [branka.jarc@guest.um.si](mailto:branka.jarc@guest.um.si)

**Keywords:**  
ergonomics,  
synergy,  
method,  
evaluation,  
strain

The study was conducted at the Laboratory of Enterprise Engineering (LIPPS), where we analysed the body postures of workers on a simulated assembly line. The OWAS (OVAKO Working Postures Analysis System) and KIM (Key Indicator Method) were used to identify critical body postures in the work process. The main aim of the research was to explore the potential synergy between these two methods and improve understanding of ergonomic factors in the work environment. Findings showed that integrating both methods allowed for more precise identification of critical body postures and customization of work procedures and equipment for individual workers. The results of the studied work process pointed out that work on the assembly line was associated with moderate fatigue according to the OWAS method, while the KIM method revealed significantly increased risks of physical strain in manual tasks. The results underline the importance of ergonomic analyses in creating better working conditions and improving worker productivity, which can positively impact employee's health, satisfaction, and business performance. The results underline the importance of both analyses to objectively assess working conditions and improve worker's productivity, which can positively impact employee's health and satisfaction and company performance in the long term.



## 1 Uvod

V sodobnem industrijskem okolju optimizacija delovnih pogojev postaja ključna sestavina učinkovitosti in varnosti v okviru proizvodnje. Optimizacijo delovnih pogojev lahko dosežemo le s celostnim pristopom, ki vključuje različna področja. Eno od njih predstavlja ergonomski dizajn, ki poleg tega, da prispeva k povečanju produktivnosti in izboljšanju delovne učinkovitosti zaposlenih, pripomore k zmanjšanju tveganja za poškodbe in omogoča prilagajanje delovnega okolja nenehnim spremembam in uvajanju novih tehnologij.

Ergonomija preučuje človekove telesne in duševne zmožnosti, povezane z delom, delovnim okoljem in delovnimi obremenitvami (Balantič idr., 2016). Ergonomija je lahko študij interakcije med ljudmi in stroji ter študij dejavnikov, ki vplivajo na to interakcijo. Njena naloga je izboljšati delovanje sistemov z izboljšanjem medčloveške interakcije s stroji (Bridger, 2008). Ergonomija je tudi uporaba znanstvenih načel, metod in podatkov, pridobljenih iz različnih disciplin, za razvoj sistemov, v katerih ljudje igrajo pomembno vlogo. Področje uporabe zajema posameznika, ki uporablja preprosto orodje in sega do kompleksne socio-tehnične organizacije z več udeleženci (Kroemer idr., 2018).

Dober dizajn se lahko obravnava kot tisti, ki upošteva sposobnosti in omejitve uporabnikov ter njihove potrebe in pričakovanja pri razvoju izdelka, da bi naredil estetske, funkcionalne in proizvodne vidike združljive z njegovo uporabnostjo in izkušnjami uporabnikov (Soares idr., 2016). Dobro oblikovano ergonomsko delovno mesto, orodje ali mikro- oziroma makrookolje zahtevajo pretehtane oblikovalske odločitve in upoštevanje ergonomskih načel. Človek mora biti v delovnem okolju sposoben vzdrževati ustrezno držo telesa (Balantič idr., 2016).

Montažne linije vključujejo več delovnih postaj, na katerih en ali več delavcev izvaja niz operacij (Sokolov idr., 2021). Ergonomija v proizvodnih in montažnih okoljih igra ključno vlogo zaradi potrebe po zagotavljanju varnega in udobnega delovnega prostora za človeške operaterje. S tem se zmanjšuje nelagodje, stres in utrujenost (Bortolini idr., 2021).

Delo bo temeljilo na razvoju metodologije reševanja, izvedbi analiz ter pregledu relevantne teorije in smernic s področja ergonomije. Cilj je boljše razumevanje ključnih dejavnikov, ki oblikujejo ergonomijo na delovnem mestu, ter razvoj konkretnih in praktičnih rešitev za izboljšanje teh pogojev.

## 2 Teoretična izhodišča

Beseda ergonomija izhaja iz grških besed »ergon«, ki pomeni delo, in »nomos«, ki pomeni načelo ali zakon. Njen pomen je prvi opredelil poljski učenjak, filozof in naturalist Wojciech Jastrzebowski, ki je ergonomijo opisal kot »znanost o delu« (Trapečar, 2012).

Ergonomija je torej znanost, ki je vpeta med človeka in njegovo delo, pri tem pa proučuje anatomsko, fiziološko, mehansko, kognitivno in organizacijska načela vplivov na zmogljivost človeka pri delu. Ergonomija je interdisciplinarno proučevanje delovnih obremenitev ter iskanje razbremenitev, kadar obremenitev povzroča neudobje ali celo prekoračuje tolerančno mejo (Balantič, 2000).

Ergonomija se ukvarja z vzajemnimi odnosi in povezavami človeka z njegovim delovnim okoljem v vsej njegovi raznovrstnosti, dinamiki in strukturi. V skladu z današnjimi usmeritvami v znanosti, z možnostmi in s potrebami v sodobnem svetu, je pozornost ergonomije osredinjena na sistem med človekom in strojem (pri tem je treba pojem stroj razumeti v najširšem smislu), oziroma na komunikacije in procese, predelovanje informaciji in spreminjanja energije ter na dejavnike, ki vplivajo na vse te procese (Balantič idr., 2016).

Dizajn je opredeljen kot ključna disciplina in dejavnost za predstavitev idej na trgu, preoblikovanje le-teh v uporabniku prijazne in privlačne izdelke ali storitve (Tosi, 2019). Glavna usmeritev ergonomskega oblikovanja je usklajenost objektov in okolij z dejavniki človeškega delovanja. Cilj je uskladiti funkcionalnosti nalog z možnostmi ljudi, ki jih izvajajo. Znanje o ergonomskem oblikovanju je obsežno, saj upošteva ne le antropometrijo in biomehaniko, temveč tudi kognitivne vidike (Kuijt-Evers idr., 2004).



Oblikovanje zagotavlja niz metodologij, orodij in tehnik, ki se lahko uporabljajo v različnih fazah inovacijskega procesa za povečanje vrednosti novih izdelkov in storitev.

Vloga ergonomije v procesu oblikovanja se nanaša tako na umestitev ergonomskega posega kot na strokovnjaka iz področja ergonomije v proces oblikovanja izdelka ter na odnos med tem strokovnjakom in drugimi akterji v tem procesu (Tosi, 2019). Da bi zagotovil ustrezne oblikovalske rešitve, mora oblikovalec razmišljati o širokem naboru vplivnih dejavnikov. Ergonomska vrednost izdelka je zagotovo ena od zadev, ki jo je treba obravnavati. Manj izkušen oblikovalec se lahko sreča s številnimi težavami pri iskanju ergonomsko ustrezne oblikovalske rešitve (Kaljun idr., 2012). Spretnosti strokovnjaka iz področja ergonomije so na splošno potrebne v kompleksnih proizvodnih procesih, v katerih ekonomske in operativne omejitve določajo ne le vire za ergonomsko izboljšavo, temveč tudi prostor za dialog med različnimi strokovnimi osebnostmi in načine, kako se spretnosti in metodološka orodja, ki jih zagotavlja ergonomija, lahko umestijo tako v faze načrtovanja kot v inženirske in proizvodne faze (Tosi, 2019).

Ne glede na značilnosti in kompleksnost sistema, ergonomija deluje z uporabo najustreznejših teoretičnih in metodoloških orodij za analizo potreb uporabnikov in oblikovanje interakcije znotraj sistema, katerega sestavni del in fokus oblikovanja je oseba. Ergonomija deluje tudi na aplikativni in teoretični ravni ter v okviru omejitev specifičnega oblikovalskega problema. Cilj, ki ga je treba doseči, dejansko ni optimalna rešitev, ampak najboljše možno ravnovesje med posamezniki in tem, kar uporabljajo glede pogojev delovanja in razpoložljivih virov (Tosi, 2019).

Ergonomija je tesno povezana s tehnološkim razvojem, ki ga vključuje v povezave med človekom, izdelkom in okoljem. Za doseg tega cilja se ergonomija najprej osredotoča na človeške zmožnosti in celo na njihove omejitve pri oblikovanju izdelkov, prilagojenih človeškim lastnostim. Dodatno preučuje človeško dejavnost v realnih situacijah, pri čemer cilj ni le upoštevati izolirane funkcije, kot je bilo to prej, temveč tudi vedenjske vzorce, kot so geste, pogledi, sklepanje itd. To vključuje tako trenutne situacije kot tudi tiste, ki se oblikujejo (Sagot idr., 2003).

Aktualna industrijska revolucija I4.0 je povezana z različnimi tehnološkimi megatrendi, kot so digitalizacija, umetna inteligenca, internet stvari, aditivna proizvodnja, kibernetski fizični sistemi, računalništvo v oblaku ter hitro povečanje avtomatizacije in robotike v proizvodnih procesih (Reiman idr., 2021). Ker je tema Industrija 4.0 razmeroma nova, je raziskovanje človeškega dela v tem kontekstu še vedno omejeno. Poleg tega so dostopne raziskave znotraj tega ozkega področja večinoma osredotočene na vključevanje delavcev v proizvodne procese na nižji operativni ravni in zanemarjajo zgornje ravni, ki se ukvarjajo z odločanjem, nadzorom in načrtovanjem (Pacaux-Lemoine idr., 2017). Zato bi lahko uporaba pristopa človeških dejavnikov in ergonomije HF/E (HF-človeški dejavniki /Human Factors; E-ergonomija/Ergonomics) predstavljala interdisciplinarno področje, ki se ukvarja z oblikovanjem sistemov, izdelkov, in okolij ob upoštevanju človeških zmognosti, omejitev ter potreb. Bila bi izjemno koristna pri analiziranju, razumevanju in oblikovanju človeškega dela v Industriji 4.0 (Kadir idr., 2019).

Pametne montažne linije so mejnik v Industriji 4.0, ki omogoča učinkovito in uspešno proizvodnjo kompleksnih izdelkov s sprejemljivim časom do dobave izdelkov na trg.

Montaža izdelkov predstavlja več kot 50% skupnega časa proizvodnje in 20% celotnih proizvodnih stroškov. V sodobnem, dinamičnem industrijskem okolju morajo montažni sistemi imeti sposobnost prilagajanja različnim izdelkom, tržnim zahtevam, tehnološkim in regulativnim spremembam (Bortolini idr., 2021).

Delavci v montažnih oddelkih so običajno nagnjeni k težavam mišično-skeletnega sistema zaradi napornih operacij, ki se ponavljajo pri visoki frekvenci dela. Ergonomska tveganja pri montaži imajo negativen vpliv tako na zdravje delavca kot tudi na kakovost življenja. Tveganja prav tako vplivajo na gospodarske rezultate podjetij in na njihov ugled. Ergonomija delovnega mesta postaja še bolj pomembna zaradi nedavnih zakonodajnih sprememb, ki zajemajo področje strojev, varnosti in zdravja pri delu ter so povezane s staranjem delovne sile v večini razvitih držav (Otto in Scholl, 2011).

## 2.1 Metode za ergonomsko analizo

Pogosto omenjene in uporabljene metode kontrole ergonomskih fizičnih obremenitev so RULA, REBA in OWAS. Vsaka od metod ima določene značilnosti, ki jih lahko izpostavimo pri delu. Primerjalne analize prispevajo k hitrejšim rešitvam ergonomske dejavnosti, kar ne pomeni le humanizacije dela, temveč tudi varčevanje, ko se z ukrepi zmanjšajo možnosti obolevnosti zaradi dela (poškodbe, okvare, kronična obolenja, invalidnosti ipd.) (Balantič idr., 2016). V zadnjem času postaja vse bolj izpostavljena in uporabljena tudi metoda KIM (angl. Key Indicator Method), ki ocenjuje delovne pogoje, povezane z ročnim premeščanjem bremen.

### 2.1.1 RULA

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) je subjektivna metoda opazovanja analize drže, ki se osredotoča na zgornji del telesa (trup), vključuje pa tudi spodnji del telesa. Uporablja niz grafičnih opredelitev različnih telesnih drž, pri čemer je vsaki najpogostejši opazovani drži dodeljena numerična ocena (McAtamney in Corlett, 1992).

Razvita je bila za ergonomske raziskave na delovnih mestih, da bi reševala težave in nepravilnosti drže celotnega telesa s posebnim poudarkom na identifikaciji nepravilnosti zgornjih okončin, vratu in trupa ter dejavnosti mišic in zunanjih obremenitev. Uporaba metode RULA lahko prepreči pojav poškodb in tveganj ter prispeva k boljšemu delovnemu okolju. Metoda temelji na anketiranju subjektov na posameznih delovnih mestih, zato je v večji meri odvisna od individualnega občutka in interpretacije zabeleženih podatkov. Ocenjevalna metoda je torej zelo subjektivna, vendar je kljub temu koristna pri identifikaciji potrebnih izboljšav. Opazovanje telesnih položajev pri delu in beleženje podatkov poteka po korakih za posamezne predele telesa, pri čemer ocene vnašamo v tabelo za postopno določanje končne stopnje tveganja za poškodbe (Balantič idr., 2016).

Metodo izvedemo v treh korakih (Balantič idr., 2016):

1. Število ocenjevanj: Iz intervjuja z opazovanimi subjekti pridobimo predstavo o delovnem okolju in o delovnih nalogah ter zahtevah delovnega

- procesa. Pri splošni vizualni oceni želimo pridobiti tudi informacijo o ključnih gibih in položajih telesa.
2. Točkovanje in snemanje: Glede na zbrane podatke o vrsti in obliki dela, se odločimo za segmentno razvrščanje poteka opazovanja. Lahko se odločimo, da bomo najprej opazovali levo, nato pa desno stran telesa ali najprej posamezni telesni segment na levi in desni strani. Običajno beleženje opravljamo za izbrani telesni segment, istočasno za levo in desno stran.
  3. Določanje oziroma izbor stopnje ukrepanja glede na oceno ovrednotimo s točkami:
    - Od 1 točke do 2 točki: zanemarljivo majhno tveganje, zato ukrepi niso potrebni;
    - Od 3 do 4 točke: nizko tveganje, spremembe so morda potrebne;
    - Od 5 do 6 točk: srednje tveganje, potrebna je nadaljnja preiskava, prilagoditev delovnega mesta moramo izvesti kmalu;
    - 7 ali več točk: zelo visoko tveganje, ki zahteva takojšnje ukrepanje, potrebna je takojšnja nadaljnja preiskava nepravilnosti.

Končne ocene se gibljejo od najboljših 1, 2 ... do najslabših ... 6, 7. Od ocene je odvisno, kakšno dinamiko izboljšav določeno delovno mesto potrebuje.

### **2.1.2 REBA**

Rapid Entire Body Assessment (REBA) je hitra ocena celotnega telesa in je bila razvita za oceno tveganja telesne države delavcev s kostno-mišičnimi obolenji, predvsem v zdravstvenih ustanovah in drugih storitvenih dejavnostih. Pri uporabi metode REBA opazovalec oceni delavca pri različnih delih na proučevanem delovnem mestu, vključno s položajem trupa, rok, nog in glave. Pri tem oceni tudi sile in hitrosti gibanj. Ocenjevalec nato delne rezultate poveže v končno oceno tveganja za določeno delovno mesto (Soares idr., 2016).

Metoda REBA uporablja sistem ocenjevanja za analizo delovnih nalog, pri čemer analizira položaje telesa ter obremenitve in pogostost gibanja delavca. Metoda identificira različne segmente telesa in jih ocenjuje glede na specifična merila tveganja. Z združevanjem delnih segmentnih ocen se oblikuje celotna ocena po metodi REBA, na podlagi katere se določi raven tveganja za delavca na določenem

delovnem mestu. Glede na pridobljen rezultat priporočamo ustrezne ukrepe za zmanjšanje tveganja, vključno z ergonomskimi intervencijami, spremembami delovnega okolja ali z reorganizacijo delovnih procesov. Metoda omogoča celovit pregled delovne naloge in identifikacijo področij, ki zahtevajo ukrepe za preprečevanje poškodb mišično-skeletnega sistema (Madani idr., 2016).

Razvoj metode REBA je imel za cilj (Hignett idr., 2000):

- Razviti sistem analize drže, občutljiv na mišično-skeletna tveganja pri različnih nalogah;
- Razdeliti telo na segmente, ki jih ocenjujemo posamično, z obravnavo v gibalnih ravninah;
- Zagotoviti ocenjevalni sistem za mišično aktivnost, ki jo povzročajo statični, dinamični, hitro spreminjajoči se ali nestabilni položaji;
- Sporočati, da je kompleksnost pomembna pri ravnanju z bremenmi, vendar se to ne dogaja vedno preko obremenitev rok;
- Določiti raven ukrepanja z navedbo nujnosti;
- Izvesti metodo ob minimalni opremi (ročno beleženje in obdelava zbranih podatkov).

Telesno držo analiziramo z uporabo REBA metode, ki vključuje merjenje kotov gibljivosti, ocenjevanje obremenitve zaradi sil, ponavljajoče se gibe in frekvence sprememb drže telesa. V analizo so vključeni različni deli telesa, kot so vrat, trup, zgornji in spodnji deli rok, noge ter zapestja. Za vsak anatomski del določimo razpon položajev, ki je povezan s točkovanjem. Vrednosti točkovanja naraščajo, ko se oddaljujemo od nevtralnega položaja segmenta, kar odraža stopnjo odstopanja od optimalne drže (Madani idr., 2016).

### 2.1.3 OWAS

Človek je pri svojem delu izpostavljen fizikalnim obremenitvam. Telo delavca se prilagaja trenutnim obremenitvam in pri tem zavzema najrazličnejše položaje. Pri delu stremimo k temu, da so lokalne obremenitve telesnih segmentov čim manjše in znotraj dopustnih obremenjenosti telesa. Metoda je nastala leta 1973 na Finskem, kjer so jo razvili za potrebe jeklarske industrije Ovako Oy in je tako dobila ime OWAS (angl. OVAKO Working Postures Analysing System) (Karhu idr., 1997).

Metoda OWAS je bila razvita z namenom, da bi lahko čim bolj objektivno ocenili stopnjo izpostavljenosti celotnega človeškega telesa določenim zunanjim fizikalnim obremenitvam pri delu (Balantič idr., 2016). OWAS je bil sprva oblikovan z identifikacijo 72 položajev, ki so bili ugotovljeni s fotografiranjem delovnih položajev v različnih delovnih okoljih podjetja OVAKO OY. Zanesljivost sistema so potrdile analize več nalog s strani skupine nacionalnih in mednarodnih inženirjev, ki so bili prej usposobljeni za uporabo metode (Gómez-Galán idr., 2017). Opazovanja sta izvajala dva inženirja na dveh delavcih med dvema različnima delovnima izmenama (jutranja in popoldanska). Rezultati, pridobljeni s strani obeh skupin, so bili približno podobni. Nato so določili štiri kategorije tveganja, pri čemer je prva povezana z normalnimi položaji brez priporočil za kakršnekoli korektivne ukrepe. Druga in tretja kategorija se nanašata na položaje z nekaj tveganja, s priporočili za korektivne ukrepe v srednjeročnem obdobju. Četrta kategorija se nanaša na nesprejemljive položaje s priporočili za takojšnje korektivne ukrepe (Gómez-Galán idr., 2017).

H	R	N	O	dt
---	---	---	---	----

ZAPOREDNA ŠT. ČASOVNEGA INTERVALA;	
dt	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ... Časovni interval je enak, vendar poljubno izbran na začetku vzorčenja

HRBTENICA – H		ROKE – R		NOGE – N		OBREMENITEV – O	
1	vzravnan	1	obe roki sta pod nivojem ramen	1	sedenje	1	teža ali potrebna sila do 100 N
2	nagnjena naprej ali nazaj	2	ena roka je dvignjena do niv. ramen ali višje	2	stanje z obema vzravnanimi nogama	2	teža ali potrebna sila med 100 in 200 N
3	zasukana ali nagnjena vstran	3	obe roki sta dvignjeni do nivoja ramen ali višje	3	stanje z obremenitvijo na eni iztegnjeni nogi	3	teža ali potrebna sila nad 200 N
4	zasukana in nagnj. ali nagnjena naprej in vstran			4	stanje ali čepenje z obema upognj. kolenoma		
				5	stanje ali čepenje z enim upognjenim kolenom		
				6	klečanje na enem ali na obeh kolenih		
				7	hoja ali gibanje		

Slika 1 : Kodiran zapis številčne kode (Balantič idr., 2016)

Metoda OWAS je bila zasnovana za identifikacijo pogostosti in časa, ki ga delavci porabijo v določenih položajih med nalogo, za študijo in oceno situacije ter priporočila za korektivne ukrepe. OWAS identificira najbolj običajne položaje za hrbet (4 položaji), roke (3 položaji), noge (7 položajev) in jakost obremenitve (3 kategorije) (Slika 1). To pomeni do 252 možnih kombinacij.

Vsak položaj, ki ga delavec zavzame, je bil opisan s 4-mestno številko (kodo), odvisno od klasifikacije znotraj prejšnjih položajev za vsak del telesa in obremenitev. Strokovnjaki so proučili celotno matriko in ocenili posamezne kombinacije (Slika 2).

Lestvico težavnosti so razdelili v štiri stopnje glede na obremenitev telesa. Iz tega sledi tudi stopnja ukrepanja:

- 1. stopnja: Normalni telesni položaji, ki so še v mejah udobja. Pri tej stopnji ne zaznavamo kvarnega vpliva na zdravje delavca. Prva stopnja ne potrebuje posebnega ukrepanja.
- 2. stopnja: Na tej stopnji se že pojavijo obremenitve telesa, ki so posledica neprimernih položajev pri delu. Ukrepi niso takojšnji, vendar je o njihovi implementaciji treba razmisliti v doglednem času.
- 3. stopnja: Ta stopnja govori o povečanem neudobju delavca pri delu, zato je treba temeljno razmisliti o hitri uvedbi ukrepov za izboljšanje ergonomije na delovnem mestu.
- 4. stopnja: Če se ocena ustavi šele na tej stopnji, potem je to signal za takojšnje ukrepanje in seveda takojšnjo uvedbo ustreznih ergonomskih ukrepov (Balantič idr., 2016).

Zelo univerzalen zapis je uspel avtorju Petru Lundqvistu, ki je na enostaven način uspel zapisati stopnjo tveganja za nastanek poškodbe za posameznega delavca na določenem delovnem mestu. Lundqvistov indeks pokuši zajeti odstotne deleže težavnosti, v katerih se znajde delavec pri opravljanju del in nalog oziroma stopenj ukrepanja, ki so potrebne za zmanjšanje obremenitev. Lundqvistov indeks (L) lahko določimo glede na posamezno fazo dela ali za celoten delovni čas.

		1			2			3			4			5			6			7			<--- NOGE
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	<--- OBREM.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2	
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4	
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
HRBTENICA	---																						
ROKE	---																						

Slika 2 : Matrika težavnosti glede na obremenitve telesa (Balantič idr., 2016)

$$L = (1 * SU_1 + 2 * SU_2 + 3 * SU_3 + 4 * SU_4) * 100 \quad (1)$$

$$SU_1 + SU_2 + SU_3 + SU_4 = 1 \quad (2)$$

SU<sub>1</sub> – Delež vseh telesnih sklopov, ki so bili opredeljeni s 1. stopnjo ukrepanja.

SU<sub>2</sub> - Delež vseh telesnih sklopov, ki so bili opredeljeni z 2. stopnjo ukrepanja.

SU<sub>3</sub> - Delež vseh telesnih sklopov, ki so bili opredeljeni s 3. stopnjo ukrepanja.

SU<sub>4</sub> - Delež vseh telesnih sklopov, ki so bili opredeljeni s 4. stopnjo ukrepanja.

Vrednosti indeksa se nahaja med 100 (najbolj optimalna drža telesa pri delu) in 400 (najbolj neugodna drža telesa pri delu in največje obremenitve zaradi nepravilne drže) (Tabela 1).



**Tabela 1: Lundqvistov indeks (Balantič idr., 2016)**

Lundqvistov indeks:	Utrudljivost dela:
100-120	zelo malo utrujajoče
121-140	malo utrujajoče
141-160	utrujajoče
161-180	zmerno utrujajoče
nad 200	izjemno utrujajoče

Nepravilna drža in pretirano vztrajanje v takem položaju škodljivo vplivata na kostno-mišično strukturo telesa. Lundqvistov indeks ni primeren za ocenjevanje vseh vrst dela, npr. za sedeče delo, kjer izračunamo nizek L, vendar se realna obremenjenost kljub vsemu kaže v predolgi in s tem utrujajoči drži (Balantič idr., 2016).

Postopek za uporabo metode OWAS vključuje opazovanje delovnih nalog, kodiranje položajev, dodeljevanje kategorij tveganja in predlaganje korektivnih ukrepov. Obstajajo različni računalniški programi, ki omogočajo uporabo te metode, kar omogoča prihranek časa pri delu. Prednosti OWAS metode se kažejo v enostavnosti in uporabnosti, saj jo lahko uporabljajo osebe iz različnih področij, kot so zdravstvo, inženiring, industrija, in to skoraj brez specializiranega usposabljanja.

Ocenjevanje poteka z vzorčenjem dela in opazovanjem po časovnem načrtu, ki je odvisen od same frekvence beleženja opazovanj. Navadno se odločimo za nespremenljivo frekvenco opazovanj, ki naj ne sovпада s frekvenco delovnega takta. To pomeni, da se je pred začetkom izvedbe metode OWAS treba seznaniti s frekvenco ponavljanja določenih faz dela. Zelo neprimerno bi bilo, če bi delo analizirali tako, da bi opazovalni takt (trenutek vzorčenja) sovpadal z, recimo, isto fazo dela kot v prejšnjih in nadaljnjih trenutkih vzorčenja. Pri manj dinamičnih delih je interval med zaporednima točkama beleženja dolg običajno eno minuto. Če to ni sprejemljivo, lahko takt opazovanja prilagodimo tako, da trenutek beleženja ne sovпада s časovnim taktom posamezne faze dela (takt ni enak mnogokratniku takta opazovanega dela). Pri ponavljajočem se delu pretirano dolgo opazovanje delavca ne doprinese k natančnosti ocene, zato takrat opazovanje omejimo na približno 8 ponovitev posameznega cikla dela. Dolžine intervala opazovanja lahko izberemo tudi glede na to, koliko časa se delavec povprečno zadržuje v posameznem položaju (Balantič idr., 2016).

#### 2.1.4 KIM

Metode ključnih kazalnikov (MKK) oziroma LMM (nem. Gefährdungsbeurteilung mit den Leitmerkmalmethoden) oziroma KIM (angl. Key Indicator Methods) je razvil nemški Zvezni inštitut za varnost in zdravje pri delu (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - BAuA). V nadaljevanju bomo uporabili mednarodno uveljavljeno kratico KIM. Metoda ključnih kazalnikov vsebuje tri ključne biomehanske dejavnike tveganja:

- Ročno dvigovanje, držanje in prenašanje bremen (ang. Guideline Characteristic Method for Assessing and Designing Loads for Manual Lifting, Holding, and Carrying of Loads  $\geq 3$  kg (KIM-LHC)).
- Ročno potiskanje in vlečenje bremen (ang. Guideline Characteristic Method for Assessing and Designing Loads for Manual Pulling and Pushing of Loads (KIM-PP))
- Ponavljajoče ročno premeščanje (ang. Guideline Characteristic Method for Assessing and Designing Loads in Manual Work Processes (KIM-MHO)).

Cilj metode ključnih kazalnikov (KIM) je dokumentiranje osnovnih kazalcev fizičnega obremenjevanja na čim bolj preprost način, kar uporabnikom omogoča jasno prepoznavanje povezav in grobo ocenjevanje verjetnosti fizičnega preobremenjevanja. Iz tega lahko izhajajo možne posledice za zdravje, kot tudi potreba po ukrepanju. Pomembno je poudariti, da ta metoda služi za oceno delovnih pogojev med ročnimi delovnimi operacijami in to v orientacijske namene. Predpogoj za izvajanje ocene je temeljito poznavanje podaktivnosti/poddejavnosti.

Postopek ocenjevanja zajema tri (ali po potrebi štiri) korake:

- določanje časovnih točk,
- določanje točk za ključne kazalnike,
- ocena, ki vključuje izvedbo preoblikovanja delovnega mesta in preventivnih ukrepov.

V prvem koraku določimo časovne točke na podlagi skupnega trajanja dejavnosti, ki jo ocenjujemo. V drugem koraku ocenimo točke za druge kazalnike, kot so vrsta uporabljene sile, prenos sile/pogoji prijema, položaj in gibanje roke/rok, neugodni delovni pogoji, položaj telesa ter organizacija dela/časovna distribucija. V tretjem koraku vsako poddejavnost ocenimo glede na tveganje, povezano z dejavnostjo (izračuna se vsota točk za ključne kazalnike, pomnožena s časovnimi utežmi). To tveganje se nato lahko razvrsti v določen razpon tveganja, na podlagi katerega se lahko izpelje verjetnost fizičnega preobremenjevanja in potreba po ukrepanju. V četrti korak, poleg preventivnih ukrepov, ki izhajajo iz ocene tveganja, lahko vključimo potrebne ukrepe preoblikovanja delovnega mesta in preventivne zdravstvene nege. Ti ukrepi postanejo potrebni zlasti v primeru visokih tveganj, kjer se izvajajo kolektivni in individualni preventivni ukrepi (Klußmann idr., 2007).

Preoblikovanje delovnega mesta in preventivni ukrepi za skupine posebej občutljivih zaposlenih se morajo proučiti neodvisno od intenzivnosti obremenjevanja in posamezno, če zaposleni zahtevajo preventivno zdravstveno nego. Z raziskovanjem najvišjih ocen tveganja ključnih kazalnikov se lahko identificirajo vzroki povečanega fizičnega obremenjevanja in posledično sprožijo spremembe. Potreba po preoblikovanju se pojavi tudi, ko posamezni kazalniki dosežejo najvišje vrednosti (Klußmann idr., 2007).

Metoda ključnih kazalnikov za ročne delovne operacije KIM-MHO (Key Indicator Method for Manual Handling Operations) je bila razvita analogno z obstoječim KIM za dvigovanje/držanje/prenašanje KIM-LHC (KIM for Lifting/Holding/Carrying) in potiskanje/vlečenje bremen KIM-PP (KIM for Pulling/Pushing). KIM-MHO je bil oblikovan, da bi zapolnil vrzel v oceni tveganja ročnih delovnih procesov, saj se obstoječi KIM-i ukvarjajo le z ročnim ravnanjem z bremenami.

Ključni kazalniki, ki se upoštevajo v KIM-MHO, so (Klußmann idr., 2017):

- dnevna trajanja ročnih delovnih procesov,
- vrsta, trajanje in pogostost uporabe sil,
- telesni položaj med ročnimi delovnimi procesi,
- položaj rok in zapestja med ročnimi delovnimi procesi,
- organizacija dela,
- delovni pogoji.

Ključni kazalniki so razvrščeni v različne lestvice. Z množenjem vrednosti lestvice dnevnega trajanja dejavnosti (1) s seštevkom drugih vrednosti lestvic (2 do 6) se lahko izračuna skupna vrednost. Ta ocena se lahko dodeli tveganjem: nizko izpostavljena situacija, kjer je fizična preobremenjenost malo verjetna (<10 točk), situacije s povečano (10 - <25 točk) in visoko povečano (25 - <50 točk) izpostavljenostjo, vse do pogojev, kjer je fizična preobremenjenost zelo verjetna, kjer je potrebno preoblikovanje delovnega mesta (> = 50 točk) (Klußmann idr., 2017).

Na podlagi metode ključnih kazalnikov, ki jih je razvil nemški Zvezni inštitut za varnost in zdravje pri delu, je bil v Republiki Sloveniji za zmanjševanje tveganj za pojav kostno-mišičnih obolenj pri prenašanju bremen in drugih fizičnih obremenitvah pri delu avgusta 2023 sprejet nov Pravilnik o zagotavljanju varnosti in zdravja delavcev pri premeščanju bremen. Pravilnik v 6. členu določa, da mora delodajalec, kadar se ni mogoče izogniti ročnemu premeščanju bremen, delo organizirati tako, da je to ravnanje čim bolj varno in zdravo. To vključuje izdelavo ocene tveganja z uporabo celostnega pristopa, ki vključuje ocenjevanje vseh dejavnikov tveganja fizičnih obremenitev za nastanek in razvoj kostno-mišičnih obolenj pri delavcih. Izpostavlja tudi, da je potrebno izvesti oceno tveganja fizičnih delovnih obremenitev za vsako opravilo na delovnem mestu, in da je v postopek ocenjevanja tveganja ter pripravo ukrepov za odpravo, oziroma zmanjšanje tveganja, potrebno vključiti delavce oziroma njihove predstavnike. Delodajalci morajo izdelati preventivni akcijski načrt za zmanjšanje tveganja za nastanek in razvoj kostno-mišičnih obolenj (Uradni list RS, št. 84/23, 2023).

Cilj metode ključnih kazalnikov dvigovanja, držanja in prenašanja (KIM-LHC) je čim lažje dokumentirati glavne kazalnike fizične delovne obremenitve, uporabniku pojasniti povezave in omogočiti grobo oceno verjetnosti fizične preobremenitve. Na osnovi tega je mogoče razbrati morebitne posledice za zdravje in iz tega izhajajočo potrebo po ukrepanju. Ta metoda se uporablja za ocenjevanje delovnih pogojev v zvezi z ročnim dvigovanjem, držanjem in prenašanjem bremen za namene orientacije. Pri določanju točk ocenjevanja časa in ocenjevalnih točk za ključne kazalnike (dejanska masa bremena, pogoji za prenašanje bremena, drža telesa, neugodni delovni pogoji, vsota vseh vmesnih ocenjevalnih točk in organizacija dela/časovna razporeditev), je vseeno nujen pogoj dobro poznavanje ocenjevanih opravil. Brez takšnega znanja ocenjevanja ni mogoče izvesti. Grobe ocene ali predpostavke vodijo do napačnih rezultatov. V osnovi se ocenjevanje izvaja za

opravila. Če se pri opravljenih pojavijo manjša odstopanja, je treba oblikovati povprečne vrednosti. Če se v enem delovnem dnevu izvaja več opravil z bistveno različnimi pogoji ali če se znotraj opravil pojavijo izjemno različni pogoji, jih je treba oceniti in dokumentirati ločeno. Verjetnost fizične preobremenitve je mogoče oceniti samo, če so ocenjene vse fizične obremenitve, ki se pojavijo na delovni dan.

Posledično je morda potrebno izvesti 4. korak, ki vključuje izpeljavo in izvajanje ukrepov za preoblikovanje delovnega mesta in zagotavljanje preventivnega zdravstvenega varstva pri delu, kot izhaja iz Priloge 3 Pravilnika o zagotavljanju varnosti in zdravja delavcev pri ročnem premeščanju bremen (Uradni list RS, št. 84/23, 2023).

Metoda, ki jo uporabljamo pri ročnem potiskanju in vlečenju bremen (KIM-PP), se uporablja za beleženje in ocenjevanje fizičnih delovnih obremenitev, ki nastanejo zaradi premikanja prevoznih naprav, visečih transporterjev ali mostnih žerjavov z mišično močjo. Prevozne naprave lahko vključujejo enokolesne (enosledne) vozičke, enosne vozičke, nosilne vozičke ali vozičke s tremi do šestimi kolesi, ki se prosto premikajo po tleh v vseh smereh samo z mišično močjo. Viseči transporterji so enotirni sistemi, s katerimi se breme na transportnih napravah premika v eno smer. Mostni žerjavi in dvigala so enonivojski mostni žerjavi, ki pokrivajo območja, na katerih se breme lahko premika v vseh smereh (mostna, enotirna, konzolna dvigala z vitlom na ročni pogon). Če se v enem delovnem dnevu opravlja več različnih opravil, vključno s potiskanjem in vlečenjem, jih je treba zabeležiti in oceniti ločeno. Verjetnost fizične preobremenitve je mogoče oceniti samo, če so ocenjene vse fizične obremenitve, ki se pojavijo na delovni dan. V primeru prekrivanja z drugimi vrstami fizične delovne obremenitve je treba preveriti, ali je treba uporabiti tudi druge podmetode KIM (Uradni list RS, št. 84/23, 2023).

Z doslednim upoštevanjem teh praktičnih smernic za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev z metodami ključnih kazalnikov (KIM), vključno s presejalnim testom, se šteje, da so izpolnjene zahteve Pravilnika o zagotavljanju varnosti in zdravja delavcev pri ročnem premeščanju bremen. Za presejalni test je potrebno izvesti osnovni pregled za prepoznavanje telesnih obremenitev pri delu po metodi BAuA (OP) in uvodni pregled za informativno oceno tveganja ob prisotnosti telesnih obremenitev po metodi BAuA (UP). Osnovno preverjanje (OP) in uvodni pregled (UP) sta postopka za okvirno presojo, oziroma služita kot presejalni test. Omogočata

lažji potek celotnega postopka ocenjevanja tveganja – od prepoznavanja fizičnih obremenitev in presoje/ocene do določitve ter uvedbe preprostih preventivnih in strukturnih ukrepov ter priprave dokumentacije o učinkih ukrepov. Če po izvedbi ocene tveganja po postopku osnovnega preverjanja in uvodnega pregleda ni mogoče omejiti obremenitve lokomotornega sistema ali pa ocena ni mogoča zaradi kompleksnosti okoliščin, potem je potrebno opraviti poglobljeno oceno tveganja, na primer z metodami ključnih kazalnikov (KIM). Osnovno preverjanje in uvodni pregled telesnih obremenitev sta preprosti metodi, ki omogočata informativno oceno tveganj na delovnih mestih z vidika telesne obremenitve ter določitve in izvedbo ustreznih ukrepov. Osnovno preverjanje (OP) je preprost seznam, s katerim lahko preverimo, ali na delovnem mestu obstajajo telesne obremenitve šestih različnih vrst. Z uvodnim pregledom (UP) pa poleg tega pri posamezni vrsti obremenitve lahko še podrobneje preverimo (npr. dviganje in prenašanje bremen), če so določena merila upoštevana oziroma presežena. Če so merila presežena, verjetno obstajajo večje obremenitve (Uradni list RS, št. 84/23, 2023).

### 3 Metodološka izhodišča

Metodologija priprave ocene za optimizacijo ergonomije pametne montažne linije izhaja iz prepoznane potrebe po prilagoditvi načina razmišljanja o hitrem tehnološkem napredku in o kompleksnosti sodobnih montažnih linij. Poudarek je na ergonomskih načelih oblikovanja delovnega okolja, s ciljem raziskovanja konkretnega vpliva specifične delovne opreme in postopkov na dobro počutje ter učinkovitost dela delavcev.

Za zagotovitev celovite analize in izvedbe optimizacije ergonomije na pametni montažni liniji smo vključili večstopenjski pristop, ki združuje kvantitativne in kvalitativne metode. V fazi zbiranja podatkov smo uporabili sekvenčno analizo, ki vključuje pregled fotografij, videoposnetkov ter uporabo specializiranih orodij za zbiranje podatkov o delovnih položajih delavcev. S tem smo pridobili celovit vpogled v delovno okolico in procese.

V nadaljevanju smo izvedli analizo delovnih obremenitev in položaja telesa, pri čemer smo se opirali na priznane metode, kot so:

- OWAS (angl. OVAKO Working Postures Analysing System),

- KIM (angl. Key Indicator Method).

Te metode so nam omogočile kvantitativno oceno delovnih obremenitev ter analizo ustreznosti ergonomskega položaja telesa pri izvajanju specifičnih nalog.

## 4 Raziskava

V tem poglavju opredeljujemo referenčni postopek študije primera. Eksperiment smo izvedli v Laboratoriju za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov (LIPPS). Sam eksperiment je temeljil na izvajanju delovnega postopka dvigovanja in potiskanja bremen.

### 4.1 Namen raziskave

Cilj naše raziskave je uporabiti in primerjati metodi OWAS in KIM, da bi prepoznali sporočilno vrednost posamezne metode na podlagi identifikacije kritičnih telesnih položajev in fizičnih obremenitev pri delu na montažni liniji. Z laboratorijskimi simulacijami in natančno definiranimi postopki želimo raziskati, kako lahko te metode zagotovijo dosledne rezultate pri prepoznavanju ergonomskih izzivov in kritičnih točk. Z osredotočanjem na praktično uporabo teh metod v simuliranih delovnih okoljih poskušamo priti do zaključka o njihovi komplementarnosti in učinkovitosti v praksi. Z našimi raziskavami želimo prepoznati kritične položaje in zagotoviti smernice za integracijo teh metod v procese ergonomskega ocenjevanja naših montažnih linij. Končni cilj je razviti pristop, ki bo omogočal natančnejše prepoznavanje in reševanje ergonomskih težav, kar bo vplivalo na izboljšanje delovnih pogojev in produktivnosti.

### 4.2 Opis postopka raziskave

V okviru raziskave smo želeli zagotoviti čim bolj enovite iztočnice za izvedbo metode OWAS in KIM, zato smo eksperiment opravili z enim delavcem in tako zagotovili enakost antropoloških iztočnic. Pred začetkom opazovanja smo postavili simulirano pakirno (montažno) linijo v laboratoriju LIPPS. Proučevano delo je vključevalo več dejavnosti, sestavljanje škatel, pakiranje knjig v škatlo, lepljenje škatle s trakom, lepljenje nalepk in postavitve zapakiranih knjig na voziček. To je zahtevalo

postavitve vseh elementov na ustrezna mesta. Sledili smo zaporedju dejavnosti, položajem telesa in načinu izvajanja posamezne dejavnosti delavca.

V laboratoriju LIPPS smo torej spremljali in opazovali enega delavca, ki je celotni čas opazovanja opravljal delovne naloge v stoječem delovnem položaju. Delavca smo med opravljanjem naloge snemali iz več različnih kotov, da bi dobili pravi vpogled v položaj telesa med izvajanjem delovnih opravil. Za ovrednotenje kritične drže smo uporabili dve metodi, OWAS za ergonomsko oceno in KIM za oceno fizičnega obremenjevanja.

### **4.3 Analiza z metodo OWAS**

Med opazovanjem simulirane delovne linije smo posneli gibanje osebe, ki je izvajala nalogo pakiranja knjig. V naslednjem koraku smo digitalizirali posnetke in jih pretvorili v kodiran zapis s 4-mestno numerično kodo.

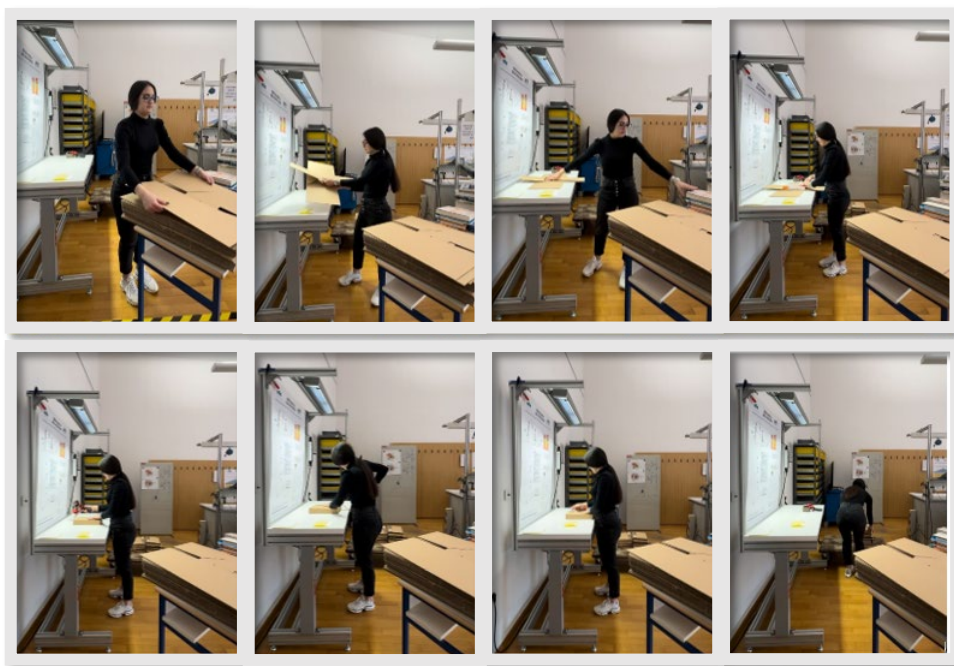
Po kodiranju smo ocenili stopnjo ukrepanja na podlagi zabeležene drže opazovanega delavca na simulirani montažni liniji. Ker so intervali opazovanja kratki, smo zbrali in določili njihovo število ter določili delež v odstotkih glede na celoten obseg opazovanja. Na podlagi metodološkega protokola smo iz posameznih stopenj ukrepanja (SU) določili obremenitveni indeks oziroma Lundqvistov indeks, ki opredeljuje obremenitev telesa med delom, ki ga opravlja opazovani delavec.

Izbrali smo enominutni časovni interval in v teh korakih sledili delu delavca pri njegovem delu (Slika 3).

Naslednji korak je bila priprava analize vsakega zabeleženega položaja v sistemu 4 mestnega številčnega kodiranja (Tabela 2) z oceno stopnje ukrepanja (SU).

Pri tem smo analizirali vsak kodiran položaj: hrbtenica - 4 položaji, roke - 3 položaji, noge - 7 položajev in obremenitev - 3 stopnje. V tem koraku smo torej prikazali, kolikokrat se je telo delavca pojavilo v posameznem kodiranem položaju. Vrednosti smo zabeležili v diagnostični zapis, s katerim smo nazorno predstavili morebitno prekoračitev koncentracije neprimernih obremenitev telesnih segmentov zaradi določene drže telesa.





Slika 3 : Sekvenčni slikovni zapis za delovno mesto pakiranja knjig

Vir: lasten

Tabela 2: Izsek iz tabele kodiranih delovnih položajev

Št.	H	R	N	O	SU
1	2	1	3	1	2
2	2	1	2	1	2
3	1	1	2	1	1
4	3	1	2	1	1
5	2	1	3	1	2
6	3	1	4	1	3
7	2	1	7	1	2
8	4	1	5	1	4
9	1	1	3	1	1
10	2	1	2	1	2

Vir: lasten

S pomočjo analize smo določili vrsto in število posameznih SU (Tabela 3). Pri tem smo upoštevali delovni čas, ki je znašal 8 ur (480 minut), vendar smo od tega odšteli 30 minut odmora, kar pomeni, da smo beležili podatke po zapisu od 450 minut.

**Tabela 3 : Delež pojavljanja posameznih stopenj ukrepanja glede na vse zbrane zapise**

SU	Št. zapisov [/]	Delež zapisov [%]
1	268	56
2	153	32
3	30	6
4	29	6

Vir: lasten

V nadaljevanju smo določili Lundqvistov indeks, ki predstavlja celotno obremenitev telesa pri opravljanju delovnih nalog.

$$L = (1 * SU_1 + 2 * SU_2 + 3 * SU_3 + 4 * SU_4) * 100 \quad (3)$$

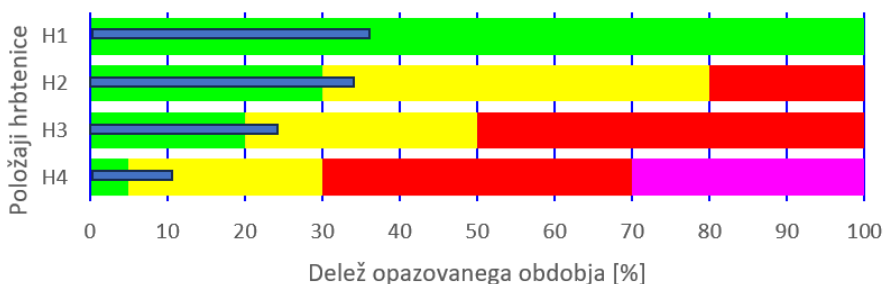
$$L = (1 * 0,56 + 2 * 0,32 + 3 * 0,06 + 4 * 0,06) * 100$$

$$L = 162$$

Lundqvistov indeks znaša 162, kar pomeni, da je delo zmerno utrujajoče.

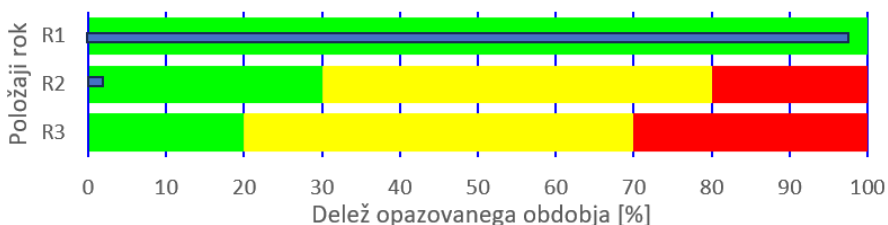
Za analitično pripravo ukrepov za izboljšanje ergonomije na delovnem mestu potrebujemo sekvenčni zapis obremenjevanja delavca na danem delovnem mestu. Najhitrejši vpogled v strukturo nam nudi grafična predstavitev (Slika 4 –Slika 7).

Slika 4 prikazuje časovne deleže obremenitev glede na različne položaje hrbtenice od 0 % do 100 %. Hrbtenica se najpogosteje nahaja v vzravnan legi H1. Časovni deleži položajev H2, H3 in H4 segajo v rumeno področje, kar pomeni, da je glede tega potrebno razmisliti o ukrepanju za izboljšanje stanja.

**Slika 4: Opredelitev težavnosti glede na trajanje zadrževanja hrbtenice**

Vir: lasten

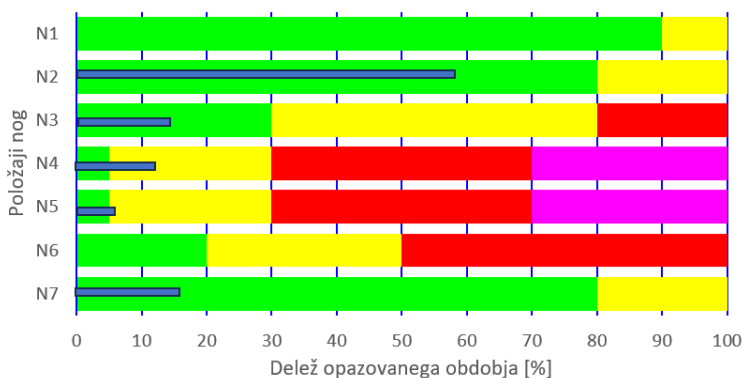
Na Sliki 5 so prikazani časovni deleži položajev rok. V 98 % opazovanih digitaliziranih posnetkih je bil zabeležen položaj, kjer sta roki pod nivojem ramen R1. To seveda predstavlja neproblematično stanje rok.



Slika 5: Opredelitev težavnosti glede na trajanje zadrževanja rok v določenem položaju

Vir: lasten

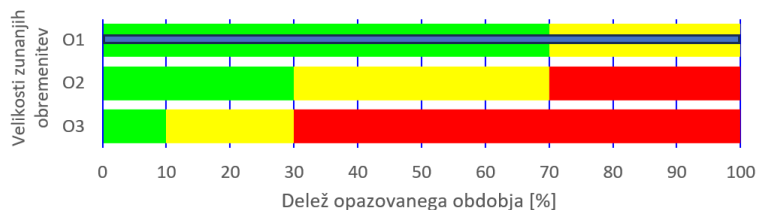
Na Sliki 6 lahko spremljamo časovne deleže položaja nog med delom. Noge se večji del časa nahajajo v položaju N2 - obe nogi sta vzravnani. Položaji N4 - čepenje z obema upognjenima kolenoma, in N5 - čepenje z enim upognjenim kolenom, segajo v rumeno polje, kar nakazuje potrebo po ukrepanju.



Slika 6: Opredelitev težavnosti glede na trajanje zadrževanja nog v določenem položaju

Vir: lasten

Iz Slike 7, ki opredeljuje časovne deleže prisotnosti zunanjega bremena, izhajajo, da je v vseh primerih obremenitev bila ocenjena kot 1, kar pomeni, da je delavec rokoval z bremenom mase do 10 kg.



**Slika 7: Opredelitev težavnosti glede na velikost zunanje obremenitve**

Vir: lasten

S pomočjo pridobljenih rezultatov smo identificirali nekaj položajev, na katere bi morali biti posebno pozorni in za katere bi bilo priporočljivo uvesti ukrepe. Ugotovitev velja predvsem za položaje H2, H3 in H4 ter N4 in N5. Čeprav se delavec redko nahaja v počepu, bi veljalo razmisliti o ergonomskih ukrepih (dvižni voziček).

#### 4.4 Analiza z metodo KIM

Za analizo KIM smo uporabili priporočene obrazce Ministrstva za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti (<https://vzd.mdds.gov.si/>). Preden smo izvedli ocenjevanje z metodo KIM, smo naredili presejalni test, da bi ugotovili, katero konkretno metodo KIM naj uporabimo. Osnovno preverjanje (OP) vsebuje kontrolni seznam, ki opisuje šest vrst fizičnih obremenitev in navaja primere za lažjo razvrstitev. Za vsako vrsto obremenitve se je treba odločiti, ali delovno opravilo sploh vključuje določene obremenitve in tovrstne obravnave. Za obravnavani primer v LIPPS smo naredili osnovno preverjanje BAuA za prepoznavanje telesnih obremenitev na delovnem mestu (OP) (UL RS, št.84/23, 2023). V tabeli smo zabeležili DA za ročne delovne procese (Slika 8).

Po tem, ko smo s pomočjo osnovnega pregleda ugotovili, da delo zahteva neko obliko napora, smo nadaljevali z uvodnim pregledom. Uvodni pregled nam daje grobo informativno oceno zdravstvenih tveganj. Za vsako vrsto obremenitve preko uvodnega vprašanja preverimo, če naloge dejansko zahtevajo določeno obliko napora. Pri uvodnem pregledu smo za opazovano delo dobili oceno 2 točki (Slika 9).

**Osnovno preverjanje BAuA za prepoznavanje telesnih obremenitev na delovnem mestu**

**Naziv delovnega mesta:** Simulacija montažne linije v laboratoriju LIPPS

**Običajna opravila na delovnem mestu, ki se upoštevajo (tudi na različnih krajih):** Pakiranje knjig v škatle

Delovni čas na dan (v urah): 8

Opazujte telesne obremenitve. Ali se izvajajo opravila (delovne naloge), pri katerih so prisotne ena ali več vrst spodaj navedenih obremenitev?

Vrsta telesne obremenitve	Opis	Primeri	Ali so prisotna opravila, ki vključujejo te vrste telesnih obremenitev?
Ročno dviganje, držanje in prenašanje bremen	Ročno dviganje, držanje in nošenje bremen, mase 3 kg ali več. Bremena so lahko predmeti, osebe ali živali. Vključuje sorodne oblike dviganja, kot sta spuščanje in (pretežno vodoravno) premeščanje.	Natovarjanje in raztovarjanje vreč, razvrščanje paketov, poskušanje strjev brez dušnih pripomočkov, pretovarjanje paletrnega blaga, komisioniranje...	<input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Da
Ročni delovni procesi	Enakomerni ponavljajoči se gibi in uporaba sile zgornjih okončin, večinoma v naravnemu med sedenjem ali stoje. Delovno opravilo je obdelava delovnega predmeta ali premikanje manjših ozkih odroma predmetov (ravnanje z njimi).	Montažna dela, spakiranje, šivanje, razvrščanje, izredovanje, ročno upravljanje blagajniško poslovanje, ročno pregledovanje, pipetiranje, rezanje, potiskanje, udajanje ali tikanje z rokami, igranje glasbil.	<input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/> Da
Ročna vleka in potiskanje bremen	Ročno premikanje oz. transportiranje bremen s tahnimi transportnimi vozili (npr. z enokolesnimi ali erozivnimi vozili, priključni vozili ali vagoni) ali vlečnimi transportnej/zbičnicami, vključno z uporabo mišične sile.	Dostava paketov z vozilom, komisioniranje z vozilom, premikanje zabojev na kolesih pri topvarju, odstranjevanje odpadkov	<input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Da
Uporaba celotne telesne moči	Uporaba celotne telesne moči, pretežno stacionarno. Uporaba sile pretežno z rokami, močan prenos sile prek o ramena, hrbta nog in stopal. Potrebne sile so tolikšne, da aktivnosti običajno ni mogoče izvajati v sedečem položaju.	Delo z vili (križci), ročicami, lomilkami ali dvirtnimi drogovi, dvirtnimi vzvodi, prevratnimi klavči ali vrzalnimi žagami, vgradnja oken, delo z lopato, montažna dela, premeščanje/mesčanje pacientov (negovalna dejavnost)	<input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Da
Premikanje (gibanje) telesa	Premikanje telesa do mesta opravila ali delovnega območja, ne glede na uporabljeno vejo sile. Upoštevajo se boljše polji in postranske oblike hoje (vzpenjanje po lestvi ali stopnicah) ter plazenje. V to vrsto obremenitev se uvršča tudi vožnja na mišični pogon (npr. s kolesom).	Hoja in vzpenjanje po stopnicah (npr. dostava paketov, selitveni servisi), odstopanje na skloni vrtilni žerjav, oddajnike, premikanje po klanjih, vožnja s kolesom (npr. kurnji na koleso).	<input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Da
Prisilna drža telesa	Nepopolna drža telesa, ki jo letita delovno ozračje in v kateri je treba vztrajati dolo časa, npr. klečanje, delo v predklonu, dela nad vidno ravnino, dolgotrajno stoječe delo in prisilno sedenje.	Pakiranje plošč, fitelecovska dela, ročno varjenje, dela za tekočim tokom, montaža stroja, suha gradnja, dela v liežečem položaju (npr. obriranje kurneni), delo z mikroskopom, mikrokirurgija.	<input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Da
Kako napreje?	Če opravila na delovnem mestu ne zahtevajo nobene od teh vrst obremenitev, je ocena zaključena. Če opravila zahtevajo eno ali več teh telesnih obremenitev, pogledajte uvodni pregled BAuA in preverite merila (glejte naslednje strani).	Zaključek ocene Nadaljujte z Uvodnim pregledom BAuA	<input checked="" type="checkbox"/>

**Slika 8: Izpolnjen formular za osnovno preverjanje BAuA (UL RS, št.84/23, 2023)**  
Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023

**1.2.2. Vrsta obremenitve »ročni delovni procesi« (RD)**

**1. korak: Uvodno vprašanje**  
Ali so v delovnem dnevu potrebne ročni opravi v smislu ponavljajočih se enakomernih premikov dlani, rok in ramen?

Prisotna opravila: Enakomerni, ponavljajoči se gibi pri pakiranju knjig v škatle

**2. korak: Preverite merila**  
Ali se opravila, ki zahtevajo ročne delovne procese, izvajajo pod naslednjimi pogoji?

Ali se opravila izvajajo skupno več kot 1,5 ure na delovni dan?

Ali je treba v posameznem delovnem dnevu več kot 1 uro uporabljati zelo močno silo,<sup>8</sup> npr. pri premikanju ali držanju orodja, rezanju fuj in viškanju delov, pri delu z manjšim orodjem, rezanju amiranega betona ali zabijanju?

Ali opravila vključujejo uporabo zelo velike sile<sup>8</sup> z veliko pogostostjo gibov (več kot 60-krat na minuto, za primer glejte prejšnji odstavek) ali uporabo največje mogoče sile (največje sile),<sup>9</sup> npr. pri privijanju ali odvijanju vijakov ali ločevanju materialov?

Ali je prisotno močno udarjanje (brez orodja), npr. s palčevno mišično kepo, dljanjo ali pestjo?

**Odgovor**  
 Ne (0 točk)  
 Da  
Preverite 2. korak.

**Odgovor**  
 Ne  
Nobeno merilo ni izpolnjeno. (1 točka)  
 Da  
Izpolnjeno je eno ali več meril. (2 točki)

**Slika 9: Uvodni pregled BAuA za ročne delovne procese (UL RS, št.84/23, 2023)**  
Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023

Na podlagi osnovnega pregleda (OP) in uvodnega pregleda (UP) smo dobili oceno, ki pomeni, da obstaja določena obremenitev, zato je potrebno oceniti tveganje pri ponavljajočih gibih (ročni delovni procesi).

Delovni proces, ki smo ga obravnavali na simulirani montažni liniji, je sestavljen iz naslednjih delovnih opravil:

- priprava delovnega mesta,
- ročno premeščanje škatle z mize, na kateri shranjujemo zložene kartonske škatle in knjige, in sestavljanje škatle med prenosom na delovno mizo,
- ročno premeščanje knjige z mize in vstavljanje knjige v škatlo na delovni mizi,
- zapiranje škatle in zapečatenje škatle z lepilnim trakom,
- odlaganje škatle na transportni voziček.

Oceno tveganja pri ponavljajočih se gibih (ročni delovni procesi) smo izvedli s pomočjo obrazca MKK-RD (Priloga 3, UL RS, št.84/23, 2023).

V 1. koraku smo določili točke ocenjevanja časa. Upoštevali smo skupno trajanje ocenjevanih opravil. Skupno trajanje opravil na delovni dan smo izračunali na podlagi trajanja in pogostosti analiziranih delovnih ciklov na delovni dan. Delovna izmena traja 8 ur oziroma 480 minut. Glede na zakonsko predpisan odmor (30 minut) je skupno trajanje opravila 450 min. Delovno mesto smo pripravljali 30 min (distribucija škatel in knjig na mizo na kateri shranjujemo zložene kartonske škatle in knjige), kar v končni fazi pomeni, da je skupno trajanje opravil na delovni dan znašalo 7 ur oziroma 420 min. Časa za pripravo delovnega mesta nismo všteli v oceno. Časovna utež je bila linearna in je ustrezala skupnemu trajanju opravila. Po odšteti 0,5 ure za odmor in 0,5 ure za pripravo delovnega mesta smo dobili časovno utež 7 ur.

V 2. koraku smo določali ocenjevalne točke za druge kazalnike. Najprej smo določili vrsto sile, ki se uporablja na območju prstov/dlani v »standardni minuti«. Mišične sile smo navedli kot odstotek maksimalne moči ( $F_{max}$ ), pri čemer smo za naš primer določili zelo majhno silo, ki ne presega 15 %  $F_{max}$ . Pri določanju točk za levo in desno roko za držanje in premikanje bremena, smo uporabili štoparico. Za desno

roko smo izmerili čas držanja bremena, ki je 14,4 sekunde za delovni cikel, ki traja 30 sekund. Ker ocenjujemo kazalnik držanja in pogostost premikanja na standardno minuto, smo čas zadrževanja in pogostost gibanja pomnožili z 2, kar je rezultiralo v 28,8 sekundah. Enak postopek smo ponovili za levo roko in zabeležil povprečni čas trajanja obremenitve 26,7 sekund. Nato smo izračunali povprečno frekvenco gibanja rok, ki je znašala 10. Upoštevajoč tabelo za ocenjevanje vrste sile, ki se uporablja na območju prstov/dlani v standardni minuti, smo dobili rezultate držanja in premikanja za desno in levo roko. Ti so bili enaki za obe roki (držanje 3, premikanje 1). Ocenjevalne točke za silo napora oziroma fizično obremenitev smo dobili tako, da smo sešteli točke za držanje in točke za premikanje, in dobili rezultat 4.

Nadaljevali smo z ocenjevanjem prenosa sile/pogojev prijemanja. Opredelili smo vrsto sile in uporabo sile v območju prstov in rok, pri čemer smo upoštevali naslednje dejavnike:

- razmerje med vrsto prijema in akcijsko silo,
- vrsto prenosa sile – oprijema,
- površino predmetov.

V našem primeru smo uporabljali držalo za lepilni trak brez oblikovanih ročajev, zato smo prenos sile/pogoje prijemanja ovrednotili z dvema točkama.

Naslednji korak je ocena položaja in gibanja roke/dlani. Položaj rok smo ocenili kot 0, saj med izvajanjem delovnih opravil ni odstopanj in ni statične drže rok.

Rezultate prvega dela analize za oceno tveganja fizičnih delovnih obremenitev med ročnimi delovnimi procesi (MKK-RD) prikazuje Slika 10.

V nadaljevanju smo ocenili še delovne pogoje, telesno držo/gibanje telesa ter organizacijo dela. Rezultati so razvidni iz Slike 11, ki predstavlja nadaljevanje ocenjevalnega lista za oceno tveganja pri ročnih delovnih procesih.

Faktorji za oceno neugodnih delovnih pogojev močno vplivajo na delavca v delovnem okolju. Slaba osvetlitev in bleščanje lahko povzročita neudoben položaj glave, kar dodatno obremenjuje mišice vratu. Hladno delovno okolje, prepih in vlaga

v zraku lahko privedejo do ohlajanja telesa in poslabšajo koordinacijo gibov. Kljub naštetim dilemam nismo opazili teh težav med opravljanjem naloge v laboratoriju, zato smo tej kategoriji dodelili oceno 0.





3. Ocena tveganja pri ponavljajočih gibih – ročni delovni procesi (MKK-RD)																																																																																			
Delovno mesto/opravlilo: Simulacija montažne linije v LIPPS, Pakiranje knjig v škatlo																																																																																			
Trajanje delovnega dne: 8 ur					Ocenjevanje izvedel/-la:																																																																														
Trajanje opravila: 7 ur					Datum:																																																																														
1. korak: Določitev točk ocenjevanja časa																																																																																			
7	Skupno trajanje tega opravila na delovni dan (do ... ur)																																																																																		
Točke ocenjevanja časa:																																																																																			
	do 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
2. korak: Določitev ocenjevalnih točk za druge kazalnike																																																																																			
4	<p>Vrsta sile, ki se uporablja na območju prstov/dlani v »standardni minuti«</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stopnja</th> <th>Opis, običajni primeri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>nizka</td> <td><b>Zelo majhna/majhna sila</b> (do 15 % <math>F_{maxM}</math>) npr. aktiviranje gumbov/premikanje/narocanje/vodenje materiala / vstavljanje majhnih delov</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Zmerna sila</b> (do 30 % <math>F_{maxM}</math>) npr. prijemanje/spajanje majhnih obdelovancev z roko ali majhnim orodjem</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Velika sila</b> (do 50 % <math>F_{maxM}</math>) npr. obračanje/navijanje/pakiranje/prijemanje/držanje ali spajanje delov/tiskanje/rezanje/delo z majhnimi pogonskimi ročnimi orodji</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Zelo velika sila</b> (do 80 % <math>F_{maxM}</math>) npr. rezanje z večjim delom sile/delo z majhnimi sponkami/premikanje ali držanje delov ali orodij</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Največja sila</b> <sup>2)</sup> (več kot 80 % <math>F_{maxM}</math>) npr. zategovanje, odvijanje vijakov/ločevanje /pritiskanje</td> </tr> <tr> <td>visoka</td> <td><b>Močno udarjanje</b> <sup>2)</sup> s členkom palca, dlano ali pestjo</td> </tr> </tbody> </table> <p>Upoštevaty je treba delovni cikel in označiti ocenjevalne točke za kategorije sile. Če jih seštejete (ločeno za levo in desno roko), dobite točko za oceno sile. Za izračun skupne ocene (korak 3) je treba uporabiti višjo vrednost.</p>										Stopnja	Opis, običajni primeri	nizka	<b>Zelo majhna/majhna sila</b> (do 15 % $F_{maxM}$ ) npr. aktiviranje gumbov/premikanje/narocanje/vodenje materiala / vstavljanje majhnih delov		<b>Zmerna sila</b> (do 30 % $F_{maxM}$ ) npr. prijemanje/spajanje majhnih obdelovancev z roko ali majhnim orodjem		<b>Velika sila</b> (do 50 % $F_{maxM}$ ) npr. obračanje/navijanje/pakiranje/prijemanje/držanje ali spajanje delov/tiskanje/rezanje/delo z majhnimi pogonskimi ročnimi orodji		<b>Zelo velika sila</b> (do 80 % $F_{maxM}$ ) npr. rezanje z večjim delom sile/delo z majhnimi sponkami/premikanje ali držanje delov ali orodij		<b>Največja sila</b> <sup>2)</sup> (več kot 80 % $F_{maxM}$ ) npr. zategovanje, odvijanje vijakov/ločevanje /pritiskanje	visoka	<b>Močno udarjanje</b> <sup>2)</sup> s členkom palca, dlano ali pestjo																																																											
Stopnja	Opis, običajni primeri																																																																																		
nizka	<b>Zelo majhna/majhna sila</b> (do 15 % $F_{maxM}$ ) npr. aktiviranje gumbov/premikanje/narocanje/vodenje materiala / vstavljanje majhnih delov																																																																																		
	<b>Zmerna sila</b> (do 30 % $F_{maxM}$ ) npr. prijemanje/spajanje majhnih obdelovancev z roko ali majhnim orodjem																																																																																		
	<b>Velika sila</b> (do 50 % $F_{maxM}$ ) npr. obračanje/navijanje/pakiranje/prijemanje/držanje ali spajanje delov/tiskanje/rezanje/delo z majhnimi pogonskimi ročnimi orodji																																																																																		
	<b>Zelo velika sila</b> (do 80 % $F_{maxM}$ ) npr. rezanje z večjim delom sile/delo z majhnimi sponkami/premikanje ali držanje delov ali orodij																																																																																		
	<b>Največja sila</b> <sup>2)</sup> (več kot 80 % $F_{maxM}$ ) npr. zategovanje, odvijanje vijakov/ločevanje /pritiskanje																																																																																		
visoka	<b>Močno udarjanje</b> <sup>2)</sup> s členkom palca, dlano ali pestjo																																																																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Držanje <sup>1)</sup></th> <th colspan="5">Premikanje</th> </tr> <tr> <th colspan="3">povprečni čas držanja (sekunde na minuto)</th> <th colspan="5">povprečna frekvenca gibanja [število na minuto]</th> </tr> <tr> <th>31-60</th> <th>16-30</th> <th>≤ 15</th> <th>&lt; 5</th> <th>5-15</th> <th>16-30</th> <th>31-60</th> <th>61-90 <sup>3)</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Ocenjevalne točke</td> <td colspan="5">Ocenjevalne točke</td> </tr> <tr> <td>5,5</td> <td>3</td> <td>1,5</td> <td>0,5</td> <td>1</td> <td>2,5</td> <td>5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>4,5</td> <td>2,5</td> <td>0,5</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>7,5</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>7</td> <td>3,5</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>11</td> <td>5,5</td> <td>1,5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>35</td> <td>8</td> <td>30</td> <td>00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Ocenjevalne točke za silo napora:</td> <td colspan="2">Leva roka 4.0</td> <td colspan="3">Desna roka 4.0</td> </tr> </tbody> </table>		Držanje <sup>1)</sup>			Premikanje					povprečni čas držanja (sekunde na minuto)			povprečna frekvenca gibanja [število na minuto]					31-60	16-30	≤ 15	< 5	5-15	16-30	31-60	61-90 <sup>3)</sup>	Ocenjevalne točke			Ocenjevalne točke					5,5	3	1,5	0,5	1	2,5	5	7	9	4,5	2,5	0,5	2	4	7,5	11	14	7	3,5	1	3	6	12	18	22	11	5,5	1,5	5	10	19		100	35	8	30	00				Ocenjevalne točke za silo napora:			Leva roka 4.0		Desna roka 4.0		
Držanje <sup>1)</sup>			Premikanje																																																																																
povprečni čas držanja (sekunde na minuto)			povprečna frekvenca gibanja [število na minuto]																																																																																
31-60	16-30	≤ 15	< 5	5-15	16-30	31-60	61-90 <sup>3)</sup>																																																																												
Ocenjevalne točke			Ocenjevalne točke																																																																																
5,5	3	1,5	0,5	1	2,5	5	7																																																																												
9	4,5	2,5	0,5	2	4	7,5	11																																																																												
14	7	3,5	1	3	6	12	18																																																																												
22	11	5,5	1,5	5	10	19																																																																													
100	35	8	30	00																																																																															
Ocenjevalne točke za silo napora:			Leva roka 4.0		Desna roka 4.0																																																																														
<p><sup>1)</sup> Čas držanja se pri ocenjevanju upošteva samo, če se ena roka neprekinjeno statično drži vsaj 4 sekunde!</p> <p><sup>2)</sup> Upoštevaty: Če je bila izbrana ena od teh kategorij, je priporočljivo, da se to opravilo oceni tudi z uporabo metode ključnih kazalnikov sil celega telesa! Te sile se morda sploh ne izvajajo ali pa se ne izvajajo več zanesljivo. To velja še posebej za ženske.</p> <p><sup>3)</sup> Pri še višjih frekvencah je treba dobljeno oceno tveganja linearno ekstrapolirati.</p>																																																																																			
2	Prenos sile/pogoji prijemanja							Ocena																																																																											
Optimalen prenos sile/uporaba sile: delovni predmeti so preprosti za oprijem (npr. v obliki palice, z utori za oprijem)/dobra ergonomska oblika prijema (ročaji, gumbi, orodja).									0																																																																										
Omejen prenos/uporaba sile: potrebne so večje sile držanja/ni oblikovanih ročajev.									2																																																																										
Precejšev ovrnan prenos/uporaba sile: delovne predmete je težko prijeti (spolzki, mehki, ostri robovi)/ročajev ni ali so neprimerni.									4																																																																										
0	Položaj in gibanje roke/dlani <sup>4)</sup>							Ocenjevalne točke																																																																											
		Dobro: položaj ali gibanje sklepov v srednjem (sproščnem) območju, zgolj redka odstopanja/ni stalne statične drže rok/po potrebi je mogoč počitek rok.					0																																																																												
		Omejeno: občasni položaji ali giba sklepov na meji obsega giba/občasna dolga neprekinjena statična drža roke.					1																																																																												
		Neugodno: pogosti položaji ali giba sklepov na meji obsega giba/pogosta dolga neprekinjena statična drža roke.					2																																																																												
		Slabo: stalni položaji ali giba sklepov na meji obsega giba/stalna dolga neprekinjena statična drža roke.					3																																																																												

<sup>4)</sup> Upoštevaty je treba značilne položaje. Redka odstopanja se lahko zanemarijo.

Slika 10: Ocenjevalni list delovnih obremenitev med postopki ročnega ravnanja (UL RS, št.84/23, 2023)

Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023



0	Ocenjevalne točke
<b>Neugodni delovni pogoji</b> (navedite samo, če je primerno)	0 ✓
<b>Dobro:</b> ni neugodnih delovnih pogojev, tj. zanesljivo prepoznavanje podrobnosti/ni bleščanja/dobri podnebni pogoji.	1
<b>Omejeno:</b> občasno slabše prepoznavanje podrobnosti zaradi bleščanja ali izjemno majhnih podrobnosti, težke razmere, kot so prepih, mraz, vlaga in/ali motena koncentracija zaradi hrupa.	2
<b>Neugodno:</b> pogosto slabše prepoznavanje podrobnosti zaradi bleščanja ali izjemno majhnih podrobnosti, pogosto težke razmere, kot so prepih, mraz, vlaga in/ali motena koncentracija zaradi hrupa.	
2	Ocenjevalne točke
<b>Telesna drža/gibanje telesa<sup>9)</sup></b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Izmenično sedenje in stanje, izmenično stanje in hoja, možnost dinamičnega sedenja</li> <li>- Trup je nagnjen naprej zelo rahlo</li> <li>- Ni mogoče ugotoviti zasuka in/ali bočnega nagiba trupa</li> <li>- Drža glave: spremenljiva, glava ni nagnjena nazaj in/ali močno nagnjena naprej ali se stalno premika</li> <li>- Ni prijemanja nad višino ramen/ni prijemanja na razdalji od telesa</li> </ul>	0
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pretežno sedenje ali stoječe delo z občasno hojo</li> <li>- Trup z rahlim nagibom telesa proti delovnemu mestu</li> <li>- Opazno občasno obračanje in/ali bočni nagib trupa</li> <li>- Občasna odstopanja od dobre »nevtralne« drže/gibanja glave</li> <li>- Občasni prijemi nad višino ramen/pogosti prijemi na razdalji od telesa</li> </ul>	2 ✓
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Izključno stoječe ali sedeče delo brez hoje</li> <li>- Trup je jasno nagnjen naprej in/ali je mogoče prepoznati pogosto obračanje in/ali bočni nagib trupa</li> <li>- Pogosta odstopanja od dobre »nevtralne« drže/gibanja glave</li> <li>- Drža glave nagnjena naprej pri prepoznavanju podrobnosti/omejena svoboda gibanja</li> <li>- Pogosti prijemi nad višino ramen/pogosti prijemi na razdalji od telesa</li> </ul>	4
 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trup močno nagnjen naprej/pogosto ali dolgotrajno upogibanje</li> <li>- Delo se opravlja v položaju klečanja, počepov ali ležanja</li> <li>- Opazno stalno obračanje in/ali bočni nagib trupa</li> <li>- Strogo določena drža telesa/vizualno preverjanje delovanja z uporabo povečevalnih stekel ali mikroskopov</li> <li>- Stalna odstopanja od dobre »nevtralne« drže/gibanja glave</li> <li>- Stalni prijemi nad višino ramen/stalni prijemi na razdalji od telesa</li> </ul>	6 <sup>7)</sup>
<sup>9)</sup> Upoštevati je treba značilno telesno držo. Redka odstopanja se lahko zanemarijo. <sup>6)</sup> Če se postopki ročnega ravnanja ne izvajajo v mirujočem sedečem, stoječem, klečečem, sključenem ali ležečem položaju, temveč v gibanju (hoja, plazenje), je priporočljivo opravilo oceniti tudi z uporabo metode ključnih kazalnikov premikanje telesa. <sup>7)</sup> Upoštevajte: Če je bila izbrana ta kategorija, je priporočljivo, da se to opravilo oceni tudi z uporabo metode ključnih kazalnikov pisilne drže telesa!	
4	Ocenjevalne točke
<b>Organizacija dela/začasna razporeditev</b>	0
<b>Dobro:</b> pogoste spremembe fizične delovne obremenitve zaradi drugih opravil (vključno z drugimi vrstami fizične delovne obremenitve)/brez tesnega zaporedja večjih fizičnih obremenitev znotraj ene vrste fizične delovne obremenitve v enem delovnem dnevu.	2
<b>Omejeno:</b> redke spremembe fizične delovne obremenitve zaradi drugih opravil (vključno z drugimi vrstami fizične delovne obremenitve)/občasno tesno zaporedje večjih fizičnih obremenitev znotraj ene vrste fizične delovne obremenitve v enem delovnem dnevu.	4 ✓

Slika 11: Ocenjevalni list delovnih obremenitev med postopki ročnega ravnanja (UL RS, št.84/23, 2023)

Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023

Telesno držo in gibanje telesa smo ocenili z dvema točkama, saj se delo večinoma izvaja v stoječem položaju, z občasnimi premiki od delovne mize do vozička in mize, kjer se nahajajo škatle. Med pakiranjem knjig v škatle je opazen rahel nagib trupa proti delovnemu mestu. Prav tako smo opazili, da delavec knjige med pakiranjem prijema na določeni razdalji od telesa.

Nazadnje smo ocenili organizacijo dela in začasno razporeditev, kjer obstaja tveganje za prekomerno mišično utrujenost zaradi enostranskih, enakomernih vzorcev obremenitev, visoke hitrosti dela in pomanjkanja zadostnih odmorov. Organizacijo

dela smo ocenili kot neugodno, z oceno 4, saj se delo (pakiranje) izvaja hitro in brez sprememb v obremenitvi.





V 3. koraku smo izračunali končno oceno tveganja za telesne obremenitve pri ročnih delovnih procesih. Ocena temelji na ocenah točkovnih vrednosti, ki smo jih dobili za vsako opravilo. Izračuna se s seštevanjem ključnih kazalnikov in pomnoži s časovno utežjo (Slika 12).

Vrsta sile, ki deluje na območje prstov/dlani	4
Prenos sile/pogoji prijemanja +	2
Položaj in gibanje dlani/roke +	0
Neugodni delovni pogoji +	0
Telesna drža +	2
Organizacija dela/zračna razporeditev +	4
<b>Točke ocenjevanj</b> 7 x <b>Skupno število ocenjevalnih točk kazalnikov:</b> 12.0	<b>Rezultat</b> 84

**Slika 12: Ocenjevanje stopnje tveganja pri ročnih delih (UL RS, št.84/23, 2023)**

Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023

Končna ocena tveganja za obremenitve pri ročnih delih, ki jih je izvajal delavec na simulirani montažni liniji v laboratoriju LIPPS, je 84. Dobljeni rezultat spada v tretjo stopnjo tveganja, od 50 do < 100 točk, kar pomeni, da je stopnja obremenitve bistveno povečana (Slika 13).

Glede na izračunano število točk iz tretjega koraka in določeno stopnjo tveganje je potrebno slediti ukrepom:					
Tveganje	Stopnja tveganja	Stopnja obremenitve	Ukrepi		
	1	< 20 točk	Nizka	a) Fizična preobremenitev ni verjetna. b) Zdravstvenih tveganj ni pričakovati.	Niso potrebni.
	2	20 do < 50 točk	Rahlo povečana	a) Fizična preobremenitev je mogoča pri manj odpornih osebah, še posebej pri mlajših, starejših, nosečih delavcih ali osebah pri katerih izvajalec medicine dela ugotovi zdravstvene omejitve. b) Utrujenost, manjše težave s prilagajanjem, ki jih je mogoče odpraviti v prostem času.	V najkrajšem možnem času je potrebna prilagoditev delovnega mesta in izdelava načrta drugih preventivnih ukrepov za zmanjšanje stopnje obremenitve pri katerih izvajalec medicine dela ugotovi zdravstvene omejitve.
	3	50 do < 100 točk	Bistveno povečana	a) Fizična preobremenitev je mogoča tudi pri običajno odpornih osebah. b) Motnje (bolečina), lahko tudi disfunkcije, ki so v večini primerov reverzibilne, brez morfološke manifestacije.	V najkrajšem možnem času je potrebna prilagoditev delovnega mesta in izdelava načrta drugih preventivnih ukrepov za zmanjšanje stopnje obremenitve.
	4	≥ 100 točk	Visoka	a) Fizična preobremenitev je verjetna. b) Izrazitejša motnje in/ali disfunkcije, strukturne poškodbe s patološkim pomenom.	Nemudoma je potrebna prilagoditev delovnega mesta in izdelava načrta drugih preventivnih ukrepov za zmanjšanje stopnje obremenitve.

**Slika 13: Vrednotenje stopnje obremenitve (UL RS, št.84/23, 2023)**

Vir: Prirejeno po Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov (MKK), 2023

## 5 Diskusija in zaključek

V naši raziskavi smo analizirali ergonomske vidike delovnih pogojev na simulirani montažni liniji v Laboratoriju za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov (LIPPS). Cilj naše študije je bil uporabiti in primerjati metodi OWAS (OVAKO Working Postures Analysing System) in KIM (Key Indicator Method) za prepoznavanje kritičnih telesnih drž v delu na montažni liniji. S pomočjo laboratorijskih simulacij in natančno definiranih postopkov smo raziskovali, kako lahko te metode zagotovijo dosledne rezultate pri prepoznavanju ergonomskih izzivov in kritičnih točk. Naša analiza je zajemala opazovanje delavca pri izvajanju delovnih nalog na simulirani montažni liniji, pri čemer smo uporabili metodo OWAS za oceno delovnih obremenitev in položaja telesa ter metodo KIM za celovito oceno tveganja za telesne obremenitve pri ročnih delih.

Analiza z metodo OWAS je razkrila več pomembnih ugotovitev glede delovnih obremenitev in ergonomskih položajev telesa pri izvajanju specifičnih nalog na montažni liniji. Med opazovanjem delovnih procesov smo beležili različne položaje telesa delavcev ter ugotovili, da so nekateri delovni položaji in aktivnosti povezani s povečano stopnjo obremenitve telesa. Analiza z metodo OWAS, identificira zmerno visok Lundqvistov indeks, ki je znašal 162. Ta indeks predstavlja zmerno utrujenost zaposlenega zaradi dela.

Glede na izvedeno analizo z metodo KIM pa smo na naši simulirani montažni liniji ugotovili povečano stopnjo tveganja za telesne obremenitve pri ročnih delih. Na podlagi kvantitativnih ocen in analize različnih dejavnikov, kot so časovna obremenitev, uporaba sile, telesna drža in organizacija dela, smo ugotovili, da so delavci izpostavljeni tveganju za fizično preobremenitev.

Ocena časovne obremenitve je pokazala, da delovna izmena traja 8 ur, pri čemer je skupno trajanje opravila 420 minut. Analiza telesne drže in gibanja je razkrila, da se delo izvaja izključno v stoječem položaju, pri čemer je opazen blag nagib trupa proti delovnemu mestu. Poleg tega smo opazili neustrezno organizacijo dela, ki vključuje enostranske, enakomerne vzorce obremenitev, visoko hitrost dela in nezadostne odmori. Na koncu smo skupaj z vsemi ocenami dobili rezultat, ki znaša 84 točk. To kaže na možnost fizične preobremenitve, kar se lahko odraža tudi v disfunkciji, ki pa je v večini primerov reverzibilna.

Ob upoštevanju pridobljenih rezultatov analiz metod OWAS in KIM pridemo do ključnega spoznanja o potrebi po celovitem pristopu k ergonomski oceni delovnih pogojev na simulirani montažni liniji. Na podlagi analize telesnih obremenitev smo ugotovili, da samo integracija obeh metod v postopek ergonomske ocene lahko največ prispeva k oblikovanju iztočnic za izboljšanje delovnih pogojev in produktivnosti.

Analični vpogled v rezultate metod OWAS in KIM ponuja popolni pregled vseh mogočih ergonomskih izzivov, še posebej ob upoštevanju različnih telesnih zgradb delavcev, kar je zelo pomembno za prilagajanje ergonomskih ukrepov posameznikom.

KIM ponuja identifikacijo tveganja pri ročnem premeščanju bremen. Ocena je individualizirana in omogoča natančno identifikacijo fizikalnih obremenitev zaradi bremena. S tem lahko bolje prilagajamo delovne postopke in opremo, kar vodi k izboljšanju delovnih pogojev in zmanjšanju tveganja za poškodbe.

OWAS metoda razkriva širšo sliko o delovni drži in položaju telesa med delovnim procesom in seveda daje bolj grobe rezultate glede obremenjenosti telesa zaradi neposrednih zunanjih obremenitev (vpliv bremena).

Iz celotnega prispevka je jasno, da metoda OWAS bolj detajlno analizira položaj in držo telesnih segmentov in je nekoliko manj fokusirana na obremenitev zaradi bremena. KIM metoda pa je bolj osredotočena na oceno vplivov na telo zaradi zunanjih bremen. Metoda pa je le posredno osredotočena na položaje telesnih segmentov pri opravljanju del. Vsekakor se kot raziskovalni izziv pokaže ugotavljanje razmerja med celovito oceno delovnega mesta po metodi OWAS in po metodi KIM. Del ugotovitev nudita obe metodi (presečna množica ugotovljenih dejstev), vsekakor pa pri celoviti ergonomski oceni delovnega mesta večji delež ugotovljenih dejstev lahko pripišemo metodi OWAS.

Sinergija med metodama vsekakor omogoča celovito razumevanje vseh ergonomskih vidikov dela vključno s tveganji, ki izhajajo iz obremenitev zaradi premeščanja bremen. Čeprav lahko ena metoda nudi določen vpogled v ergonomsko oceno, lahko kombinacija obeh metod dopolni razumevanje obremenitev telesa in omogoči boljše načrtovanje ukrepov.

Rezultati raziskave kažejo tudi na možnost optimizacije delovnih postopkov in oblikovanja ergonomskih delovnih mest na montažni liniji. Z uporabo metod OWAS in KIM lahko identificiramo ključne telesne položaje in gibe ter na njihovi osnovi razvijamo prilagojene strategije za zmanjšanje obremenitev in izboljšanje produktivnosti.

Analize s pomočjo metod OWAS in KIM so nam omogočile natančen vpogled v obremenitve, s katerimi se delavec srečuje med opravljanjem določenih nalog na montažni liniji. S prehodom na ergonomsko oblikovanje delovnega okolja ne le izboljšujemo delovne pogoje delavcev, temveč tudi spodbujamo njihovo udobje, motivacijo in produktivnost. V današnjem času, kjer je kakovost delovnega okolja ključnega pomena za dobro počutje in učinkovitost zaposlenih, je vključevanje ergonomskih načel v oblikovanje delovnih mest nepogrešljivo. S stalnim izboljševanjem ergonomije delovnega okolja ustvarjamo pogoje za dolgoročno zdrave in zadovoljstvo delavcev, kar pa pozitivno vpliva tudi na uspešnost podjetja.

## Literatura

- Balantič, Z., Polajnar, A. in Jevšnik, S. (2016). *Ergonomija v teoriji in praksi*. Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje.
- Balantič, Z. (2000). Človek, delo, učinek. Moderna organizacija.
- Bortolini, M., Faccio, M., Galizia, F. G., & Gamberi, M. (2021). A tri-objective model for the manual assembly line design integrating economic, technical, and ergonomic aspects. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 607–612. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.069>
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017a). Assembly system design in the Industry 4.0 ERA: A general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700–5705. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>
- Bridger, R. (2008). Introduction to Ergonomics. <https://doi.org/10.1201/9781439894927>
- Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á.-J., & López-Martínez, J. (2017). Musculoskeletal disorders: Owas review. *Industrial Health*, 55(4), 314–337. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2016-0191>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (reba). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/s0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/s0003-6870(99)00039-3)
- Kadir, B. A., Broberg, O., & Conceição, C. S. (2019). Current research and future perspectives on Human Factors and Ergonomics in industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106004. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>
- Karhu, O., Kansi, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199–201. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- Kroemer, E. K. E., Kroemer, H. B., & Kroemer, H. A. D. (2018). *Ergonomics: How to design for ease and efficiency*. Elsevier.
- Kaljun, J., & Dolšak, B. (2012). Ergonomic design knowledge built in the Intelligent Decision Support System. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.11.009>

- Klußmann, A., Liebers, F., Brandstädt, F., Schust, M., Serafin, P., Schäfer, A., Gebhardt, H., Hartmann, B., & Steinberg, U. (2017). Validation of newly developed and redesigned key indicator methods for assessment of different working conditions with physical workloads based on mixed-methods design: A study protocol. *BMJ Open*, 7(8). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015412>
- Klußmann, A., Gebhardt, H., Rieger, M., Liebers, F., & Steinberg, U. (2012). Evaluation of objectivity, reliability and criterion validity of the key indicator method for manual handling operations (Kim-MHO), draft 2007. *Work*, 41, 3997–4003. <https://doi.org/10.3233/wor-2012-0699-3997>
- Kuijt-Evers, L., de Looze, M., & Vink, P. (2004). Theory of comfort. *Comfort and Design*, 13–32. <https://doi.org/10.1201/9781420038132.ch2>
- Madani, D. A., & Dababneh, A. (2016). Rapid entire body assessment: A literature review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107–118. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.107.118>
- Mcatamney, L., & Corlett, E. N. (1992). Ergonomic workplace assessment in a health care context. *Ergonomics*, 35(9), 965–978. <https://doi.org/10.1080/00140139208967376>
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M. S., Chaiklieng, S., & Boucaut, R. (2018). Ergonomic risk assessment of smartphone users using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) tool. *PLOS ONE*, 13(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203394>
- Trapečar, M. (2012). *Ergonomija in varstvo pri delu: interno gradivo za višjo in strokovno šolo, program Ekonomist. B&B, izobraževanje in usposabljanje d.o.o.*
- Tosi, F. (2019). *Design for Ergonomics*. Nemčija: Springer International Publishing.
- Otto, A., & Scholl, A. (2011). Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212(2), 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.01.056>
- Pacaux-Lemoine, M.-P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., & Millot, P. (2017). Designing intelligent manufacturing systems through human-machine cooperation principles: A human-centered approach. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 581–595. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.014>
- Praktične smernice za ocenjevanje tveganj telesnih obremenitev po Metodah ključnih kazalnikov, Zbornica varnosti in zdravja pri delu, (2023). Dostopno na: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MDDSZ/Prakticne-smernice-bremena.pdf>
- Reiman, A., Kaivo-oja, J., Parviainen, E., Takala, E.-P., & Lauraeus, T. (2021). Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context – a scoping review. *Technology in Society*, 65, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101572>
- Sagot, J.-C., Gouin, V., & Gomes, S. (2003). Ergonomics in product design: Safety factor. *Safety Science*, 41(2–3), 137–154. [https://doi.org/10.1016/s0925-7535\(02\)00038-3](https://doi.org/10.1016/s0925-7535(02)00038-3)
- Soares, M. M., & Rebelo, F. (2016). *Ergonomics in design: Methods and techniques*. CRC Press.
- Sokolov, B., & Ivanov, D. (2021). *Scheduling in industry 4.0 and cloud manufacturing*. SPRINGER NATURE.
- Uradni list RS, št.84/23 ((2023). Dostopno na: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2023-01-2575/pravilnik-o-zagotavljanju-varnosti-in-zdravja-delavcev-pri-rocnem-premescanju-bremen>.

# OGLJIČNI ODTIS IZDELAVE PLASTIČNEGA IZDELKA NA 3D TISKALNIKU

PETAR TODOROVIĆ, MARJAN SENEGAČNIK, ŠTEFAN ŽUN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
petar.todorovic@student.um.si, marjan.senegacnik@um.si, stefan.zun@guest.arnes.si

V tem poglavju obravnavamo problematiko ogljičnega odtisa procesa 3D tiskanja ali aditivne proizvodnje, ki je postopek konstruiranja izdelka, plast za plastjo, iz digitalnih modelov z uporabo različnih materialov, predvsem različne vrste plastike. Pregledali bomo okoljski vpliv 3D tiskanja in okoljske vplive v povezanih postopkih (priprava materiala, transport, ravnanje z odpadnimi izdelki). V prispevku preučujemo proizvodnjo, uporabo in odstranjevanje, pri čemer se osredotočamo na porabo energije, vire materiala in ravnanje z odpadki. Poleg tega ta študija vključuje primerjalno oceno med 3D tiskanjem in alternativnimi metodami proizvodnje, da se ugotovi njihov posamezen okoljski vpliv. S celovito analizo želimo prispevati k razumevanju izzivov in priložnosti trajnostnih vidikov 3D tiskanja s plastiko. Z oceno dejavnikov, kot so izraba virov in emisije, si prizadevamo zagotoviti dragocene vpoglede v trajnostne posledice 3D tiskanja s plastiko. Ugotovljeni rezultati prispevajo k širši razpravi o prednostih in slabostih 3D tiskanja v primerjavi z drugimi metodami izdelave.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.5](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.5)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
3D tiskanje,  
polilaktid (PLA),  
ogljčni odtis,  
tlačno vlivanje,  
trajnostna proizvodnja



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.5](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.5)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**  
3D printing,  
polylactide (PLA),  
carbon footprint,  
die casting,  
sustainable production

# CARBON FOOTPRINT OF PLASTIC PRODUCT MADE WITH A 3D PRINTING

PETAR TODOROVIĆ, MARJAN SENEGAČNIK, ŠTEFAN ŽUN

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[petar.todorovic@student.um.si](mailto:petar.todorovic@student.um.si), [marjan.senegacnik@um.si](mailto:marjan.senegacnik@um.si), [stefan.zun@guest.arnes.si](mailto:stefan.zun@guest.arnes.si)

This chapter discusses the topic of carbon footprint of 3D printing. 3D printing or additive manufacturing is a procedure of gradually producing an object from digital models, layer by layer, with the use of a variety of materials, in particular different types of plastic. We will look at the environmental impacts of 3D printing as well as the environmental impacts of linked procedures (material preparation, transport, waste treatment). The production, use and disposal of a product are covered with a focus on energy use, material sources and waste treatment. In addition, this study includes a comparative assessment of 3D printing and some alternative methods to determine their environmental impact. Through a comprehensive analysis, we aim to contribute to the understanding of challenges and opportunities of sustainability aspects of 3D printing using plastic materials. By assessing factors such as resource use and emissions, we aim to gain valuable insights into the sustainability implications of 3D printing with plastics. The results obtained contribute to the wider discussion about the advantages and disadvantages of 3D printing compared with alternative methods of production.





## **1 Uvod**

Z nenehnim in hitrim napredkom današnje tehnologije se nenehno razvijajo novi načini izdelave izdelkov, v iskanju proizvodnih metod, ki zagotavljajo učinkovitost, hitrost, znižanje stroškov proizvodnje in dela ter dejavnik, ki je v zadnjih desetletjih postal zelo pomemben, to je ogljični odtis izdelave izdelkov. Eden izmed načinov izdelave je 3D tiskanje. 3D tiskanje je tehnika aditivne proizvodnje za izdelavo širokega izbora struktur in kompleksnih geometrij na podlagi podatkov 3D modela. Tehniko so sprva uporabljali proizvajalci in razvijalci izdelkov za izdelavo prototipov, maket in nadomestnih delov (Peacock, 2014). 3D tiskanje revolucionira proizvodnjo s transformacijo digitalnih modelov v oprijemljive predmete. Širok nabor materialov, ki se trenutno uporablja pri 3D tiskanju, zajema plastiko, kovine, polimere, keramiko in beton (Shahrubudin idr., 2019). Z uporabo materialov, kot so plastika, kovina ali celo bio-črnila, ta aditivni proizvodni postopek omogoča ustvarjalcem, da svoje ideje oživijo z natančnostjo. Od izdelave prototipov do proizvodnje po meri 3D tiskanje preoblikuje industrije in sproža inovacije po vsem svetu.

V zadnjih letih se je 3D (tridimenzionalno) tiskanje zelo uveljavilo. V primerjavi s konvencionalnimi metodami ima vrsto prednosti, med drugim tudi zaradi manjših vplivov na okolje (Shuaib idr., 2021). Pri proizvodnji je čedalje bolj izpostavljen okoljski vidik. Eden od najbolj uporabljenih parametrov, s katerimi merimo vpliv na okolje, je ogljični odtis. Ogljični odtis je možno izračunati za posameznika, organizacijo ali proces, za industrijo pa je zelo primeren parameter izračun ogljičnega odtisa na enoto izdelka, za kar je razvitih več metodologij oziroma standardov, kot so ISO/TS 14067, GHG Protocol Product Standard, PAS 2050 in Climate Declaration (Kavkler, 2016). Seveda bi se v prispevku osredotočili na izračun ogljičnega odtisa pri proizvodnji plastičnih izdelkov (Dormer idr., 2013; Rahim in Raman, 2017; Tonini idr., 2021). Želimo izračunati ogljični odtis, ki nastane pri proizvodnji izdelka na 3D tiskalniku z uporabo metode modeliranja taljenega materiala (Fused Deposition Modeling). To je metoda tridimenzionalnega tiskanja, ki je predvsem zaradi svoje enostavnosti najbolj razširjena (Kogovšek, 2021). Kot material za izdelavo izdelka bi uporabili polilaktid (LCA).

Namen tega poglavja je izračun ogljičnega odtisa in ocena okoljskih vplivov, ki nastanejo pri procesu 3D tiskanja, in ga primerjati z alternativnimi metodami proizvodnje.

V naslednjem podpoglavju bomo predstavili naš metodološki pristop, metode, s katerimi smo zbirali podatke, metode za njihovo analizo in pričakovane rezultate našega prispevka.

## 2 Metodologija

Cilj je zagotoviti predhodni pregled različnih tehnologij 3D tiskanja in njihov vpliv na okolje, od najbolj do najmanj obremenjujočih. Poleg tega si v tem poglavju prizadevamo oceniti okoljski vpliv filamentov ali vhodnih materialov, uporabljenih v vsaki tehnologiji 3D tiskanja, in jih razvrstiti glede na njihov okoljski odtis. Ocena zajema proizvodnjo materialov, postopek 3D tiskanja, uporabo izdelka in možnost ponovne uporabe materiala oziroma biorazgradljivosti.

Prispevek se osredotoča tudi na primerjavo okoljskih odtisov in stroškovne učinkovitosti dveh proizvodnih tehnologij, in sicer 3D tiskanja termoplastov in brizganja termoplastov. Primarni cilj je oceniti ekonomsko izvedljivost proizvodnje istega izdelka z uporabo teh tehnologij in ugotoviti, katera metoda je ekonomsko ugodnejša.

V začetni fazi je cilj naloge vzpostaviti rangiranje okoljskih vplivov tehnologij 3D tiskanja in pripadajočih filamentnih materialov, kar bo olajšalo izbiro tehnologij z najmanjšo obremenitvijo za okolje. Te razvrstitve bodo pomagale pri prepoznavanju okolju prijaznih tehnologij 3D tiskanja glede na porabo energije in emisij ter okolju najbolj prijaznih filamentnih materialov. Uporaba teh meril je ključnega pomena za odločitev o trajnostnem pristopu 3D tiskanja.

Poudarek bo tudi na oceni okoljskih in stroškovnih vidikov 3D tiskanja in brizganja plastike. Primarni rezultat bo finančna ocena primerjave donosnosti obeh tehnologij za proizvodnjo istega plastičnega izdelka. To vrednotenje bo zajemalo tehnološke, oblikovalske, finančne in okoljske parametre, ki zagotavljajo izbiro najprimernejše tehnologije za specifične zahteve proizvodnje plastičnih izdelkov.

Metode reševanja problema bodo najprej jasno definirane in iskanje rešitve problema. Pri tem procesu bomo uporabili metodo zbiranja podatkov iz različnih virov iz znanstvene in strokovne literature. Pri izračunu ogljičnega odtisa izdelka bomo uporabili katerega izmed za to namenjenih standardov, kot je standardna metoda LCA. Zbrane podatke bomo analizirali in na podlagi analiz podajali sklepe in rešitve.

### **3 Teoretični del**

Najprej bomo definirali ključne besede:

- 3D tiskanje ali aditivna proizvodnja je postopek, ki konstruira fizične objekte plast za plastjo iz digitalnih modelov z uporabo materialov, kot so plastika, kovina ali smola. Ta tehnologija omogoča ustvarjanje zapletenih in prilagojenih modelov, revolucioniranje prototipov, proizvodnje in inovacij v različnih panogah (Campbell in Ivanova, 2013).
- Ogljični odtis je skupna količina toplogrednih plinov, predvsem ogljikovega dioksida in drugih ogljikovih spojin, ki jih je posameznik, organizacija, izdelek ali dejavnost, neposredno ali posredno, izpustil v ozračje; običajno merjeno z ekvivalentom ogljikovega dioksida emisije (Wiedmann idr., 2020).
- Tlačno vlivanje je proizvodni postopek, ki vključuje vbrizgavanje materiala, pogosto tekoče kovine ali plastike, v kalup pri visokem tlaku za izdelavo podrobnih in visokokakovostnih delov. Uporaba pritiska pomaga odpraviti zračne mehurčke in zagotavlja natančno replikacijo zapletenih značilnosti kalupa, kar ima za posledico natančno izdelane in dosledne izdelke (Lee idr., 2014).

V teoretičnem delu prispevka bomo opisali različne vrste 3D tiskanja. 3D tiskanje kot pojem je bilo prvič predstavljeno v 80. letih prejšnjega stoletja (Hull, 1983). 3D tiskanje je vrsta aditivne proizvodnje (AM), ki vključuje proizvodnjo 3D izdelkov z dodajanjem materialov plast za plastjo. Od uvedbe in komercializacije se 3D-tiskanje v veliki meri uporablja v inženirski in proizvodni, zdravstveni in vesoljski industriji, zlasti za izdelavo prototipov in ustvarjanje lahkih kompleksnih oblik in struktur (Yin idr., 2018). Prvi 3D tiskalnik je izdelal 3D Systems Corporation leta 1987. Ta stroj

je deloval na principu stereolitografije (SLA). Ta stroj je omogočil izdelavo kompleksnih delov, plast za plastjo, v delčku časa, ki bi sicer trajal (Turney idr., 2023).

Nekatere prednosti tega načina pridelave v primerjavi s konvencionalnimi načini pridelave so:

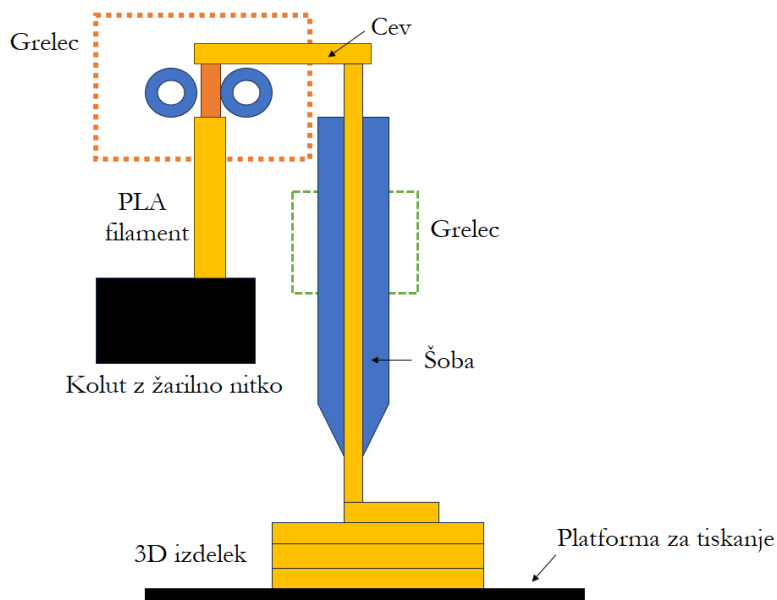
- Izboljšana učinkovitost materiala, saj ni izgube materiala zaradi rezanja ali strojne obdelave.
- Viri imajo večjo učinkovitost, saj ti procesi ne zahtevajo pomožnih virov, kot so orodja, šablone, napeljave in tako naprej.
- Izdelke visoke kompleksnosti in zapletenosti je mogoče izdelati, saj ni omejitev glede orodij.
- Aditivni proizvodni procesi povečujejo fleksibilnost proizvodnje (Prakash idr., 2018).

V naslednjih desetletjih se je razvila druga vrsta 3D tiskanja z uporabo drugačnih materialov in metod. V tem poglavju bomo opisali te različne vrste tiskanja, uporabljene materiale s poudarkom na plastiki, prednosti in slabosti posameznih načinov 3D tiska ter ovrednotili vpliv teh tehnologij na okolje, pri čemer bomo oglični odtis uporabili kot ocenjevalni standard, za izračun katerega je bilo razvitih več metodologij in standardov (Kavkler, 2016). Najbolj zrele metode vključujejo modeliranje taljenega materiala (FDM), selektivno lasersko sintranje (SLS), stereolitografijo (SLA), proizvodnjo laminiranih predmetov (LOM) (Vaezi idr., 2013).

### **3.1 3D tiskanje z metodo modeliranja taljenega materiala (FDM)**

Postopek z metodo modeliranja taljenega materiala (Fused Deposition Modeling) - FDM, ki je razvrščen kot tehnika ekstrudiranja materiala AM, je najenostavnejša, cenovno dostopna in enostavno uporabna tehnika 3D tiskanja za materiale na osnovi polimerov in se v veliki meri uporablja v različnih industrijah (Cuiffo idr., 2017). Modeliranje taljenega nanašanja (FDM), znano tudi kot tehnika izdelave dodatkov z ekstruzijo materiala, uporablja polimere kot surovino (filament). Filament se običajno segreje do staljenega stanja in se nato ekstrudira skozi šobo stroja (3D tiskalnik), kot prikazuje Slika 1. Glava šobe se lahko premika v treh

prostostnih stopnjah (DoF), da nanese ekstrudirani polimer na gradbeno ploščo v skladu z navodili kode G. G-code je računalniški programski jezik, ki se uporablja za pogon računalniško vodenih proizvodnih strojev. Komponente so običajno nanesene na gradbeno ploščo (platformo), ki jo je po tiskanju mogoče odstraniti z odtrganjem ali namakanjem v detergentu, odvisno od vrste termoplasta. Nato lahko natisnjene komponente površinsko očistite, zbrusite, pobarvate ali rezkate, da izboljšate njihov površinski videz in funkcionalnost.



Slika 1: Shematski prikaz naprave za tiskanje z metodo modeliranja taljenega materiala.

Vir: Heinemann, 2016

Obstajajo različni materiali, ki se lahko uporabljajo za modeliranje taljenega nanosa, vendar večina uporabnikov 3D tiskalnikov, tako v domačem kot industrijskem obsegu, najbolj uporablja PLA (Polilaktidna kislina). PLA plastika pomeni polilaktidna kislina. PLA plastika je termoplast narejen na osnovi rastlinskih sestavin. PLA je najbolj uporabljen material iz več razlogov:

- Polimlečna kislina (PLA) je bioplastika, zato je okolju prijazna in ni škodljiva za zdravje ljudi in živali. PLA je zelen material, saj je proizveden iz popolnoma obnovljivih virov, kot so koruza, sladkorni trs, pšenica ali

katerikoli drugi vir z visoko vsebnostjo ogljikovih hidratov (Camargo idr., 2019).

- PLA ima temperaturo posteklenitve med 50 in 70 °C, temperaturo tališča pa med 180 in 220 °C [13–15]. Tako ga lahko večina nizkoenergijskih in stroškovno učinkovitih 3D tiskalnikov iztisne (Liao idr., 2019).
- Plastika PLA je primerna za kompostiranje in se ob odlaganju hitro razgradi, za razliko od druge plastike, ki ima resne izzive pri odlaganju. Ker je PLA med biopolimeri, se razgradi v naravne in nestrupene pline, vodo, biomaso in anorganske soli, ko je izpostavljen naravnim pogojem, hidrolizi ali celo pri sežigu.
- Pokazalo se je, da ima PLA v svoji polkristalni obliki dober upogibni modul, boljšo natezno trdnost in upogibno trdnost.
- PLA je komercialno na voljo na trgu v različnih barvah in teksturah. Zaradi tega je privlačen za uporabnike, zlasti za domače in okrasne upravljalce 3D tiskalnikov.

Naslednji priljubljeni material, ki se uporabljajo pri 3D tiskanju z ekstruzijo materialov, je akrilonitril butadien stiren (ABS) (Perez idr., 2014). ABS (akrilonitril butadien stiren) ima dolgo zgodovino v tehnologijah 3D tiskanja. Ta material je bil ena prvih plastičnih mas, ki se je uporabljala v industrijskih 3D tiskalnikih. Mnogo let kasneje je ABS še vedno zelo priljubljen material zaradi nizkih stroškov in dobrih mehanskih lastnosti. ABS je znan po svoji žilavosti in odpornosti na udarce, kar omogoča tiskanje trpežnih delov, ki bodo vzdržali dodatno uporabo in obrabo. ABS ima tudi višjo temperaturo posteklenitve, kar pomeni, da lahko material prenese veliko višje temperature, preden se začne deformirati.

Drug priljubljen material je najlon. Kot pogosto uporabljen termoplastični material najlon označuje družino sintetičnih polimerov, sestavljenih iz poliamidov z visoko molekulsko maso. Najlonski polimeri so žilavi, močni in izjemni zaradi svoje visoke odpornosti na vročino, kemikalije in udarce, kar je zelo zanimivo za komercialne namene. Predvsem 3D tiskanje najlonskega filameta ponuja veliko priročnost za izdelavo delov majhne količine proizvodnje ali kompleksnih struktur z uporabo 3D tiskalnika, ki temelji na iztiskanju. Poleg tega so najlonski filamenti poceni in jih je enostavno pridobiti prek različnih prodajalcev ali dobaviteljev, zaradi česar je 3D tiskanje za najlonske dele zelo dostopno končnim uporabnikom. Izdelki iz najlona

imajo visoko odpornost proti obrabi, dobro kemično odpornost na organske kemikalije in alkalije. Izdelki iz najlona imajo dolgo življenjsko dobo in lahko delujejo pri temperaturah do 50 stopinj Celzija (Manson idr., 2017).

Vpliv materiala na okolje: plastiko ABS, čeprav ni biorazgradljiva, je mogoče reciklirati, saj je biokompatibilna. V nasprotju s tem je plastika PLA, večinoma pridobljena iz koruznega škroba, razgradljiva in biokompatibilna ter sčasoma razpade na ogljikov dioksid in vodo. Vendar morebitni negativni vpliv plastike PLA na okolje vključuje gensko spremenjeno koruzo, ki se lahko sprosti med razgradnjo (Shaikhmag idr., 2015). Postopek 3D tiskanja FDM oddaja škodljive snovi, kot so hlapne organske spojine, amonijak, cianovodikova kislina, fenol in benzen. ABS plastika, material na osnovi nafte, predstavlja večjo nevarnost kot plastika PLA, saj sprošča od 3 do 30-krat več nevarnih delcev. Znanstvene raziskave, ki uporabljajo tehnologijo fotoionizacije, predlagajo čakalni čas od 10 do 30 minut po 3D tiskanju FDM, da se ravni nanodelcev v zraku vrnejo v normalno stanje. Prekomerni izpusti nanodelcev lahko povzročijo pljučne bolezni in raka. Ukrepi za zmanjšanje nevarnosti nanodelcev vključujejo redno prezračevanje in uporabo FDM 3D tiskalnikov v zaprtih delovnih prostorih (Shaikhmag idr., 2015). Kakovost filameta pomembno vpliva na škodljive emisije med FDM 3D tiskanjem, tudi pri enakih parametrih tiskalnika in izdelka. Različni dobavitelji lahko povzročijo znatne razlike v emisijah (Shaikhmag idr., 2015). Najlon, pridobljen iz premoga in nafte, ima škodljiv proizvodni proces, ki oddaja dušikove okside in porablja velike količine vode in energije. Kljub temu je najlon mogoče reciklirati tako, da ga ponovno segrejete in spremenite v nove izdelke, vključno s filamenti za 3D tiskanje FDM (Manson idr., 2017).

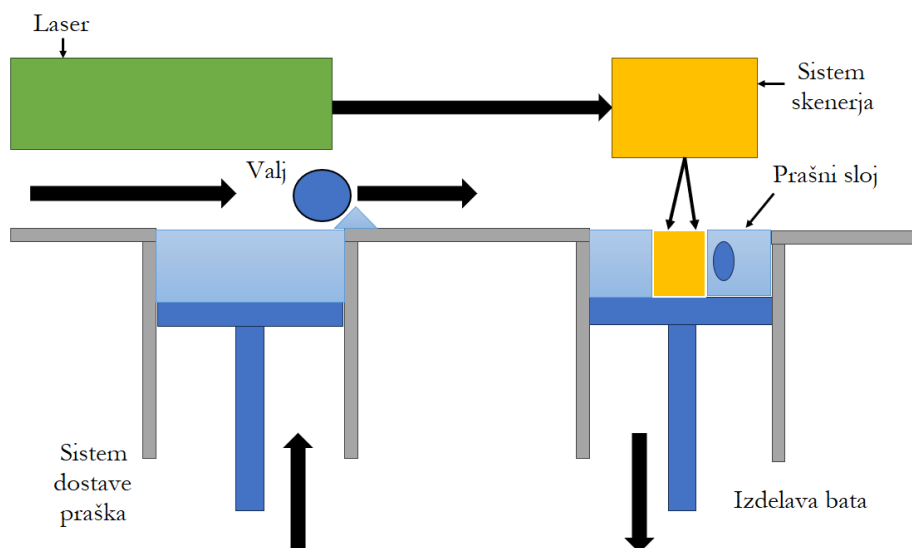
### **3.2 3D tiskanje z metodo selektivnega laserskega sintranja**

Selektivno lasersko sintranje (Selective Laser Sintering, SLS) je aditivna proizvodna tehnologija, ki uporablja visokozmogljiv laser za selektivno taljenje ali sintranje praškastih materialov, običajno polimerov ali kovin, plast za plastjo, za ustvarjanje tridimenzionalnih predmetov. SLS je znan po svoji vsestranskosti, saj omogoča izdelavo kompleksnih in zapletenih struktur brez potrebe po podpornih strukturah. Ta postopek je našel uporabo v različnih industrijah, vključno z vesoljsko in avtomobilsko industrijo, zdravstveno oskrbo in oskrbo s potrošniškim blagom (Gibson idr., 2015).

Ena od ključnih značilnosti SLS je njegova zmožnost dela s širokim naborom materialov, ki ponuja prilagodljivost pri izbiri materialov na podlagi posebnih zahtev uporabe. Na področju polimerov je poliamid (najlon) eden najpogosteje uporabljenih materialov v SLS zaradi svojih ugodnih lastnosti, kot so visoka trdnost, vzdržljivost in toplotna odpornost. Poliamidni prah se, ko je podvržen procesu laserskega sintranja, stopi skupaj, tvori trdne plasti in gradi želeni predmet (Gibson idr., 2015).

Poleg tega so za SLS primerni tudi termoplastični elastomeri, kot je TPU (termoplastični poliuretani). TPU izkazuje elastičnost in prožnost, zaradi česar je idealen za izdelavo funkcionalnih prototipov, prilagojene obutve in komponent z lastnostmi, podobnimi gumi.

Shematsko je naprava za selektivno lasersko sintranje prikazana na Sliki 2.



Slika 2: Shematski prikaz naprave za selektivno lasersko sintranje

Vir: Choudhury idr., 2023

Na področju kovin SLS razširja svojo uporabo na materiale, kot so aluminij, nerjavno jeklo in titan. Te kovine so na voljo v obliki prahu in jih je mogoče selektivno sintrati za proizvodnjo vzdržljivih in strukturno zdravih komponent. Na primer: aluminijeve zlitine se lahko uporabljajo za lahke vesoljske komponente, nerjavno jeklo pa je



izbrano zaradi njegove odpornosti proti koroziji in mehanske trdnosti (Gibson idr., 2015).

Pomembna prednost SLS je zmožnost dela s kompozitnimi materiali, kar izboljša lastnosti končnega izdelka. Polimeri, ojačani z ogljikovimi vlakni, na primer nudijo večjo moč in togost, zaradi česar so primerni za aplikacije, ki zahtevajo lahke, a robustne komponente. Kombinacija polimerne matrice in ojačitvenih vlaken omogoča ustvarjanje delov z izboljšano mehansko zmogljivostjo. V medicinskih aplikacijah so biokompatibilni materiali ključnega pomena, SLS pa ponuja rešitev za izdelavo vsadkov, prilagojenih bolniku. Polietereeterketon (PEEK) je bioinerten polimer, ki se pogosto uporablja v SLS za medicinske namene zaradi svojih odličnih mehanskih lastnosti, odpornosti proti obrabi in biokompatibilnosti. Vsadke PEEK je mogoče natančno izdelati, da ustrezajo pacientovi anatomiji, kar zmanjša tveganje zavrnitve in izboljša splošne rezultate pacienta (Kogovšek, 2021).

Kot pri vsakem proizvodnem procesu tudi na kakovost končnega izdelka vplivajo različni parametri, vključno z močjo laserja, hitrostjo skeniranja in lastnostmi prahu. Pravilna optimizacija teh parametrov je bistvenega pomena za doseganje želenih mehanskih lastnosti in površinske obdelave v delih, proizvedenih s SLS. Skratka, selektivno lasersko sintranje je vsestranska tehnologija aditivne proizvodnje z aplikacijami v različnih panogah. Zaradi sposobnosti dela z različnimi materiali, vključno s polimeri, kovinami in kompoziti, je SLS primeren za izdelavo funkcionalnih prototipov, delov za končno uporabo in prilagojenih medicinskih vsadkov. Tekoči napredek v znanosti o materialih in optimizaciji procesov še naprej širita obseg in zmogljivosti SLS, kar prispeva k njegovemu pomenu v svetu aditivne proizvodnje (Kruth idr., 2005).

Vpliv materiala na okolje: selektivno lasersko sintranje (SLS), aditivna proizvodna tehnologija, ima pozitivne in negativne učinke na okolje. Pozitivno je, da je SLS znan po visoki učinkovitosti materialov, zmanjševanju odpadkov v primerjavi s tradicionalnimi metodami in omogočanju lokalizirane proizvodnje na zahtevo, kar lahko zmanjša emisije ogljika iz logistike. Vendar pa poraba energije tehnologije med procesom sintranja in sproščanje emisij, vključno s hlapnimi organskimi spojinami (HOS) in trdnimi delci, predstavlja okoljske izzive. Pridobivanje materiala lahko prispeva k okoljskemu odtisu, omejena biorazgradljivost nekaterih materialov SLS pa vzbuja pomisleke. Za reševanje teh vprašanj bi se morala prizadevanja

osredotočiti na inovacije materialov za manjši vpliv na okolje, energetske učinkovite tehnologije, zaprtostne sisteme za recikliranje, učinkovite ukrepe za nadzor emisij in celovite ocene življenjskega cikla za usmerjanje trajnostnih praks v industriji SLS (Kogovšek, 2021).

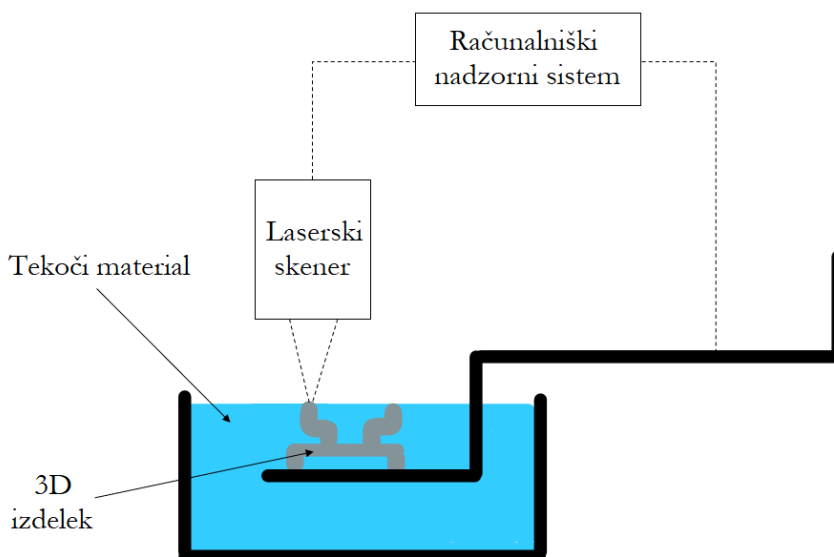
### **3.3 3D tiskanje z metodo stereolitografije**

Stereolitografija (SLA) je široko uporabljena tehnologija 3D tiskanja, ki spada v kategorijo kadne fotopolimerizacije. SLA, ki ga je razvil Chuck Hull v osemdesetih letih 20. stoletja, vključuje plast za plastjo izdelavo predmetov z uporabo tekočih fotopolimernih smol, ki se strdijo, ko so izpostavljene ultravijolični (UV) svetlobi. Ta tehnologija je našla aplikacije v različnih panogah, vključno z avtomobilsko, vesoljsko industrijo, zdravstveno oskrbo in oblikovanjem izdelkov, zaradi svoje zmožnosti izdelave zelo podrobnih in zapletenih modelov (Hull, 1986).

Pri stereolitografiji se postopek 3D tiskanja začne s kadjo tekoče smole. Gradbena platforma je potopljena v smolo, UV-laser pa selektivno skenira in utrjuje smolo plast za plastjo, pri čemer sledi geometrijskim informacijam iz digitalnega modela. Ko je plast utrjena, se gradbena platforma postopoma premika in postopek se ponavlja, dokler ni oblikovan celoten objekt. Končani predmet je nato običajno naknadno obdelan, da se odstrani odvečna smola, in je potrjen dodatnim korakom strjevanja, da se zagotovi strukturna celovitost (Hull, 1986).

Stereolitografija uporablja različne fotopolimerne smole, od katerih je vsaka prilagojena specifični uporabi. Standardne smole, kot so akrilati, se običajno uporabljajo za splošne namene, saj zagotavljajo ravnovesje med močjo in podrobnostmi. Inženirske smole, kot so močne, fleksibilne ali na visoke temperature odporne različice, zadovoljujejo bolj specializirane potrebe. Biokompatibilne smole so bile razvite tudi za uporabo v medicini, vključno z zobnimi modeli in kirurškimi vodili.

Naprava za tiskanje z metodo stereolitografije je prikazana na Sliki 3.



Slika 3: Shematski prikaz naprave za tiskanje z metodo stereolitografije

Vir: Huang idr., 2020

Vpliv materialov na okolje: medtem ko stereolitografija ponuja številne prednosti, kot sta visoka natančnost in površinska obdelava, je bistveno upoštevati njene vplive na okolje. Materiali, uporabljeni pri tiskanju SLA, zlasti fotopolimerne smole, imajo lahko okoljske posledice. Proizvodnja teh smol lahko vključuje energetsko intenzivne procese, pridobivanje in predelava surovin pa lahko prispevata k degradaciji okolja. Poleg tega lahko nekatere smole vsebujejo kemikalije, ki predstavljajo tveganje za okolje in zdravje. Pomembna skrb je potencialno nastajanje nevarnih odpadkov v fazi naknadne obdelave. Preostalo nestrjeno smolo in čistilna sredstva, ki se uporabljajo za odstranjevanje odvečnega materiala, je morda treba skrbno odstraniti, da preprečite onesnaženje okolja. Poleg tega poraba energije, povezana s postopkom UV utrjevanja in proizvodnjo samih smol, prispeva k skupnemu okoljskemu odtisu stereolitografije. Prizadevanja za ublažitev vpliva stereolitografije na okolje vključujejo razvoj bolj trajnostnih fotopolimernih smol na biološki osnovi. Raziskovalci raziskujejo okolju prijazne alternative, pridobljene iz obnovljivih virov, ki bi lahko zmanjšale odvisnost od petrokemičnih materialov. Poleg tega so pobude za recikliranje neuporabljene ali odvečne smole, skupaj z ustreznimi metodami odstranjevanja odpadkov, ključni vidiki zmanjševanja okoljskih učinkov SLA.

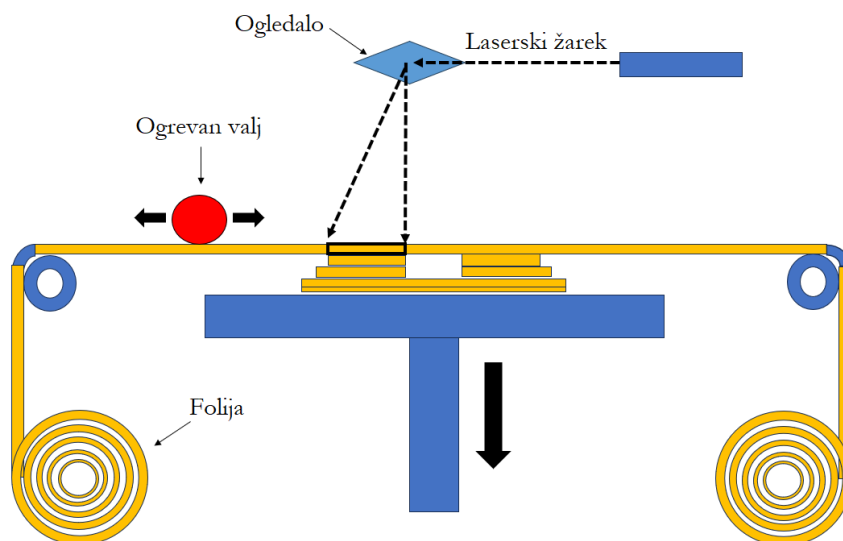
Skratka, stereolitografija je zmožljiva tehnologija 3D tiskanja z različnimi aplikacijami, ki jo poganja njena sposobnost izdelave podrobnih in zapletenih predmetov. Vendar pa je njegov vpliv na okolje dejavnik, ki zahteva stalne raziskave in razvoj trajnostnih materialov in praks. Prizadevanja za optimizacijo porabe energije, zmanjšanje odpadkov in raziskovanje okolju prijaznih alternativnih smol bodo prispevala k temu, da postane stereolitografija bolj okolju prijazna aditivna proizvodna metoda (Kogovšek, 2021).

### **3.4 3D tiskanje z metodo laminiranih predmetov**

Tiskanje z metodo laminiranih predmetov (Laminated Object Manufacturing, LOM) je tehnologija 3D tiskanja, ki spada v kategorijo metod aditivne izdelave. LOM, ki sta ga razvila Michael Feygin in Emanuel Sachs v zgodnjih devetdesetih letih prejšnjega stoletja, uporablja liste ali plasti materiala, običajno papirja ali plastike, ki so povezani skupaj, da ustvarijo tridimenzionalni predmet. Ta postopek vključuje rezanje, zlaganje in lepljenje zaporednih plasti, pri čemer vsaka plast ustreza prečnemu prerezu digitalnega modela. LOM izstopa po svoji preprostosti, stroškovni učinkovitosti in zmožnosti izdelave velikih prototipov z relativno hitrim časom izdelave.

Materiali, ki se običajno uporabljajo v LOM, vključujejo papir, plastiko ali kompozite obeh. Osnovni material, običajno papir, premažemo z lepilom in ga z laserjem ali nožem izrežemo v želeno obliko. Odrezan sloj se nato poveže s prejšnjim slojem in postopek se ponavlja, dokler ni oblikovan celoten predmet. Papirnati materiali so priljubljeni zaradi svoje dostopnosti, cenovne dostopnosti in enostavnega rokovanja. Poleg tega nekateri sistemi LOM uporabljajo materiale, kot so kompozitni laminati, ki združujejo plasti papirja ali tkanine s termoreaktivno smolo, kar povečuje trdnost in vzdržljivost končnega izdelka (Lipson idr., 2013).

Naprava za 3D tiskanje z metodo laminiranih predmetov je prikazana na Sliki 4.



Slika 4: Shematski prikaz naprave za 3D tiskanje z metodo laminiranih predmetov  
Vir: IMAGINE THAT 3D, 2015

Vpliv materialov na okolje: z okoljskega vidika predstavlja proizvodnja laminiranih predmetov kombinacijo pozitivnih in negativnih učinkov. Pozitivno je, da so materiali, ki se običajno uporabljajo v LOM (npr. papir), obnovljivi viri. Uporaba trajnostnih materialov je usklajena s prizadevanji za zmanjšanje vpliva proizvodnih procesov na okolje. Poleg tega preprostost tehnologije LOM prispeva k manjši porabi energije med proizvodnim procesom v primerjavi z nekaterimi drugimi tehnologijami 3D tiskanja.

Vendar pa obstajajo tudi okoljski vidiki, povezani z LOM. Lepila, ki se uporabljajo za lepljenje plasti, pogosto vsebujejo kemikalije, proizvodnja teh materialov pa lahko vključuje energetsko intenzivne procese. Poleg tega lahko odlaganje odpadnega materiala, zlasti če vsebuje biološko nerazgradljive sestavine, prispeva k skrbi za okolje.

Prizadevanja za izboljšanje okoljske trajnosti LOM vključujejo raziskovanje alternativnih materialov in lepilnih formulacij. Raziskave se osredotočajo na razvoj bioloških ali recikliranih materialov, ki lahko ohranijo ali izboljšajo mehanske lastnosti predmetov, proizvedenih z LOM. Inovacije v lepilnih tehnologijah si

prizadevajo zmanjšati vpliv lepilnih sredstev na okolje, pri čemer iščejo formulacije, ki so okolju prijaznejše.

Skratka, izdelava laminiranih predmetov je pomembna tehnologija 3D tiskanja, ki se za ustvarjanje predmetov opira na plastenje materialov, običajno papirja ali plastike. Čeprav ponuja prednosti, kot sta stroškovna učinkovitost in uporaba obnovljivih virov, okoljski vidiki izhajajo iz lepil in potencialnih odpadkov, ki nastanejo med postopkom. Nenehne raziskave in napredek na področju materialov in formulacij lepil so namenjeni reševanju teh pomislekov in si prizadevajo, da bi LOM postal okoljsko bolj trajnostna možnost na področju aditivne proizvodnje (Kogovšek, 2021).

### **3.5 Tlačno vlivanje**

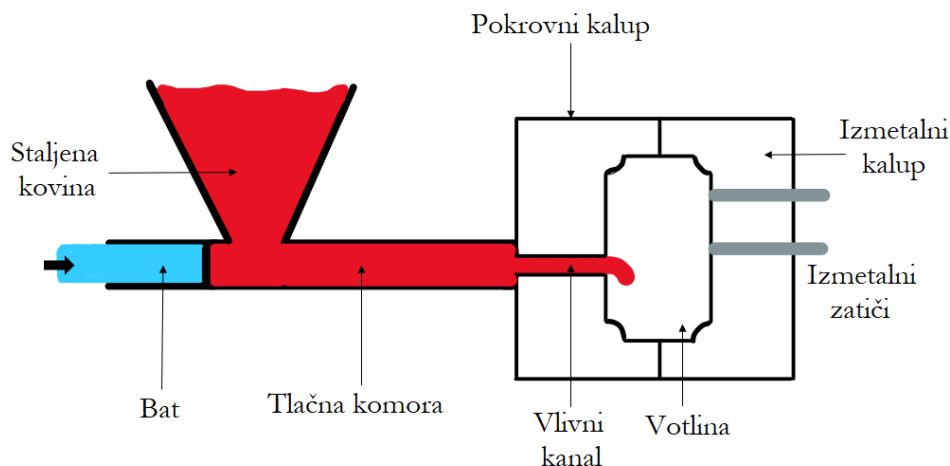
Tlačno vlivanje je proizvodni proces, ki se pogosto uporablja za množično proizvodnjo kompleksnih in natančnih kovinskih komponent. Spada v kategorijo postopkov litja kovin, kjer se staljena kovina potisne v votlino kalupa pod visokim pritiskom, da se ustvarijo zapletene oblike z ozkimi tolerancami. Ta metoda je še posebej priljubljena v avtomobilski, letalski in vesoljski industriji ter industriji zabavne elektronike zaradi zmožnosti izdelave visokokakovostnih, podrobnih delov v velikih količinah (Brevick idr., 2006).

Postopek tlačnega litja vključuje uporabo kalupov za večkratno uporabo, običajno izdelanih iz jekla, ki so znani kot matrice. Dve glavni vrsti tlačnega litja sta tlačno litje v topli komori in tlačno litje v hladni komori. Pri tlačnem litju z vročo komoro, primernem za kovine z nizkim tališčem, kot je cink, se kovina tali v stroju za ulivanje, medtem ko se pri tlačnem litju v hladni komori, ki se uporablja za kovine z višjim tališčem, kot sta aluminij in magnezij, staljena kovina vlije v stroj iz zunanje peči. Pri tlačnem litju se lahko uporabljajo različne kovine in zlitine, odvisno od posebnih zahtev aplikacije. Aluminij, cink in magnezij so zaradi svojih ugodnih mehanskih lastnosti in lastnosti litja med najpogosteje uporabljenimi materiali. Tlačno litje aluminija je v avtomobilski industriji razširjeno za lahke komponente, medtem ko je tlačno litje cinka prednostno za zapletene oblike in stroškovno učinkovitost. Magnezijevo tlačno litje postaja vse bolj priljubljeno zaradi svoje lastnosti, da je lahko, in vse večje uporabe v vesoljskih aplikacijah (Grandt, 2005).

Tlačno litje ponuja številne prednosti, vključno z visoko natančnostjo, odlično površinsko obdelavo in možnostjo izdelave kompleksnih oblik z majhnimi tolerancami. Postopek je zelo učinkovit za obsežno proizvodnjo, saj zagotavlja hiter in stroškovno učinkovit način proizvodnje.

Vendar pa ima, kot vsak proizvodni proces, tudi tlačno litje tako pozitivne kot negativne vidike. Pozitivno je, da tlačno litje omogoča proizvodnjo vzdržljivih in dimenzijsko natančnih komponent na poenostavljen in učinkovit način. Zaradi visoke hitrosti proizvodnje je primeren za izpolnjevanje zahtev množične proizvodnje. Po drugi strani pa je tlačno litje povezano z določenimi izzivi. Stroški orodja za tlačno litje so lahko visoki, zlasti za kompleksne dele, in začetna nastavitve lahko zahteva veliko naložbo. Poleg tega postopek zaradi teh stroškov orodja morda ni tako primeren za proizvodnjo majhnega obsega ali proizvodnjo prototipov.

Shematsko je naprava za tlačno vlivanje prikazana na Sliki 5.



Slika 5: Shematski prikaz naprave za tlačno vlivanje

Vir: WayKen Rapid Manufacturing, 2022

Vpliv na okolje: z vidika vpliva na okolje ima postopek tlačnega litja pozitivne in negativne posledice. Učinkovitost tlačnega litja pri izdelavi velikih količin komponent prispeva k splošnemu ohranjanju virov. Vendar sta pridobivanje in predelava kovin, zlasti aluminija, lahko energetska intenzivna in lahko povzročita

okoljska vprašanja. Odstranjevanje stranskih produktov litja, kot so odpadne kovine ali odvečni material, prav tako zahteva skrben premislek za zmanjšanje vpliva na okolje.

Skratka, tlačno litje je zelo učinkovit proizvodni postopek za množično proizvodnjo zapletenih in natančnih kovinskih komponent. Izbira materialov, vključno z aluminijem, cinkom in magnezijem, je odvisna od posebnih zahtev uporabe. Medtem ko tlačno litje nudi prednosti v smislu učinkovitosti in stroškovne učinkovitosti, okoljski vidiki izhajajo iz energetske intenzivnega pridobivanja in predelave kovin. Nenehne raziskave in inovacije so namenjene reševanju teh izzivov, s čimer si prizadevajo narediti tlačno litje bolj trajnostno in okolju prijaznejše.

### 3.6 Ogljični odtis

Ogljični odtis se nanaša na skupno količino toplogrednih plinov, predvsem ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) in drugih enakovrednih emisij, neposredno ali posredno povezanih s posameznikom, organizacijo, izdelkom ali dejavnostjo v njihovem življenjskem ciklu. Je merilo vpliva na okolje v smislu podnebnih sprememb, ki odraža skupni prispevek h kopičenju toplogrednih plinov v ozračju.

Razumevanje in izračun ogljičnih odtisov sta bistvenega pomena, saj zagotavljata kvantitativno merilo vpliva subjekta na podnebne spremembe. Z naraščajočo ozaveščenostjo o okoljskih vprašanjih in potrebo po trajnostnih praksah posamezniki, podjetja in vlade priznavajo pomen ocenjevanja in zmanjševanja svojih ogljičnih odtisov za ublažitev učinkov podnebnih sprememb.

Običajno uporabljene metode za izračun ogljičnih odtisov vključujejo ISO/TS 14067, standard za izdelke protokola o toplogrednih plinih, PAS 2050, (Greenhouse gas protocol, 2004), LCA (Life cycle assessment):

- ISO/TS 14067 je tehnična specifikacija, ki jo je razvila Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO) za obravnavanje kvantifikacije in sporočanja ogljičnega odtisa izdelkov. Zagotavlja smernice za organizacije za sistematično merjenje in poročanje o emisijah toplogrednih plinov, povezanih z življenjskim ciklom izdelka. Z vzpostavitvijo standardizirane metodologije ISO/TS 14067 pomaga podjetjem pri spodbujanju



preglednosti, omogočanju primerjav in sprejemanju premišljenih odločitev za zmanjšanje njihovega vpliva na okolje. Podpira prizadevanja za trajnost s spodbujanjem doslednega pristopa k oceni ogljičnega odtisa, kar na koncu prispeva k globalnim pobudam za blažitev podnebnih sprememb (ISO, 2013).

- Standard za izdelke protokola o toplogrednih plinih, ki sta ga razvila Svetovni inštitut za vire (WRI) in Svetovni poslovni svet za trajnostni razvoj (WBCSD), je splošno priznan okvir za ocenjevanje in poročanje o emisijah toplogrednih plinov, povezanih z izdelki. Zagotavlja smernice za organizacije za izvajanje ocen življenjskega cikla, količinsko opredelitev emisij in sporočanje o okoljskem vplivu njihovih izdelkov. S sprejetjem celovitega pristopa ta standard omogoča preglednost in doslednost pri določanju ogljičnega odtisa izdelkov, pomaga podjetjem pri trajnostnem odločanju in prispeva h globalnim prizadevanjem za reševanje podnebnih sprememb (WRI & WBCSD, 2018).
- PAS 2050, javno dostopna specifikacija, ki jo je razvil British Standards Institution (BSI), zagotavlja metodologijo za ocenjevanje emisij toplogrednih plinov v življenjskem ciklu blaga in storitev. Organizacijam ponuja smernice za količinsko opredelitev emisij iz celotnega življenjskega cikla izdelka ter spodbuja preglednost in doslednost pri merjenju ogljičnega odtisa. PAS 2050 pomaga podjetjem razumeti in ublažiti njihov vpliv na okolje, olajša sprejemanje odločitev na podlagi informacij in prispeva k trajnostnim praksam (BSI, 2008).
- LCA (Life cycle assessment) je celovita metoda, ki ocenjuje okoljski vpliv izdelka skozi njegov celoten življenjski cikel, vključno s pridobivanjem surovin, proizvodnjo, uporabo in odlaganjem. Upošteva dejavnike, kot so poraba energije, emisije, izčrpavanje virov in nastajanje odpadkov. LCA se lahko uporablja za primerjavo okoljske učinkovitosti različnih procesov in materialov 3D tiskanja.

#### **4 Aplikativni del**

V aplikativnem delu prispevka se bomo osredotočili na izračun ogljičnega odtisa med postopkom 3D tiskanja in primerjavo z metodo tlačnega litja. Za praktične namene bomo zgradili preprost izdelek. Izdelali bomo značko za konferenco, ki jo prikazuje Slika 6. Za konstrukcijo bomo uporabili material PLA. Metoda, ki jo bomo uporabili,

pa je metoda tiskanja staljenega materiala. To metodo bomo ovrednotili s področja stroškov, uporabljenih materialov, časa, kakovosti in, kar je najpomembnejše, ogljičnega odtisa.

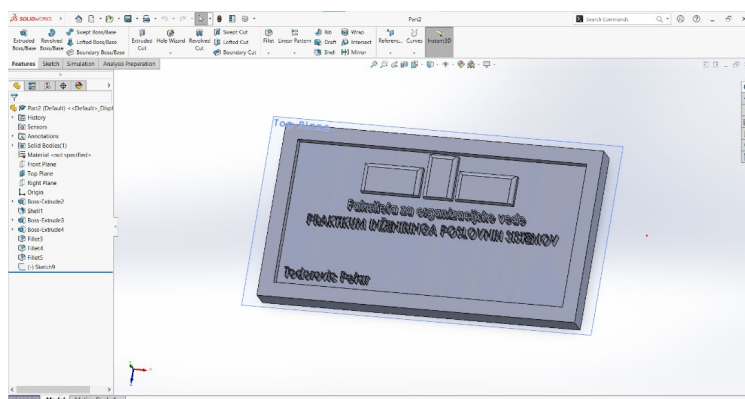


Slika 6: Prikaz izdelka (značke za konferenco)

Vir: lasten

#### 4.1 Proces izdelave izdelka z FDM tehnologijo 3D tiskanja

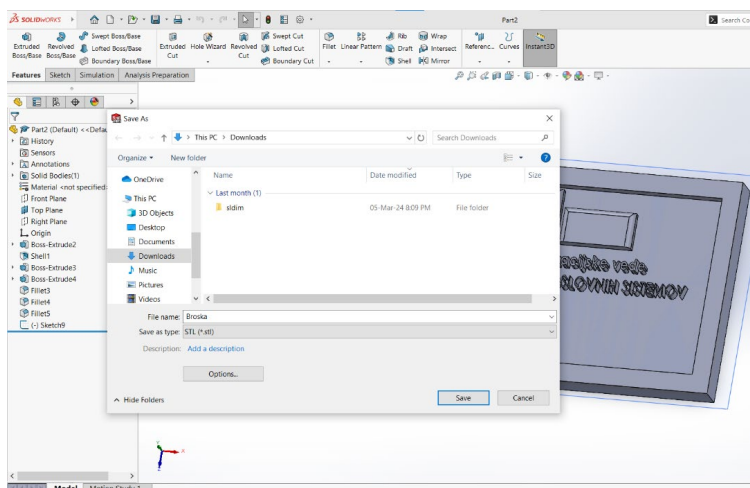
Za načrtovanje izdelka je bilo uporabljeno programsko orodje SolidWorks. Pri načrtovanju izdelka je bilo možno uporabiti zelo preprosto zasnovo. Na Slikah 7, 8 in 9 je prikazano načrtovanje izdelka z orodjem SolidWorks.



Slika 7: Prikaz uporabe orodja SolidWorks pri načrtovanju izdelka (1. del)

Vir: lasten

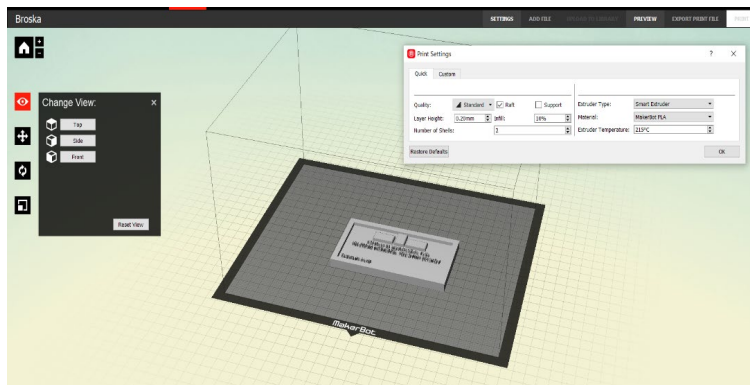
Ko je postopek oblikovanja končan, se shrani kot datoteka .stl, ki jo uporablja večina 3D tiskalnikov.



Slika 8: Prikaz uporabe orodja SolidWorks pri načrtovanju izdelka (2. del)

Vir: lasten

Za tiskanje izdelka smo uporabili 3D tiskalnik MakerBot Replicator+. Datoteko smo naložili v program MakerBot Desktop, ki nam je dal skico izdelka. Po vstavitvi datoteke program izvede analizo časa, potrebnega za izdelavo izdelka, in priporoči potrebne parametre. Pri določanju parametrov lahko na kratko simuliramo proizvodnjo procesa ali pa proces takoj zaženemo.



Slika 9: Prikaz uporabe orodja SolidWorks pri načrtovanju izdelka (3. del)

Vir: lasten

Program je izračunal, da izdelava te broške zahteva približno 31g materiala, v tem primeru PLA filamenta, potreben čas pa je 1h 54m. Temu času prištejemo še čas, da se glava tiskalnika segreje na zeleno temperaturo, v tem primeru 215 stopinj Celzija, in čas, da se izdelek ohladi, da ga lahko odstranimo s površine. Zato bomo čas zaokrožili na 2 uri. 900g PLA filamenta premera 1,75mm stane 32€. Kar pomeni, da bi bila cena izdelave ene take broške, ki zahteva 31g materiala, 1,1€. Če bi natisnili 100 izvodov teh brošur za konferenco, bi bila cena 110€, brez upoštevanja cene tiskalnikov, delovanja tiskalnikov in elektrike ter nekaterih nepredvidenih okoliščin, kot je potreba po menjavi delov tiskalnikov, ker so deli 3D tiskalnikov nagnjeni k lahki obrabi.

Tiskalnik, uporabljen za tiskanje tega izdelka, je MakerBot Replicator+. MakerBot replicator+ je kitajski tiskalnik, zasnovan v Brooklynu. Širok je 52 cm, dolg 44 cm in visok 41 cm. Teža je 18 kg, napajalna napetost, potrebna za ta tiskalnik, je 100-240 V. Uporablja eno glavo s širino šobe 0,4 mm in ima delovno površino širine 22 cm, dolžine 16 cm in višine 20 cm. Ta tiskalnik bere formate .stl, stp in makerbot .makerbot.



**Slika 10: 3D tiskalnik Makerbot Replicator+**

Vir: lasten

## 4.2 Izračun ogljičnega odtisa

Ena izmed metod izračuna ogljičnega odtisa izdelka je LCA (Life cycle assessment). Ta metoda upošteva različne faze v življenjskem ciklu izdelka, vključno s pridobivanjem surovin, proizvodnjo, prevozom, uporabo in obdelavo ob koncu življenjske dobe.

- Prvi korak je pridobivanje surovin.

Tu se odločimo za material, ki bo uporabljen za tisk izdelka. V tem primeru je broška narejena iz polilaktidne kisline, PLA. PLA filament je pridobljen iz koruznega škroba ali sladkornega trsa. Ta proces vključuje gojenje pridelkov, žetev, prevoz do predelovalnih obratov in pretvorbo v PLA rezin. Energija, potrebna za proizvodnjo PLA, je odvisna od več dejavnikov, kot so procesna tehnologija, transport ... V povprečju 1 kg PLA rezina zahteva 16 kWh (Guo in Crittenden, 2011).

Predelava PLA rezina v filament zahteva ekstruzijo, ki na splošno zahteva segrevanje rezina in strojev. V povprečju 1 kg PLA filameta zahteva 17 kWh (Guo in Crittenden, 2011).

V našem primeru potrebujemo 31g PLA filameta. Energija, potrebna za njegovo proizvodnjo, bi bila

$$(16 \text{ kWh/kg} + 17 \text{ kWh/kg}) * (31 \text{ g} / 1000 \text{ g}) = 1.023 \text{ kWh} \quad (1)$$

(Delimo s 1000, da dobimo težo v kilogramih.)

Emisija, povezana s porabljeno energijo, je odvisna od uporabljenega vira energije. Toda v povprečju je faktor emisije na kWh 0,5 kgCO<sub>2</sub> (Elbadawi idr., 2023). Za izračun emisije pomnožimo porabljeno energijo z emisijskim faktorjem

$$1.023 \text{ kWh} * 0,5 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 0,5115 \text{ kgCO}_2 \quad (2)$$

0,5115 kgCO<sub>2</sub> je skupni ogljični odtis za proizvodnjo 31g PLA materiala, ki smo ga uporabili za izdelavo broške.

- Drugi korak je izračun emisij v proizvodnem procesu.

Za izračun ogljičnega odtisa v proizvodnem procesu moramo najprej določiti čas, potreben za izdelavo izdelka. V našem primeru znaša 2 uri.

Uporabljeni MakerBot Replicator+ je v povprečju porabil 182 vatov na uro. To bomo pretvorili v kilovate na uro, kar je 0,182 kWh. Čas izdelave izdelka je 2h, zato bomo dobljeno energijo pomnožili z 2 in dobili 0,364 kWh, ki so potrebne za izdelavo naših izdelkov na tem 3D tiskalniku.

Povprečni emisijski faktor 3D tiskalnikov je 0,08 kg CO<sub>2</sub> na kWh porabljene energije v procesu (Elbadawi idr., 2023).

Za izračun končne emisije pomnožimo porabljeno energijo z emisijskim faktorjem.

$$0.364 \text{ kWh} * 0.08 \text{ kgCO}_2 = 0.02912 \text{ kgCO}_2 \quad (3)$$

- Naslednji dejavnik je prevoz materiala.

PLA filament, ki ga uporablja tiskalnik MakerBot replicator+, ki smo ga uporabili, je bil izdelan na Kitajskem. V tem primeru bomo izračunali emisijo v procesu transporta filameta iz Kitajske v Slovenijo. Predpostavili bomo, da je bila žarilna nitka prepeljana po morju, ker ima manj emisij kot zračni prevoz. Pomorski promet med Slovenijo in Kitajsko znaša 15.360 kilometrov. Za izračun ogljičnega odtisa celotnega transportnega procesa pomnožimo razdaljo v kilometrih s težo izdelka (v našem primeru 31 gramov) in emisijskim faktorjem. Široki faktor emisije je v povprečju 0,1 kg CO<sub>2</sub> na tonski kilometer (Freightosco2 Emissions Sea and Air Freight Calculator, 2023).

$$(15360 \text{ km} * 0.031 \text{ kg} * 0.1 \text{ kgCO}_2 \text{ na tonski kilometer}) / 1000 = 0.0478 \text{ kgCO}_2 \quad (4)$$

(Delili smo s 1000, da smo preračunali v kilograme.)

- Naslednji dejavnik, ki ga moramo upoštevati, je emisija med uporabo izdelka.

Glede na to, da je naš izdelek preprosta broška brez električnih komponent in brez potrebne energije za njeno vzdrževanje, emisije tukaj ne bomo izračunali.

- Končna faza je izračun emisij med odlaganjem ali recikliranjem izdelka.

Za izračun ogljičnega odtisa v tej fazi moramo izračunati emisijo med transportom izdelka IN emisijo med recikliranjem izdelka.

Predvidevamo, da bo ta izdelek recikliran v RCERO Ljubljana (Regionalni center za ravnanje z odpadki). RCERO je oddaljen 40 km. Povprečni emisijski faktor za promet je 0,2 kg CO<sub>2</sub> na kilometer (CO<sub>2</sub> emission performance standards for cars and vans, European Union).

$$40km * 0.2kgCO_2 = 8kg CO_2 \quad (5)$$

Seveda je potrebno upoštevati, da izdelek predstavlja le majhen del mase izdelkov, prepeljanih v razgradnjo. Izdelek ima maso 31 g, ocenimo pa, da tovornjak v povprečju prevažja 5000 kg odpadkov. Kar nas pripelje do številke od 0,00005 kg CO<sub>2</sub>.

$$8kg CO_2 * 0,031 kg/5000 kg = 0,00005 kg CO_2 \quad (6)$$

Predvidevamo, da bo vseh 31 g filamenta recikliranih. Težo filamenta PLA v kilogramih bomo pomnožili s faktorjem emisije pri recikliranju. Ta faktor v povprečju znaša 0,6 kg CO<sub>2</sub> na kilogram PLA filamenta (Benavides, Lee in Zaré-Mehrierdi, 2020).

$$0.031 kg * 0.6 kgCO_2 /kg = 0.0186 kgCO_2 \quad (7)$$

Končni ogljični odtis bomo dobili s seštevanjem teh dveh vrednosti.

$$0.00005 CO_2 + 0.0186 kgCO_2 = 0.01865 kgCO_2 \quad (8)$$

Da bi dobili končni ogljični odtis proizvodnje tega izdelka na 3D tiskalniku, seštejemo vse vrednosti, pridobljene v posameznih fazah.

$$0,5115 \text{ kgCO}_2 + 0,02912 \text{ kgCO}_2 + 0,0478 \text{ kgCO}_2 + 0,01865 \text{ kgCO}_2 = 0,60707 \text{ kgCO}_2 \quad (9)$$

### 4.3 Primerjava metod 3D tiskanja in tlačnega litja na izdelku

Tlačno litje je postopek litja kovin, za katerega je značilno potiskanje staljene kovine pod visokim pritiskom v votlino kalupa. Kalupna votlina je ustvarjena z dvema utrjenima orodnima jeklenima matricama, ki sta bili strojno obdelani v obliko in med postopkom delujeta podobno kot kalup za brizganje.

Da bi primerjali ti dve proizvodni metodi in njun ogljični odtis, bomo za primer vzeli izdelek z enako maso. V tem primeru bomo vzeli izdelek, ki tehta 50 g.

#### – 3D tiskanje

Iz izračunov, ki smo jih prejeli v zadnjem primeru, je za 31 g PLA filamenta emisija 0,02325 kgCO<sub>2</sub>. Za 50 g istega materiala bo emisija 0,0375 kgCO<sub>2</sub>.

V tem primeru bomo predpostavili, da smo uporabili isti tiskalnik kot za izdelavo broške. Izdelava tega izdelka traja 3 ure. V 3 urah naš tiskalnik porabi 0,546 kWh.

Povprečni emisijski faktor 3D tiskalnikov je 0,08 kgCO<sub>2</sub> na kWh porabljene energije v procesu.

Za izračun končne emisije pomnožimo porabljeno energijo z emisijskim faktorjem.

$$0,546 \text{ kWh} * 0,08 \text{ kgCO}_2 = 0,04368 \text{ kgCO}_2 \quad (10)$$

Ker ne moremo natančno določiti vseh parametrov, povezanih s transportom za aluminij (razdalja, način in pot transporta, vrsta goriva), se bomo v primerjavi ogljičnega odtisa za obe metodi omejili na fazi priprave materiala in izdelave produkta. Potrebno pa je upoštevati, da s tem ne dobimo popolne informacije o ogljičnem odtisu za celotni življenjski cikel.



Skupni ogljični odtis pri izdelavi 50g izdelka po metodi 3D tiska s PLA filamentom znaša

$$0.0375 \text{ kgCO}_2 + 0.04368 \text{ kgCO}_2 = 0.08118 \text{ kgCO}_2 \quad (11)$$

– Tlačno litje

Povprečna poraba energije za proizvodnjo izdelkov iz tlačnega litja aluminija je 1.6 kWh / KG (Heinemann, 2016). Povprečni emisijski faktor je 0,5 kgCO<sub>2</sub> na kWh (Neto idr., 2008). Skupni izpust iz porabljene energije bi bil

$$1.6 \text{ kWh} * 0,5 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 0.8 \text{ kgCO}_2 \quad (12)$$

V tej kalkulaciji je zajet proces vlivanja. Da bi dobili končni ogljični odtis proizvodnje tega izdelka, moramo sešteti emisije iz porabljene energije z emisijami iz materialne proizvodnje.

Emisija na kilogram aluminija je 0,5 kg CO<sub>2</sub>, za 50g je (Neto idr., 2008).

$$(0,5 \text{ kgCO}_2 / 1000) * 50 = 0,025 \text{ kgCO}_2 \quad (13)$$

(Delili smo s 1000, da smo dobili emisijo na gram, nato pa smo jo pomnožili s 50 g, koliko porabimo za izdelavo tega izdelka.)

Ko dobljene rezultate seštejemo, dobimo končni ogljični odtis proizvodnje tega izdelka.

$$0.8 \text{ kgCO}_2 + 0,025 \text{ kgCO}_2 = 0.825 \text{ kgCO}_2 \quad (14)$$

Ocenjeni ogljični odtis za proizvodnjo istega izdelka (50 g) z uporabo 3D tiskanja s PLA filamentom za 3 ure je približno 0,08118 kgCO<sub>2</sub>, medtem ko je ogljični odtis za tlačno litje z aluminijem približno 0.825kgCO<sub>2</sub>.

Ta primerjava dokazuje, da ima 3D tiskanje s filamentom PLA za 3 ure bistveno nižji ogljični odtis v primerjavi s tlačnim litjem z aluminijem za proizvodnjo istega izdelka.

Zaradi lažje primerjave smo v izračunu primerjali izdelka z enako maso (50 g). Potrebno pa je upoštevati, da bo izdelek iz PLA pri enaki masi zaradi manjše gostote PLA (1,25 kg/dm<sup>3</sup>) imel ustrezno večji volumen kot izdelek iz aluminija (gostota 2,7 kg/dm<sup>3</sup>).

## 5 Zaključek

Namen pričujočega prispevka je predstavitev različnih oblik 3D tiskanja ter njihovih prednosti in slabosti. Zanimala nas je učinkovitost 3D tiskanja kot proizvodne metode ter vpliva na okolje, kjer smo se predvsem osredotočili na ogljični odtis 3D tiskanja. Predstavili smo tudi primerjavo 3D tiskanja z nekaterimi tradicionalnimi proizvodnimi metodami, kot je tlačno litje. Da bi vse preverili tudi v praksi, smo izdelali izdelek na 3D tiskalniku in izračunali ogljični odtis za ta izdelek. Na drugem primeru smo 3D tiskanje primerjali z metodo tlačnega litja in prišli do zaključka, da je z okoljskega vidika 3D tiskanje manj škodljivo za okolje kot klasična metoda proizvodnje. Poleg tega sta med prednostmi 3D tiska tako manjša količina odpadkov zaradi uporabe točno določene količine materiala, potrebne za izdelavo izdelka, kot tudi nižja poraba energije, ki je potrebna za izdelavo izdelka. Med uporabnimi prednostmi 3D tiskanja je potrebno izpostaviti veliko možnost optimizacije dizajna in personalizacije izdelkov. Kljub vsem tem prednostim pa 3D tiskanje še vedno ne more nadomestiti drugih proizvodnih metod. Čeprav se je obseg razpoložljivih materialov za 3D-tiskanje razširil, tradicionalne metode proizvodnje še vedno ponujajo širši izbor materialov z različnimi lastnostmi, vključno s kovinami, keramiko in kompoziti. Določene aplikacije lahko zahtevajo materiale, ki niso primerni za 3D tiskanje, kar omejuje njegovo sprejetje v nekaterih panogah. Čeprav se je tehnologija 3D tiskanja v zadnjih letih zelo razvila, so še vedno potrebni nadaljnji razvoj in inovacije, da se premagajo obstoječe omejitve in razširijo zmogljivosti tehnologije. Raziskave novih materialov, metod tiskanja in tehnik obdelave lahko dodatno razširijo obseg uporabe 3D tiskanja. Metoda se je pokazala kot zelo uporabna predvsem pri izdelavi prototipov, unikatnih izdelkov ali pa majhnih serij. Pri velikih serijah izdelkov pa bodo verjetno še vedno v prednosti klasične metode, kot sta tlačno litje ali brizganje.

## Literatura

- Aluminum casting alloys. (2004). Aluminum Alloy Castings, 7-20. <https://doi.org/10.31399/asm.tb.aacppa.t51140007>
- ASM international. (2006). Encyclopedic Dictionary of Polymers, 69-69. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30160-0\\_812](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30160-0_812)
- Benavides, P.T., Lee, U., & Zarè-Mehrjerdi, O. (2020) 'Life cycle greenhouse gas emissions and energy use of polylactic acid, bio-derived polyethylene, and fossil-derived polyethylene', *Journal of Cleaner Production*, 277, p. 124010. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124010.
- Camargo, J. C., Machado, Á. R., Almeida, E. C., & Silva, E. F. (2019). Mechanical properties of PLA-graphene filament for FDM 3D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(5-8), 2423-2443. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03532-5>
- Campbell, T. A., & Ivanova, O. S. (2013). 3D printing of multifunctional nanocomposites. *Nano Today*, 8(2), 119-120. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2012.12.002>
- Coudhury, D., Ponneganti, S., Radhakrishnanand, P., Murty, U.S., Banerjee, S. (2023). Selective laser sintering additive manufacturing of solid oral dosage form: Effect of laser power and hatch spacing on the physico-technical behaviour of sintered printlets. *Applied Materials Today*, 35, 101943. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.101943>
- CO<sub>2</sub> emission performance standards for cars and Vans (no date) Climate Action. Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en) (Accessed: 04 April 2024).
- Cuiffo, M. A., Snyder, J., Elliott, A. M., Romero, N., Kannan, S., & Halada, G. P. (2017). Impact of the fused deposition (FDM) printing process on Polylactic acid (PLA) chemistry and structure. *Applied Sciences*, 7(6), 579. <https://doi.org/10.3390/app7060579>
- Dormer, A., Finn, D. P., Ward, P., & Cullen, J. (2013). Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 51(51), 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.014>
- Elbadawi, M., Basit, A.W., & Gaisford, S. (2023) 'Energy consumption and carbon footprint of 3D printing in pharmaceutical manufacture', *International Journal of Pharmaceutics*, 639, p. 122926. doi:10.1016/j.ijpharm.2023.122926.
- FreightosCO<sub>2</sub> Emissions Sea & Air Freight Calculator (2023) Freightos. Available at: <https://www.freightos.com/freight-resources/air-sea-freight-co2-emissions-calculator/> (Accessed: 03 April 2024).
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). Direct digital manufacturing. *Additive Manufacturing Technologies*, 378-399. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9_14)
- Guo, Q., & Crittenden, J. C. (2011). An energy analysis of polylactic acid (PLA) produced from corn grain and corn stover integrated system. *An Energy Analysis of Polylactic Acid (PLA) Produced From Corn Grain and Corn Stover Integrated System*. <https://doi.org/10.1109/issst.2011.5936897>
- Heinemann, T. (2016) 'Energy and resource efficiency in aluminium die casting', *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management* [Preprint]. doi:10.1007/978-3-319-18815-7.
- Huang, J, Qin, Q. & Wang, J. (2020). A Review of Stereolithography: Processes and Systems. *Processes*, 8(9), 1138. <https://doi.org/10.3390/pr8091138>
- IMAGINE THAT 3D (2015), Laminated Object Manufacturing (LOM), IMAGINE THAT 3D LLC, Pridobljeno 7.4. 2024 na <https://www.imagethat-3d.com/>
- Kogovsek, J. (2021). Okoljski odtis tehnologije 3D tiska izdelkov (J. Kogovsek). Univerza v Mariboru.
- Kruth, J., Mercelis, P., Van Vaerenbergh, J., Froyen, L., & Rombouts, M. (2005). Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 11(1), 26-36. <https://doi.org/10.1108/13552540510573365>

- Liao, Y., Liu, C., Coppola, B., Barra, G., Di Maio, L., Incarnato, L., & Lafdi, K. (2019). Effect of porosity and crystallinity on 3D printed PLA properties. *Polymers*, 11(9), 1487. <https://doi.org/10.3390/polym11091487>
- Malmodin, J., & Lundén, D. (2018). The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), 3027. <https://doi.org/10.3390/su10093027>
- Mertz, L. (2013). New World of 3-D printing offers "Completely new ways of thinking": Q&A with author, engineer, and 3-D printing expert hod Lipson. *IEEE Pulse*, 4(6), 12-14. <https://doi.org/10.1109/mpul.2013.2279615>
- Monson, L., Braunwarth, M., & Extrand, C. W. (2007). Moisture absorption by various polyamides and their associated dimensional changes. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(1), 355-363. <https://doi.org/10.1002/app.27057>
- Neto, B. et al. (2008) 'Modelling the environmental impact of an aluminium pressure die casting plant and options for control', *Environmental Modelling & Software*, 23(2), pp. 147–168. doi:10.1016/j.envsoft.2007.05.005.
- Prakash, K. S., Nancharaih, T., & Rao, V. S. (2018). Additive manufacturing techniques in manufacturing -an overview. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3873-3882. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.642>
- Rahim, R., & Abdul Raman, A. A. (2017). Carbon dioxide emission reduction through cleaner production strategies in a recycled plastic resins producing plant. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1067–1073. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.023>
- Sher, D. (2023, February 15). How toxic are ABS & PLA fumes? 3Dsafety.org examines VOCs. 3D Printing Industry. <https://3dprintingindustry.com/news/toxic-abs-pla-fumes-3dsafety-org-inquires-vocs-60796/>
- Shuaib, M., Haleem, A., Kumar, S., & Javaid, M. (2021). Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.04.001>
- Tonini, D., Schrijvers, D., Nessi, S., Garcia-Gutierrez, P., & Giuntoli, J. (2021). Carbon footprint of plastic from biomass and recycled feedstock: methodological insights. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01853-2>
- Torrado Perez, A. R., Roberson, D. A., & Wicker, R. B. (2014). Fracture surface analysis of 3D-Printed tensile specimens of novel ABS-based materials. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 14(3), 343-353. <https://doi.org/10.1007/s11668-014-9803-9>
- Turney, D. (2021, August 31). History of 3D Printing: It's Older Than You Think. *Autodesk.com*. <https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-3d-printing>
- Vaezi, M., Seitz, H., & Yang, S. (2013). Erratum to: A review on 3D micro-additive manufacturing technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1957-1957. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4962-5>
- WayKen Rapid Manufacturing (2022). Automotive Die Casting Overview: Benefits, Materials, and Trend. Pridobljeno 7.4. 2024 na WayKen Rapid Manufacturing. <https://autoprotoway.com/automotive-die-casting-overview/>
- Yin, H., Qu, M., Zhang, H., & Lim, Y. (2018). 3D Printing and Buildings: A Technology Review and Future Outlook. *Technology | Architecture + Design*, 2(1), 94–111. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420968>

# UPORABA SODOBNIH TEHNOLOGIJ V PROCESU RAZVOJA PROIZVODA/PROIZVODNEGA PROCESA

DAVID JORGIĆ, TILLEN MEDVED, BENJAMIN URH

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
david.jorgic@student.um.si, tilen.medved2@um.si, benjamin.urh@um.si

Zahteve po novih proizvodih, ki so tudi vedno bolj kompleksni, neprestano naraščajo, podjetja pa se morajo na te zadeve ustrezno odzvati z razvojem in proizvodnjo ustreznih proizvodov ob pravem času in po dovolj ugodni ceni, da ne izgubijo konkurenčne prednosti. Čeprav je razvoj novih proizvodov neizbežno povezan s tveganjem, ga je mogoče zmanjšati z uporabo enega izmed referenčnih modelov za obvladovanje aktivnosti razvoja novih proizvodov. V ta namen v poglavju predstavimo pregled razvoja referenčnih modelov razvoja novih proizvodov. V nadaljevanju se osredotočimo na predstavitev sodobnih tehnologij, ki jih podjetja vse pogosteje vključujejo v proces razvoja novih proizvodov. Namen njihovega vključevanja je predvsem v skrajšanju potrebnega časa za razvoj novih proizvodov in znižanju s tem povezanih stroškov. Predstavimo namen vključevanja sodobnih tehnologij ter podamo pregled izzivov, s katerimi se podjetja pri tem srečujejo, in prednosti, ki jih podjetja s tem lahko dosežejo.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.6](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.6)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
razvoj proizvodov,  
aditivna proizvodnja,  
kolaborativni robot,  
referenčni model,  
sodobne tehnologije



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.6](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.6)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**

product development,  
additive manufacturing,  
collaborative robot,  
reference model,  
modern technology

# USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF PRODUCT DEVELOPMENT/PRODUCTION PROCESS

DAVID JORGIĆ, TILLEN MEDVED, BENJAMIN URH

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[david.jorgic@student.um.si](mailto:david.jorgic@student.um.si), [tillen.medved2@um.si](mailto:tillen.medved2@um.si), [benjamin.urh@um.si](mailto:benjamin.urh@um.si)

The demand for new products, which are also increasingly complex, is constantly growing and companies must respond to this demand by developing and producing the right products at the right time and at a price that is affordable enough to maintain their competitive advantage. While new product development inevitably involves risks, these can be mitigated by using one of the reference models for managing new product development activities. To this end, in this section we provide an overview of the development of reference models for new product development. In the following section, we focus on the introduction of modern technologies that are increasingly being integrated by companies into the new product development process. The main goal of integrating advanced technologies is to reduce the time and costs associated with new product development. We introduce the purpose of integrating advanced technologies and provide an overview of the challenges companies face and the benefits they can achieve.



## **1 Uvod**

Uspeh razvoja novih proizvodov je ključnega pomena za rast in blaginjo proizvodnih podjetij (Zirger in Maidique, 1990). Vsi proizvodi imajo določen življenjski cikel in zaradi tega si morajo managerji proizvodnih podjetij nenehno prizadevati za razvoj novih proizvodov, ki bodo zagotovili dolgoročno rast in blaginjo (Bhuiyan, 2011). Zahteve po kompleksnih proizvodih konstantno naraščajo in podjetja morajo biti sposobna proizvesti prave proizvode ob pravem času in po dovolj ugodni ceni, sicer lahko v zelo kratkem času izgubijo konkurenčno prednost (Ogawa idr., 2006; Kušar idr., 2004). Čeprav se kdaj zdi, da se ti proizvodi enostavno pojavljajo na trgu, so ti v resnici rezultat delovnih, finančnih in intenzivnih birokratskih naporov, ki sčasoma vodijo do vstopa na tržišče (Bhuiyan, 2011). Najbolj ranljiva so srednje velika in mala podjetja, ki se skorajda ne morejo primerjati, niti ne morejo tekmovati z velikimi podjetji na svetovnem trgu. Bolj so izpostavljena morebitnim izgubam, ki so povezane z neuspešno vzpostavitvijo koncepta razvoja novega proizvoda, ki so lahko tudi usodne za podjetje, predvsem zaradi manjšega obsega tako finančnih kot tudi nefinančnih sredstev (Verbano in Venturini, 2013; Falkner in Hiebl, 2015).

Čeprav je tveganje neizbežno v razvoju novih proizvodov, ga je vseeno mogoče zmanjšati s sprejetjem sistematičnega referenčnega modela za obvladovanje aktivnosti razvoja novih proizvodov. Raziskovalci v preteklosti niso bili enotni glede referenčnih modelov, zato se je z različnimi raziskavami na tem področju pojavilo več različnih referenčnih modelov razvoja novega proizvoda. V 80. letih prejšnjega stoletja je svetovalno podjetje Booz, Allen, Hamilton, razvilo splošen model za obvladovanje aktivnosti razvoja novih proizvodov, ki je osnova za večino drugih referenčnih modelov razvoja proizvoda in vključuje 7 faz, ki si sledijo po vrsti (Agrawal in Bhuiyan, 2014):

- strategija novega proizvoda,
- generiranje idej,
- preverjanje in ocenjevanje,
- poslovna analiza,
- razvoj in oblikovanje,
- testiranje,
- komercializacija.

Ta široko priznani model je najbolje zajel vse faze različnih modelov, ki jih lahko najdemo v literaturi. Bazira na obsežnih raziskavah, intervjujih in študijah primerov, zato dobro predstavlja prevladujoče prakse v proizvodnji (Agrawal in Bhuyian, 2014).

Z napredkom v tehnološkem okolju se je začela proizvodnja pomikati proti novi paradigmi proizvodnje, kjer prevladujejo manjše proizvodne količine in velika prilagodljivost individualnim potrebam oz. željam potrošnikov (Yang idr., 2020). Industrija 4.0 je v vzponu in spodbuja pristop pametnega razmišljanja v proizvodnih okoljih. Ključnega pomena je postalo, da se procesi proizvodnje in napredna tehnologija med seboj uskladijo z zahtevami in potrebami strank (Sachdeva idr., 2023). Tržišče je v današnjih časih neusmiljeno do proizvajalcev. Dinamičnost okolja je na ravni kot še nikoli do sedaj, kar proizvajalcem povzroča, da so pod konstantnim pritiskom s strani kupcev, ki zahtevajo vse več in bolj izpopolnjene proizvode z vedno krajšim časom, ki ga imajo na voljo za proizvodnjo. Ko je izdelek lansiran in na voljo na tržišču, vedno obstaja tveganje, da ga kupci ne bodo sprejeli in bo rezultat neuspešnega projekta, kar ima lahko na podjetja občutne negativne posledice. V večjih podjetjih je lahko posledica izguba konkurenčne prednosti, medtem ko lahko manjša podjetja z lansiranjem neustreznega proizvoda v najslabšem primeru tudi ogrozijo obstoj podjetja (Verbano in Venturini, 2013; Falkner in Hiebl, 2015).

Ena izmed možnosti, ki jo obravnavamo v nadaljevanju, je vključevanje sodobnih tehnologij v proces razvoja proizvodov in proizvodnega procesa. Z izrazom sodobne tehnologije imamo v mislih predvsem 3D tiskanje, 3D skeniranje, 3D modeliranje in uporabo kolaborativnega robota. Vključitev 3D tehnologij bi proces razvijanja novih proizvodov popeljalo na novo raven z rednim spodbujanjem razmišljanja inženirjev, inovatorjev in razvijalcev v podjetjih, ki svoje ideje lahko testirajo v občutno krajšem času in brez nepotrebnih dodatnih stroškov. 3D tehnologije bi lahko imele transformacijsko vlogo v proizvodnji s poudarkom na prilagodljivosti in stroškovni učinkovitosti (Panda idr., 2023). Prav tako tudi uporaba kolaborativnega robota lahko pomeni bistveni doprinos pri tehnološko zahtevnih, za izvajalca utrujajočih, ponavljajočih se operacijah proizvodnega postopka (Bonci idr. 2021).



Poleg prednosti sodobne tehnologije prinašajo tudi določene izzive, s katerimi se morajo proizvajalci soočiti, oziroma se na le-te ustrezno prilagoditi, kar nam predstavlja tudi dodaten motiv za raziskovanje tega področja. V poglavju najprej predstavljamo metodološka izhodišča procesa razvoja novih proizvodov in nadaljujemo s pregledom možnosti vključitve sodobnih tehnologij. V aplikativnem delu se osredotočamo na predstavitev prednosti uporabe sodobnih tehnologij (3D tehnologij in kolaborativnega robota) in s tem povezanih zahtev v procesu razvoja. Na podlagi tako pridobljenih spoznanj smo rezultate raziskave predstavili v obliki SWOT analize uporabe sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvodov, ki jih strnemo v zaključnem delu.

## **2 Teoretična izhodišča**

V tem poglavju bomo opisali razvoj novih proizvodov ter grafično prikazali in predstavili sistem razvoja novih proizvodov v sedmih fazah. Nato bomo pregledali pet različnih generacij referenčnih modelov razvoja proizvodov. V nadaljevanju bodo predstavljene tri napredne tehnologije, ki so v današnjih časih močno vpete v razvoj novih proizvodov in proizvodnih procesov: 3D tiskanje, 3D skeniranje in računalniško podprto oblikovanje. Te metode omogočajo izjemno natančnost, prilagodljivost in večjo hitrost razvoja od ideje do končnega izdelka. Teoretična izhodišča bomo zaključili s predstavitvijo robotizacije in vpliv le-te na delovno produktivnost, učinkovitost in kakovost proizvodov.

### **2.1 Razvoj novih proizvodov**

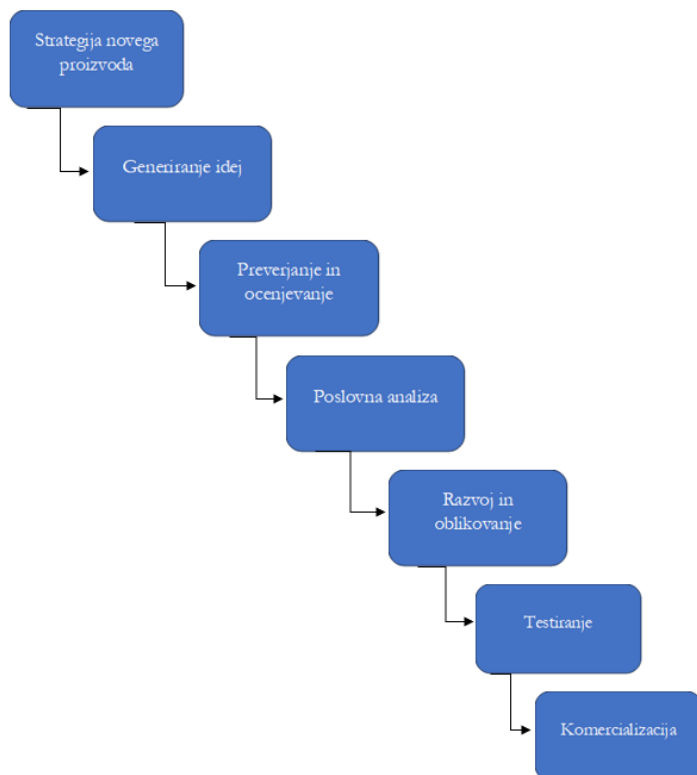
Kot vedno obstaja več kot en način za opredelitev razvoja novih proizvodov oziroma NPD (ang. New Product Development). Odvisno je tudi iz katerega zornega kota gledamo na to področje. Lahko ga gledamo iz vidika marketinga ali pa iz vidika inženiringa. Iz vidika marketinga se razvoj novega proizvoda nanaša na celoten proces dajanja novega proizvoda na tržišče. Proizvod je lahko popolnoma nov ali je prenova že obstoječega proizvoda. Obstajajo tudi primeri, ko proizvajalci postavijo obstoječ proizvod na nov trg, kar običajno pomeni uporabo vsaj nekaterih korakov procesa razvoja novega proizvoda. Če gledamo na razvoj novega proizvoda iz inženirskega vidika, je postopek nekoliko drugačen. Iz inženirskega pogleda so poudarjene tehnične specifikacije, poslovne implikacije so ob strani. S tem želimo poudariti, da je razvoj novih proizvodov veliko bolj osredotočen na tehnično

zasnovno, integracijo funkcij, izdelavo prototipov itd. (Eightception, 2022). V samem začetku faze razvoja novega proizvoda sta oba pogleda (marketinški in inženirski) združena v razvoj proizvoda, ki hkrati zadovoljuje potrebe kupcev in je tehnično izpopolnjen. Tu je ključno sodelovanje medfunkcijskega tima, ki si s strokovnim znanjem iz različnih področij, v tem primeru marketinga in inženiringa, prizadeva za skupni cilj. Čeprav lahko proces teče vzporedno tako v oddelku za marketing kot tudi inženiring, se prvi korak navadno naredi v oddelku za marketing, kjer se analizirajo potrebe in želje kupcev, ki proizvajalce prisilijo v ustvarjanje in generiranje idej, da ustvarijo nov proizvod, ki ga lahko ponudijo na trgu. To ne pomeni, da se to občasno dogaja tudi na inženirskem oddelku. Inženirji se včasih »spotaknejo« ob izjemne tehnološke rešitve, vendar v tistem trenutku še nimajo dovolj informacij in raziskav o željah in potrebah trga, da bi se lahko lotili proizvodnje novega proizvoda, zato rešitev pustijo do takrat, ko se pojavi potreba in želja po njej na trgu. Rešitve teh idej iz inženirske strani so lahko, če uspejo zelo drage in zahtevajo visoke investicije. To pomeni, da je generiranje in ustvarjanje idej na strani marketinga učinkovitejše in omogoča osredotočanje virov na tiste ideje, po katerih obstaja dejansko povpraševanje na trgu (Eightception, 2022).

Sistem razvoja novih proizvodov, ki ga prikazuje Slika 1, avtor Booz in ostali (1982) opredeljujejo kot Booz, Allen, and Hamilton (BAH) model, katerega sestavlja 7 faz:

- Strategija novega proizvoda: Proces novih proizvodov po BAH modelu, se začne s fazo razvoja strategij novih proizvodov. V tej fazi se poveže proces razvoja novega proizvoda s strateškimi cilji podjetja in zagotavlja osredotočenost na generiranje idej ali konceptov in smernic za vzpostavitev kriterijev za pregledovanje.
- Generiranje idej: V drugi fazi se iščejo in ustvarjajo ideje proizvodov, ki se navezujejo na cilje podjetja.
- Preverjanje in ocenjevanje: Preverjanje obsega začetno analizo z namenom, da se ugotovi, katere ideje so ustrezne in si zaslužijo več pozornosti in podrobnejšo študijo.
- Poslovna analiza: Poslovna analiza še naprej ocenjuje ideje na podlagi kvantitativnih faktorjev, kot so dobiček, povratek na naložbo (ang. ROI – Return On Investment) in volumen prodaje.

- Razvoj in oblikovanje: V 5. fazi se ideja, ki je še na papirju, pretvori v proizvod, ki ima zmožnost dokazovanja in ga je dejansko možno proizvesti.
- Testiranje: 6. faza služi komercialnim poskusom, s katerimi si podjetje želi pregled in preverjanje preteklih poslovnih odločitev.
- Komercializacija: Izdelek je lansiran na trg.



Slika 1: Faze razvoja novega proizvoda, BAH model

Vir: prirejeno po Bhuiyan, 2011

## 2.2 Pregled referenčnih modelov razvoja proizvodov

Z razvojem industrijskega okolja so se skozi zgodovino razvijali tudi referenčni modeli razvoja proizvodov. Referenčne modele razvoja novih proizvodov različnih avtorjev lahko v grobem razdelimo v 5 generacij, ki jih na kratko predstavljamo v nadaljevanju (Guzik, 2023):

- Model 1. generacije: Temelji na strani ponudnika/dobavitelja s predpostavko, da tehnologija spodbuja inovativnost. Ta model definira fazni, kreativni in proizvodni proces, za katerega so odgovorni namenski oddelki znotraj podjetja za nadaljnji razvoj proizvoda. Nevarnost predstavljajo pomanjkljivosti v komunikaciji in medsebojnem sodelovanju članov projektnih skupin. Že vsaka manjša težava v katerikoli stopnji postopka lahko povzroči dodatne zamude, ki lahko v najslabšem primeru tudi ogrozijo celoten projekt.
- Model 2. generacije: Gre za linearni zaporedni model, za katerega je značilen pristop, ki temelji na povpraševanju. Učinkovitost virov je večja, vendar so atributi proizvodov še vedno prehitro definirani. Posledica tega je onemogočen prenos informacij znotraj in zunaj organizacije. Eden od znanih modelov je že opisani BAH model, ki obravnava strategijo proizvoda kot izhodišče za celotni konceptualni postopek.
- Model 3. generacije: Imenovan tudi povezan model, uporablja predpostavke sočasnega inženiringa. Z vzporednim delovanjem in zelo dobrim pretokom informacij se časi izvajanja posameznih timov lahko prekrivajo, kar pomeni, da ljudje odgovorni za projektiranje, izdelavo, izvedbo in zbiranje informacij od prihodnjih potencialnih kupcev proizvoda, delajo neprekinjeno v želji, da proizvod sprožijo na tržišče. Ključni indikator modela tretje generacije je neprekinjeno testiranje in načrtovanje proizvoda v sodelovanju s stranko. Kot primer modela tretje generacije lahko izpostavimo sočasni inženiring (angl. Concurrent engineering).
- Model 4. generacije: V 21. stoletju se je pojavil t.i. integracijski model. Namen integracijskega modela je predvsem deljenje informacij in združevanje znanja iz različnih področij in kasnejše povezovanje.
- Model 5. generacije: Občuten pospešek tehnološkega razvoja in povečana dinamika sprememb v družbeno-ekonomskem okolju sta pripeljala do razvoja povezanega (mrežnega) inovacijskega modela razvoja proizvodov. Pri tem modelu je poudarek na interakciji vseh elementov inovacijskega procesa med nastajanjem proizvodov in rešitev. Pri uporabi tega modela je velik poudarek na vlogi, ki jo imajo tehnologija, informacije, podatkovne baze ter kontinuirana notranja in zunanja komunikacija.

## **2.3 Sodobne tehnologije v procesu razvoja proizvodov**

3D tehnologija je bolj znana pod nazivom aditivna proizvodnja. Prva oblika proizvodnje 3D predmeta s tehniko dodajanja plasti na plast z uporabo računalniško podprtega oblikovanja je bilo hitro prototipiranje, ki se je razvilo v 80. letih prejšnjega stoletja za ustvarjanje modelov in prototipnih delov. Prototipi lahko služijo kot predhodni deli stvari, npr. avtomobilov, letal, strojev itd., kar omogoča, da je oblika videna, testirana, izboljšana ali pa kasneje služi kot sestavni del nekega kompleksnejšega proizvoda (Zukas, 2015). Proces aditivne proizvodnje črpajo informacije iz datotek računalniško podprtega oblikovanja (CAD), ki so kasneje pretvorjene v stereolitografske (STL) datoteke. Ta tehnologija je bila ustvarjena, da bi pomagala ideje inženirjev pretvoriti v resničnost (Wong in Hernandez, 2012). Omenjene 3D tehnologije so med seboj povezane. To lahko prikažemo z enostavnim primerom:

- 3D tiskanje: Izdelava proizvoda na podlagi informacij iz 3D modela.
- 3D skeniranje: Omogoča zajemanje podatkov iz predmeta, ki se nahaja v realnem fizičnem okolju, in jih pretvarja v računalniku razumljive podatke, da jih lahko pretvori v 3D model.
- Računalniško podprto oblikovanje: Omogoča prikaz rezultata 3D skeniranja, ki ga lahko razvijalec/inženir s pomočjo specializirane programske opreme še bolj podrobno izpopolni po svojih zamislih. Rezultat 3D modeliranja je model, ki je definiran z informacijami, potrebnimi za izdelavo proizvoda, in so hkrati razumljive 3D tiskalniku.
- Robotizacija: Sicer ni direktno povezana z oblikovanjem proizvodov, ima pa velik vpliv na povečanje produktivnosti, kvalitete proizvodov, učinkovitosti in optimizacijo proizvodnega postopka.

### **2.3.1 3D tiskanje**

Ko omenimo besedo tiskalnik, ljudje najprej pomislimo na tiskalnik, ki ga uporabljamo doma ali v neki pisarni za tisk besedila ali slik na list papirja. To je tiskalnik, ki uporablja dimenziji dolžine in širine. 3D tiskalnik poleg dolžine in širine dodaja še tretjo dimenzijo in sicer globino odtisa, kar spremeni ploski tisk v predmet, ki je otipljiv, uporaben, ga lahko držimo in uporabljamo. 3D tiski/predmeti lahko

zavzamejo skoraj vsako obliko, odvisno od velikosti tiskalnika. Ko je začetni postopek 3D tiskanja zaključen, lahko 3D tiske skupaj povežemo, sestavimo in tako ustvarimo večje, kompleksnejše produkte. Aditivna proizvodnja je splošni izraz, ki se nanaša na raznovrstne procese izdelave, ki uporabljajo proizvodna orodja za ustvarjanje fizičnega 3D predmeta s tehniko dodajanja plast za plastjo materiala. Prav v tem se aditivna proizvodnja razlikuje od subtraktivne proizvodnje, ki je delovala na konceptu odzemanja materiala od obstoječih virov za ustvarjanje produkta in procesov konsolidacije oz. učvrstitve, kjer se vzamejo manjši deli, ki se združijo/spojijo in se na ta način oblikuje nov izdelek. Če povzamemo, je 3D tiskanje proizvodna metoda, ki vključuje digitalno zasnovano in ustvari fizični 3D objekt z dodajanjem plasti določenega materiala (S. Torta in J. Torta, 2019).

Proces 3D tiskanja je opisan s petimi koraki (S. Torta in J. Torta, 2019):

- Pridobivanje 3D modela: Proces 3D tiskanja se navadno začne z digitalnim dizajnom ali modelom. Ta model je digitalna 3D reprezentanca trdnega predmeta, ki je navadno sestavljena iz trikotnikov. Površine teh trikotnikov so shranjene v računalniški datoteki za opis geometrije modela. Vsi predmeti in formati pri 3D tiskanju uporabljajo trikotnike, da z njihovo pomočjo definirajo površino 3D modela. Seveda to ni edini način, s katerim se lahko ustvari ali pridobi 3D model. To lahko storimo s pomočjo raznih računalniških programov, skenerjev, fotoaparátov ali celo parametričnih matematičnih enačb. Ko je model pridobljen s pomočjo enega od omenjenih orodij, je potrebno poskrbeti, da se informacije in podatki pretvorijo v datoteko, ki jih bo program za razrezovanje razumel.
- Izbiranje formata datoteke: Najpogosteje uporabljena vrsta datoteke za informacije o 3D modelu je STL (Stereolithography) datoteka. Poleg STL datoteke obstajajo še številne druge, kot so OBJ (Object file format), AMF (Additive Manufacturing Format) in 3MF (3D Manufacturing Format).
- Razrez 3D modela: Ko je 3D model proizvoda v uporabnem formatu datoteke, sledi uporaba programske opreme za rezanje proizvoda v natisljive plasti. Program za razrez, v sklopu z nastavitvami, preveri, če so se pojavile napake, razreže 3D izdelek v plasti, doda podporne dele, kjer je to potrebno in ustvari polnilne vzorce za notranjost. Potrebno je omeniti, da je treba podporne dele, ki so po navadi mehanske strukture, predhodno izdelati, da

se proizvod natisne pravilno. Ti podporni deli so po končanem tiskanju odstranjeni iz proizvoda. 3D tiskalnik omenjene informacije in razreze uporabi, da natisne predmet s tehniko plast za plastjo.

- 3D tiskanje: Ko razrezovalni program konča svoj del, se informacije iz razrezanega 3D modela prenesejo do tiskalnika s povezavo z računalnikom ali prek Wi-Fi povezave, USB kabla ali SD kartice. Odvisno od tiskalnika je tudi, kateri material bo uporabljen za proces 3D tiskanja, lahko je plastika, železo, keramika, steklo ... 3D Tiskalnik nato natisne predmet, kar lahko vzame več ur časa, in to opravlja metodično in precizno; sledi navodilom, ki jih je pridobil s podatki iz računalnika. Ko 3D tiskalnik konča s tiskanjem, se odstranijo vsi podporni deli, ki so bili dodani.
- Izboljševanje in popravljanje 3D predmeta: Po končanem tiskanju, je kdaj morda potrebno storiti nekatere izboljšave, preden je proizvod dokončan po željah proizvajalcev. Te izboljšave so lahko čiščenje ali odstranjevanje kateregakoli drugega razpršenega materiala, glajenje plasti, barvanje, montaža ...

### **2.3.2 3D skeniranje**

Pridobivanje 3D oblik je postalo glavni vir, da se ustvarijo kompleksni digitalni 3D modeli. 3D skenerji so zelo podobni kameram. Tako kot kamere imajo stožčasto vidno polje in lahko zajemajo posnetke oz. zbirajo informacije o površinah, ki niso pokrite. Temeljna razlika je, da kamera zbira informacije o barvah površine njenega vidnega polja, medtem ko 3D skener v svojem vidnem polju zbira podatke o razdalji do površine, ki nas zanima. Posnetek, ki ga skener opravi, opisuje razdaljo do površine na vsaki točki na posnetku, s čimer omogoča identificirati trodimenzionalni (3D) položaj vsake točke na posnetku. Po navadi enkratno skeniranje ne bo ustvarilo popolnega subjekta. Ta proces je potrebno ponoviti mnogokrat, iz različnih smeri in kotov, pa tudi takrat ne bomo mogli z gotovostjo trditi, da bo ustvarjen subjekt popoln. Te posnetke, s pomočjo procesa poravnave, združimo, da bi ustvarili celoten model (Ebrahim, 2015).

3D skenerji so zelo natančni, zaradi česar je napovedano širjenje področja obratnega inženiringa. 3D skeniranje je 3D slika dela površine predmeta. 3D model predstavlja niz 3D slik. 2D fotografije so sestavljene iz točk »pikslov«, 3D slike pa iz malih

trikotnikov ali drugih mnogokotnikov. Ti mnogokotniki ustvarijo večnamensko mrežo, ki zelo natančno podvoji obliko predmeta.

Delovni koraki 3D skenerjev so naslednji (Haleem idr., 2022):

- Povezava z napravami: Prvi korak je povezovanje vseh delov 3D skenerja in nameščanje prave kombinacije objektiva kamere, projektorja, postavitev skeniranega predmeta na žarišče vrtljive mize in vklapljanje napajanja. Nato se naložijo podatki o projektu v programsko opremo za skeniranje in nastavijo v skladu z ustrežno lečo, vrtljivo mizico, kalibracijsko ploščo ...
- Nastavljanje parametrov in zbiranje podatkov: V drugem koraku moramo najprej poskrbeti, da smo predmet postavili na sredino vrtljive mizice, v vidnem polju skenerja. Nujno je, da se določi nabor bistvenih nastavitvev, kot so raven kakovosti, konfiguracija kamere, temperatura tipala idr. Potrebno je določiti tudi intenzivnost padajoče svetlobe na predmet, na podlagi informacij o površini predmeta. Ko so vse nastavitve opravljene, se skeniranje lahko začne. Začnejo se meritve in projektor usmeri svetlobne žarke na predmet, program pa dobiva podatke iz odbitega žarka v žarišču kamere.
- Obdelovanje podatkov: Ko so opravljene vse rotacije, se merjenje in pridobivanje podatkov zaključi. Med postopkom skeniranja/pridobivanja podatkov se naberejo tudi nepotrebni podatki, ki se izberejo in izrežejo. Pridobljene podatke naknadno obdelamo, da izboljšamo rezultat meritve in odpravimo napake. Končne podatke nato shranimo v različnih konfiguracijah za možnost uporabe v drugih programih. Naknadna in previdna obdelava podatkov je ključna za izboljšanje potrebnih podatkov.

### 2.3.3 Računalniško podprto oblikovanje

Najpomembnejši element tehnologije aditivne proizvodnje je 3D modeliranje. 3D modeliranje je postopek, ki lahko ideje inženirjev s pomočjo računalniško podprtega oblikovanja (CAD (ang. Computer-Aided Design)) in le-temu ustrezno prilagojene programske opreme pretvori v računalniški 3D model. Če je inženir na področju proizvodnje, lahko ta 3D model pretvori v fizični predmet/proizvod, najpogosteje s pomočjo 3D tiskanja ali CNC stroja, ki lahko služi kot prototip nekega proizvoda,



sestavni del kompleksnejšega proizvoda ali pa posodobitev obstoječega proizvoda. Torej gre za zapleten postopek, ki vključuje uporabo različnih orodij in ukazov za podrobno konstruiranje natančnega 3D modela (Panda idr., 2023). Prav zato je za opravljanje postopka 3D modeliranja, iz vidika razvijalcev, potreben širok nabor veščin, znanja in razumevanja tega področja.

- 3D modeliranje: CAD je uporaba računalniške programske opreme za pomoč pri oblikovalnih procesih. CAD je lahko uporabljena in pomaga pri oblikovanju 2D risb ali 3D modelov (Chai, 2020). 3D CAD (Computer-Aided Design) modeli se zaradi napredka v moči računalnikov uporabljajo za načrtovanje proizvodov, simulacij in virtualno izdelanih prototipov. CAD modeli imajo glede na svoj namen različne ravni kompleksnosti oblikovanja. Ker obstaja širok nabor programov računalniško podprtega oblikovanja (CAD), ki variirajo v ceni, kakovosti, zapletenosti uporabe itd., morajo inženirji poskrbeti, da imajo tisti program ali programe, ki odgovarjajo finančnim okvirjem podjetja, znanju razvijalcev, primerni ravni funkcionalnosti programa in zmogljivosti računalnika (Sarcar idr., 2008).
- 3D simulacija: Za podporo in spodbujanje razvoja na področju robotike se je razvilo veliko število različnih orodij skladno s povpraševanjem. Kot primer tega, lahko navedemo simulatorje. Programska oprema za simulacijo predstavlja preprosto in bolj ekonomično alternativo za potrjevanje kompleksnih sistemov, platform ali prototipov. 3D simulacija je pogosto odgovorna za potek robotskih raziskav, ki se ne bi zgodile brez nje, v primeru finančnih omejitev/zmožnosti. Projekte je mogoče simulirati že preden se dejansko izvedejo, s čimer fizične modele, senzorje idr. prilagajamo ustrezno uporabnikom. Zahvaljujoč napredku na področju računalništva, je nastalo in se razvilo veliko orodij za simulacijo/vizualizacijo. Sodobni robotski simulatorji lahko pomagajo pri pridobivanju kompleksnejših fizikalnih simulacij, 3D vizualizacij, virtualnem modeliranju robotov in novih raziskavah. Obstaja tudi programska oprema, ki je zmožna prirediti okolje/situacijo, ki je namenjena npr. avtomobilski, robotski, biomedicinski in drugi industriji. Kot primer lahko navedemo zdravnike, ki se učijo s pomočjo simuliranih bolnikov, ali pilote, ki vadijo na simulatorjih letenja. Ena od prednosti, ki jih 3D simulacija prinaša, so nizki stroški razvoja, saj naložba zahteva zgolj investicijo v programsko opremo, ki mora biti predhodno ustrezno

pripravljena. Še ena od prednosti omenjene tehnologije je priredba okolja z nizkim tveganjem, ker gre za nadzorovan poskus, ki preprečuje morebitne nesreče ali poškodbe prototipov (De Melo idr. 2019).

#### 2.3.4 Robotizacija

Glavni namen industrije 4.0 je na kratko povedano avtomatiziranje proizvodnih procesov oziroma proizvodnih postopkov, torej uvajanje inteligentne proizvodnje. Tehnološka spodbuda, ki je pripeljala do tovrstnega razmišljanja v proizvodnih okoljih, je uporaba robotov v industriji. Rezultat in namen pametne proizvodnje je reduciranje človeške vpletenosti v proizvodne procese z uporabo umetne inteligence. Prav zato se bo uporaba robotov v prihodnosti vedno bolj širila v proizvodnem okolju. Dodaten faktor, ki bo še dodatno spodbudil uporabo robotov v proizvodnih okoljih, je razvoj naprednejših, bolj funkcionalnih robotov z nižjimi stroški. Lahko so zelo koristni za opravljanje industrijskih nalog. Roboti se postopoma integrirajo v delovne naloge in nadomestijo človeka, predvsem za opravljanje nekaterih ponavljajočih se nalog. Danes se pojavlja že več različnih robotskih aplikacij, kot so industrijski roboti, industrijske robotske roke, mobilni roboti in sistemi z več roboti. Te služijo spreminjanju nastavitvev okolja glede na določene cilje uporabnika. Trenutno je večina robotov, robotov z omejenimi zmoglostmi, ki se uporabljajo predvsem v velikih tovarnah in v proizvodnih linijah raznih proizvodenj in industrij. Namen njihove uporabe je povečanje produktivnosti, kvalitete proizvodov, učinkovitosti, varnosti iz človeškega vidika ter po drugi strani zmanjšanje časa vodenja proizvodnje in stroškov (Vaisi, 2022).

Roboti opravljajo 3 posebne naloge v industrijskem okolju za pospeševanje proizvodnih procesov (Vaisi, 2022):

- delujejo kot naprava, ki upravlja z materialom,
- delujejo avtonomno,
- delujejo samostojno.

**Kolaborativni roboti:** Rešitve sodelovalne robotike, ki so enostavne za uporabo in kjer človeški delavci in roboti delijo svoje veščine, v zadnjih letih prodirajo na tržišče in postavljajo nove meje v industrijski robotiki. Najbolj zvoneča rešitev na tem

področju je kolaborativni robot, ki svojo visoko raven natančnosti, hitrosti in ponovljivosti lahko združi s prilagodljivostjo in kognitivnimi veščinami človeških delavcev in ustvari interaktivno industrijsko okolje (Villani idr., 2018).

Kolaborativni roboti se nekoliko razlikujejo od industrijskih robotov. Če so industrijski roboti definirani kot težki stroji, zmožni samostojnega kontroliranja in prostorsko omejeni od prostora v katerem dela človek, so kolaborativni roboti definirani ravno nasprotno. Zasnovani so, da delujejo v sodelovanju z ljudmi in si delijo enak delovni prostor kot »sodelavci«. Prav iz tega tudi izvira poimenovanje kolaborativni robot. Kolaborativni roboti so lažji od industrijskih, zato razpolagajo z veliko mobilnostjo, kar olajša njihovo premikanje po tovarni oziroma industriji, v kateri so nameščeni. Še ena prednost, ki jo ponujajo kolaborativni roboti, je njihova fleksibilnost, kar pomeni, da lahko enega robota uporabljamo za izvajanje različnih nalog in je posledično lahko nameščen v mnogih različnih industrijah (Sherwani idr., 2020). Kljub vse večji priljubljenosti kolaborativnih robotov, predvsem zaradi njihove varnostne zasnove (Liu idr., 2022), njihova integracija v delovne procese predstavlja tudi nekatere izzive (Villani idr. 2018). Poleg stremenja k stroškovni učinkovitosti (Markovič, 2020) in zmanjšanju časa proizvodnje, se mora za merilo ocenjevanja uspešnosti v obzir vzeti tudi ergonomija delavcev za določeno delo. Da bi se preprečile poškodbe zaradi ponavljajočih gibov ali utrujenosti delavca, se mora delo razdeliti na način, ki zmanjša fizično obremenitev delavca, vzajemno z optimiziranjem razporeditve dela na tak način, da človek in kolaborativni robot opravljata naloge, ki so zanj najprimernejše (Pearce idr., 2018). Poudariti je tudi potrebno, da kolaborativni robot ne igra vloge pri samem razvoju novega proizvoda, ampak je prisoten v fazi procesa izdelave samega proizvoda.

### **3 Namen vključevanja sodobnih tehnologij v razvoj novih proizvodov**

Proizvodna podjetja in njihovi vlagatelji si konstantno prizadevajo izboljšati tehnike in procese, da bi znižali stroške, porabo energije in bi posledično širili svoje zmožnosti (Pereira idr., 2019). V skladu s spreminjajočimi se zahtevami in tržno dinamiko, morajo proizvajalci najprej razviti digitalne kompetence, da bi lahko zadovoljili spreminjajoče se zahteve, in aditivno proizvodnjo, ki je ena od tehnologij, ki je/bo revolucionirala proizvodne procese in pospešila dobavne verige (Sonar idr., 2020). Eden od poglobitvenih namenov vključevanja sodobnih tehnologij je hitro prototipiranje, ki proizvajalcem omogoča pospešitev razvoja proizvoda.

Neposredno s tem je povezana visoka vključenost kupcev v proces in potencialni končni uspeh novonastalega proizvoda (Tih idr., 2016). Namen vključevanja sodobnih tehnologij je pospešitev procesa razvoja proizvoda. Kot najboljši primer temu lahko damo hitro prototipiranje, ki lahko s pomočjo računalniško podprtega programiranja potencialnemu proizvodu priredi kompleksnejšo geometrijsko obliko, pa ta še zmeraj ne bo imela občutnega vpliva na stroške in čas razvoja proizvoda (Rădulescu idr. 2021). Kot smo že omenili, kolaborativni robot pa nima vloge pri razvoju proizvoda, ampak je prisoten v fazi procesa izdelave proizvoda, kjer je zmožen določene naloge opravljati hitreje in natančneje kot človek.

#### 4 Prednosti vpeljave sodobnih tehnologij v razvoj novih proizvodov

Določene prednosti, ki jih vključitev sodobnih tehnologij prinaša v proces razvoja proizvoda in nadaljnje proizvodnje, prikazujemo v obliki tabele (Tabela 1), v kateri smo poimenovali določeno prednost vključitve in jo na kratko tudi opisali. Izpostavili bi predvsem naslednje prednosti.

**Tabela 1: Prednosti sodobnih tehnologij**

Prednosti	Prevladujoča tehnologija	Opis prednosti
<b>Hitro prototipiranje</b> (pridobljeno: Attaran, 2017)	3D tiskanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skrajšanje časa do lansiranja proizvoda na trg s pospešitvijo prototipiranja</li> <li>– zmanjšanje stroškov vključenih v razvoj proizvoda</li> <li>– večja učinkovitost podjetij in tekmovanje pri inovacijah</li> </ul>
<b>Izdelava kompleksnih delov</b> (pridobljeno: Perez idr., 2020; Panda idr., 2023)	3D modeliranje in 3D tiskanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bolj ko je sestava dela kompleksna, večji je prihranek stroškov</li> </ul>
<b>Proizvodnja majhnih količin</b> (pridobljeno: Ford in Despeisse, 2016; Vranić, 2017)	Kolaborativni robot	<ul style="list-style-type: none"> <li>– manjše serije proizvodov se lahko izdelajo stroškovno učinkovito</li> <li>– izključevanje vlaganja finančnih sredstev v orodja</li> </ul>
<b>Zmanjšan odmet materiala</b> (pridobljeno: Duraković, 2018)	3D tiskanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zelo majhna količina materiala je odvržena, le potrebna količina materiala je uporabljena</li> </ul>
<b>Unikatni proizvodi po meri</b> (pridobljeno: Javaid idr., 2021)	3D modeliranje in 3D skeniranje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– omogoča množično proizvodnjo ob nizkih stroških</li> <li>– pospešena izdelava prilagodljivih nadomestnih delov</li> </ul>

Prednosti	Prevladujoča tehnologija	Opis prednosti
<b>Skrajšano trajanje razvoja</b> (pridobljeno: Vranić idr., 2017)	3D modeliranje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– krajši čas razvoja od koncepta do proizvodnje</li> <li>– nižji stroški</li> </ul>
<b>Izdelava po naročilu</b> (pridobljeno: Shivananda in Nilanjana, 2022)	3D modeliranje in 3D tiskanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zmanjšuje tveganje za kopičenjem inventarja in nezmožnost prodaje dokončanih proizvodov</li> </ul>
<b>Okoljske prednosti</b> (pridobljeno: Ford in Despeisse, 2016; Walter in Marcham, 2020)	3D tiskanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– učinkovitost materialov in virov</li> <li>– proizvodna fleksibilnost</li> <li>– prilagodljivost posameznih delov proizvodov</li> </ul>
<b>Sodelovanje s človekom</b> (pridobljeno: Villani idr., 2018)	kolaborativni robot	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kombinacija prednosti avtomatiziranja s prilagajanjem, kognitivnimi in nežnimi veščinami človeka</li> </ul>

Vir: lasten

## 5 Izzivi vpeljave sodobnih tehnologij v proces razvoja proizvoda

Kot že omenjeno kljub prednostim, ki jih sodobne tehnologije prinašajo, se morajo podjetja, ki jih želijo implementirati, spopasti tudi z nekaterimi izzivi, ki pridejo z implementiranjem. Izzive prikazujemo na identičen način kot prednosti, v obliki tabele (Tabela 2).

Tabela 2: Izzivi vključevanja sodobnih tehnologij

Izzivi	Tehnologija	Opis izzivov
<b>Pomanjkljiv nadzor znotraj procesa</b> (pridobljeno: Al-Makky in Mahnmoud, 2016)	vse	<ul style="list-style-type: none"> <li>– potencialni rezultat tega je nizka reproduktivnost in padec stabilnosti procesa</li> </ul>
<b>Omejena velikost proizvoda</b> (pridobljeno: Quanjin idr., 2020; Jonuzakov, 2023)	3D tiskalnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>– proizvod je lahko le tako velik, kot je velik 3D tiskalnik</li> </ul>
<b>Stroški materialov</b> (pridobljeno: Jonuzakov, 2023)	3D tiskalnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>– določeni materiali za 3D tiskanje so trenutno še vedno dražji od materialov tradicionalne proizvodnje</li> <li>– proizvajalci, ki se poslužujejo 3D tehnologij, si prizadevajo znižati stroške materialov s povečevanjem konkurence na trgu</li> </ul>

Izzivi	Tehnologija	Opis izzivov
<b>Nenehno prehajanje na nova tržišča</b> (pridobljeno: Ford in Despeisse, 2016)	vse	– proizvajalci lahko z nenehnim razvijanjem in posodabljanjem funkcionalnosti, oblike in drugih elementov svojih proizvodov, »zaidejo« na nova tržišča in si s tem še dodatno povečajo konkurenco
<b>Trajanje</b> (pridobljeno: Kharat idr., 2023)	vse	– čeprav je razvoj prototipov relativno hiter in stroškovno učinkovit, je zato postopek proizvodnje lahko dolgotrajen proces – eden od največjih izzivov pri implementiranju tehnologij aditivne proizvodnje
<b>Varnost</b> (pridobljeno: Villani idr., 2018)	kolaborativni robot	– z implementiranjem določenih tehnologij je potrebno poskrbeti za varnost zaposlenih, ki so v neposrednem stiku s tehnologijami/stroji – predvsem je na to potrebno poudariti pri kolaborativnih robotih
<b>Visoki investicijski stroški</b> (pridobljeno: Sonar idr., 2020)	vse	– visoki stroški investicij v nove tehnologije in povezan vpliv na čas povrnitve le-te

Vir: lasten

## 6 Diskusija in zaključek

S teoretičnim pregledom v prispevku smo najprej prikazali proces razvoja novega proizvoda, ki smo ga za boljšo predstavo tudi analizirali po korakih najbolj znanega referenčnega modela BAH. Nadaljevali smo s teoretičnim pregledom sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvoda. V okviru poglavja smo se osredotočili na predstavitev namena njihove uporabe, korake uporabe in njihovo vlogo v procesu razvoja proizvoda. Na podlagi izvedenih pregledov literature smo opravili analizo prednosti in izzivov, ki jih prinaša vpeljava teh tehnologij v razvoj proizvoda.

Ključne prednosti uporabe sodobnih tehnologij se izkažejo v fazi prototipiranja, saj proizvajalcem s pomočjo računalniško podprtega oblikovanja omogoča ustvarjanje kompleksnih oblik proizvodov ob praktično izključenih stroških samega prototipiranja, v kolikor ne štejemo fiksnih stroškov programske opreme in drugih komponent, potrebnih za implementiranje novega načina razvoja proizvoda. Druga velika prednost pa se izkaže v primeru proizvodnje po meri, kar pomeni bistveno

hitrejšo prilagajanje proizvodov kupčevim potrebam in željam, kar pa je eden ključnih dejavnikov za uspeh podjetja.

Seveda pa vključevanje sodobne tehnologije nima samo pozitivnih vplivov, tako kot vse stvari na svetu ima tudi svojo temnejšo plat, ki pa smo jo predstavili v obliki izzivov, ki jih prinese uvajanje sodobne tehnologije. Najbolj pereče spremembe se lahko dogodijo pri postopku proizvodnje, saj le-ta lahko postane dolgotrajen, kar pomeni, da se z implementiranjem sodobnih tehnologij npr. prej velikoserijska proizvodnja pretvori v maloserijsko proizvodnjo z »edinstvenimi« in dragimi proizvodi, kar pa je lahko negativno za uspešnost podjetja. Področje sodobnih tehnologij je trenutno še premalo razvito, da bi se lahko celotna proizvodnja usmerila v aditivno proizvodnjo. Ima pa zato lahko implementiranje teh tehnologij trenutno koristen prispevek k uspešnosti tradicionalne proizvodnje. Prispevek lahko služi kot motiv za nadaljnje raziskovanje na tem področju, ki bo v prihodnosti zagotovo spremenilo pogled na globalno industrijo.

## Literatura

- Agrawal, A., & Bhuiyan, N. (2014). Achieving success in NPD projects. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 8(2), 476-481.
- Al-Makky, Mohammad & Mahmoud, Dalia. (2016). The Importance of Additive Manufacturing Processes in Industrial Applications.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business horizons*, 60(5), 677-688.
- Bhuiyan, N. (2011). A framework for successful new product development. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 4(4), 746-770.
- Bonci, A., Cen Cheng, P. D., Indri, M., Nabissi, G., & Sibona, F. (2021). Human-robot perception in industrial environments: A survey. *Sensors*, 21(5), 1571.
- Chai, W. (2020). *CAD (computer-aided design)*. TechTarget.  
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/CAD-computer-aided-design>
- De Melo, M. S. P., da Silva Neto, J. G., Da Silva, P. J. L., Teixeira, J. M. X. N., & Teichrieb, V. (2019, October). Analysis and comparison of robotics 3d simulators. In *2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)* (pp. 242-251). IEEE.
- Dr K.Shivananda Devi, & R. Nilanjana. (2022). *Additive Manufacturing: Vol. First edition*. Laxmi Publications Pvt Ltd.
- Ebrahim, M. A. B. (2015). 3D laser scanners' techniques overview. *Int J Sci Res*, 4(10), 323-331.
- Eightception. (2022). *The New Product Development Process (NPD) – 8 Steps to Success*  
<https://eightception.com/new-product-development-process/>
- Falkner, Eva & Hiebl, Martin. (2015). Risk management in SMEs: a systematic review of available evidence. *The Journal of Risk Finance*. 16. 122-144. 10.1108/JRF-06-2014-0079.
- Gruska, G. F., & Cherry, D. (2005). APQP: Not just for document creation. *Quality*, 44(2), 32.
- Guzik, A. (2023). Overview of new product development strategies and models. *Catalaxy*, 8(1), 21-34.

- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., Kumar, L., & Khan, I. H. (2022). Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3, 161-171.
- Jonuzakov, S. (2023). Economic aspects of additive manufacturing (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino). <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/26429/1/tesi.pdf>
- Kharat, V. J., Singh, P., Raju, G. S., Yadav, D. K., Gupta, M. S., Arun, V., ... & Singh, N. (2023). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Materials Today: Proceedings*.
- Kusar, J., Duhovnik, J., Grum, J., & Starbek, M. (2004). How to reduce new product development time. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(1), 1-15.
- Liu, Li & Guo, Fu & Zou, Zishuai & Duffy, Vincent. (2022). Application, Development and Future Opportunities of Collaborative Robots (Cobots) in Manufacturing: A Literature Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 40. 1-18. 10.1080/10447318.2022.2041907.
- Markovič, M. (2020). Uporaba robotskega in operativnega sistema za programiranje kolaborativnega robota Franka Emika [Master's thesis, M. Markovič]. Repository of the University of Ljubljana. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=eng&id=119626>
- Ogawa, S., & Piller, F. T. Reducing the Risks of New Product Development. \*
- Panda, S. K., Rath, K. C., Mishra, S., & Khang, A. (2023). Revolutionizing product development: The growing importance of 3D printing technology. *Materials Today: Proceedings*.
- Pearce, Margaret & Mutlu, Bilge & Shah, Julie & Radwin, Robert. (2018). Optimizing Makespan and Ergonomics in Integrating Collaborative Robots Into Manufacturing Processes. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. PP. 1-13. 10.1109/TASE.2018.2789820.
- Quanjin, M., Rejab, M. R. M., Idris, M. S., Kumar, N. M., Abdullah, M. H., & Reddy, G. R. (2020). Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective. *Procedia Computer Science*, 167, 1210-1219.
- Sachdeva, A., Agrawal, R., Chaudhary, C., Siddhpuria, D., Kashyap, D., & Timung, S. (2023). Sustainability of 3D printing in industry 4.0: A brief review. *3D Printing Technology for Water Treatment Applications*, 229-251.
- Sarcar, M. M. M., Rao, K. M., & Narayan, K. L. (2008). *Computer aided design and manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020, March). Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0). In *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)* (pp. 1-5). IEEE.
- Tih, S., Wong, K. K., Lynn, G. S., & Reilly, R. R. (2016). Prototyping, customer involvement, and speed of information dissemination in new product success. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 31(4), 437-448.
- Torta, S., & Torta, J. (2019). *3D printing: an introduction*. De Gruyter.
- Vaisi, B. (2022). A review of optimization models and applications in robotic manufacturing systems: Industry 4.0 and beyond. *Decision analytics journal*, 2, 100031.
- Verbano, C., & Venturini, K. (2013). Managing risks in SMEs: A literature review and research agenda. *Journal of technology management & innovation*, 8(3), 186-197.
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). Survey on human-robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 55, 248-266.
- Vranić, Aleksandar & Bogojevic, Nebojsa & Ciric-Kostic, Snezana & Croccolo, Dario & Olmi, G.. (2017). Advantages and drawbacks of additive manufacturing. *IMK-14 - Istrazivanje i razvoj*. 23. 57-62. 10.5937/IMK1702057V.
- Walter, A., & Marcham, C. L. (2020). Environmental advantages in additive manufacturing. *Professional Safety*, 65(01), 34-38.
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *International scholarly research notices*, 2012.



- Zirger, B. J., & Maidique, M. A. (1990). A model of new product development: An empirical test. *Management science*, 36(7), 867-883.
- Zukas, V., & Zukas, J. A. (2015). *An introduction to 3D printing*. First Edition Design Pub..



# KLJUČNI DEJAVNIKI USPEHA DIGITALNE TRANSFORMACIJE

TILEN MEDVED, EVA KRHAČ ANDRAŠEC

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
tilen.medved2@um.si, eva.krhac1@um.si

Poglavje obravnava večdimenzionalni proces digitalne transformacije, od umetne inteligence do digitalnih dvojčkov in prehoda na pametne tovarne, v različnih sektorjih. Digitalna transformacija je opredeljena kot sprememba ali premik v operativnih in strateških okvirih, ki je potrebna zaradi hitrega napredka digitalne tehnologije. Zagovarja vsestranski pristop k temu, kako naj se digitalna tehnologija v celoti vključi na vsa področja poslovanja z radikalnim prilagajanjem organizacijskih dejavnosti in zagotavljanjem vrednosti za stranke. Ugotovili smo, da je digitalna transformacija več kot le sprejetje tehnologije, saj zahteva spremembo kulture v smeri nenehnega eksperimentiranja in odprtosti za napake. S takšnimi spremembami postane podjetje agilno, učinkovito in usmerjeno k strankam, z možnostjo hitrega vključevanja novih vpogledov, ki temeljijo na podatkih, v celoten proces odločanja in inoviranja. V poglavju so s podrobnim pregledom literature in študij primerov opisani izzivi in kritični dejavniki, s katerimi se podjetja spopadajo pri digitalni transformaciji.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.7](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.7)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
digitalna transformacija,  
napredne tehnologije,  
ključni dejavniki,  
izzivi,  
študija primerov

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025.7](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.7)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**  
digital transformation,  
advanced technologies,  
key factors,  
challenges,  
case studies

# KEY SUCCESS FACTORS OF DIGITAL TRANSFORMATION

TILEN MEDVED, EVA KRHAČ ANDRAŠEC

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[tilen.medved2@um.si](mailto:tilen.medved2@um.si), [eva.krhac1@um.si](mailto:eva.krhac1@um.si)

The chapter examines the multidimensional digital transformation process in various sectors, from artificial intelligence to digital twins and the transition to smart factories. Digital transformation is a change or shift in operational and strategic frameworks needed by the rapid advancement in digital technology. The term stands for a holistic approach in which digital technology is fully integrated into all business areas by radically adapting organizational activities and providing added value to customers. We have found that digital transformation is more than just implementing technology. It requires a cultural shift towards constant experimentation and openness to failure. Such changes make the organization agile, efficient, and customer-centric, with the ability to quickly integrate new data-driven insights into the overall decision-making and innovation process. The chapter describes the challenges and critical factors companies face in digital transformation based on a detailed literature review and case studies.



University of Maribor Press

## 1 Uvod

S prihodom digitalne tehnologije so se v različnih sektorjih bistveno spremenile operativne, strukturne in strateške paradigme. V tem pregledu literature so zbrane ugotovitve številnih študij, ki zagotavljajo vpogled v procese, izzive, spodbujevalce in vplive digitalne transformacije v podjetjih in družbi na splošno. Digitalna transformacija zajema spremembo, ki jo doživijo podjetja ob vključitvi digitalne tehnologije v svoje poslovanje, s čimer se temeljito spremeni način njihovega delovanja in zagotavljanja vrednosti strankam. Pri tem ne gre zgolj za sprejemanje novih tehnologij, temveč za kulturno spremembo, ki od podjetij zahteva, da nenehno eksperimentirajo. Ta evolucija podjetjem omogoča, da postanejo bolj agilna, učinkovita in osredotočena na stranke, pri čemer uporabljajo podatke za spodbujanje odločanja in inovacij. Z digitalno transformacijo lahko podjetja ustvarijo nove ali spremenijo obstoječe poslovne procese, kulturo in izkušnje strank, da izpolnijo spreminjajoče se poslovne in tržne zahteve. Celovit pristop pomaga pri racionalizaciji poslovanja, izboljšanju sodelovanja s strankami in spodbujanju konkurenčnosti v vse bolj digitalnem svetu.

V današnjem času se z digitalno transformacijo ukvarjajo strokovnjaki na različnih področjih. V nadaljevanju navajamo nekaj pristopov:

- Egodawele in ostali (2022) so v obsežnem pregledu zajeli literaturo o digitalni transformaciji od leta 2013 do 2021 ter predlagali apriorni model za usmerjanje prihodnjih raziskav na tem področju. Model služi kot temeljni okvir, ki ponazarja ključna področja in metodologije, uporabljene pri preučevanju digitalne transformacije.
- Huang (2022) raziskuje digitalno transformacijo skozi pogled umetne inteligence, saj le-ta pomeni pomembni premik k industriji 4.0. V članku je poudarjena nastajajoča vloga digitalnih tehnologij pri izboljšanju inženirskih procesov, pri čemer je poudarjena kritičnost zaupanja in varnosti v sistemih umetne inteligence.
- Lokuge in Duan (2021) se ukvarjata z dejavniki digitalne transformacije v malih in srednje velikih podjetjih. Njuna raziskava opredeljuje posebne dejavnike, ki olajšujejo ali ovirajo sprejemanje digitalnih tehnologij v omenjenih podjetjih, in ponuja dragocene vpogleda za podjetja, ki želijo ustvariti ustrezno mikroklimo.

- Študija Alenezija (2022) obravnava digitalno transformacijo v javnem sektorju, pri čemer se osredotoča na organizacijske izzive in izzive informacijske varnosti. Poudarja odpor do digitalnih sprememb v tradicionalnih organizacijskih kulturah in izjemen pomen varovanja občutljivih informacij v digitalnih storitvah.
- Wu in You (2021) preučujeta vpliv digitalne transformacije na strategijo diverzifikacije podjetij. Ugotovitve kažejo, da digitalna transformacija spodbuja podjetja k ponovnemu razmisleku o njihovih strateških pristopih, kar lahko vodi k bolj raznovrstnim poslovnim modelom.
- Wu in Li (2023) preučujeta medsebojni vpliv okoljskih, družbenih in managerskih dejavnikov digitalne transformacije in trajnosti. Študija razkriva, da imajo trajnostne inovacije pomembno vlogo, ki krepi pozitivne učinke digitalne transformacije na trajnost.
- Xu in ostali (2022) zagovarjajo uporabo podatkovnih operacij za olajšanje digitalne transformacije. Predlagajo lasten pogled obdelave informacij, pri čemer poudarjajo, kako lahko učinkovito upravljanje podatkov in analitika spodbudita organizacijske spremembe. Tehnološki napredek ponuja priložnosti za učinkovitost in inovacije, hkrati pa predstavlja tudi velike izzive na področju varnosti, organizacijske kulture in strateškega prilagajanja.

Zgornji pregled strokovnjakov celovito osvetljuje digitalno transformacijo, ki predstavlja premik v operativnih in strateških okvirih. Obravnava zapletene procese, prevladujoče izzive in velik vpliv digitalne transformacije na podjetja in družbo v celoti. Digitalna transformacija ni predstavljena le kot uvajanje digitalnih tehnologij v poslovanje podjetij, temveč kot globoka preobrazba, ki zahteva kulturni premik k stalnim inovacijam. Namen našega poglavja je, da v nadaljevanju na podlagi pregleda literature ugotovimo, od česa je odvisen uspeh digitalne transformacije v podjetju.

## 2 Napredne tehnologije v digitalni transformaciji

V današnjem svetu, kjer tehnologija nenehno spreminja način življenja in dela, so digitalni dvojčki, umetna inteligenca in pametne tovarne postali ključni trije stebri digitalne transformacije. Te tehnologije ne spreminjajo le procesov v industriji, temveč oblikujejo prihodnost številnih sektorjev, od zdravstva do storitvenih dejavnosti. V naslednjih podpoglavjih raziskujemo, kako digitalni dvojčki služijo kot

povezava med fizičnim in digitalnim svetom. Prav tako proučujemo, kako umetna inteligenca spodbuja inovacije in spreminja poslovne modele. Proučujemo tudi, kako pametne tovarne revolucionarno spreminjajo proizvodnjo. Z raziskavo navedenih tem odkrivamo, kako te tehnologije prispevajo k učinkovitosti, zanesljivosti in inovacijam, hkrati pa premagujejo izzive, kot sta varnost in zasebnost vseh deležnikov.

**Tabela 1: Razdelitev naprednih tehnologij glede na kvadrant, časovno obdobje in vpliv**

Kvadrant	Tehnologija	Časovni obseg v letih	Vpliv
Pametni svet	Avatarji umetne inteligence	3-6	Nizek
	Pametni prostori	3-6	Visok
	Prostorsko računalništvo	6-8	Visok
	Digitalni dvojčki	1-3	Visok
	Multimodalni uporabniški vmesniki	1-3	Visok
Revolucija produktivnosti	Stiskanje modelov	1-3	Nizek
	Avtonomna brezpilotna letala	1-3	Nizek
	Virtualni pomočniki, ki jih omogoča GenAI	1-3	Visok
	Vizualni transformatorji za računalniški vid	3-6	Visok
	Sintetični podatki	1-3	Nizek
	Samonadzorovano učenje	3-6	Visok
	Inteligentne aplikacije	1-3	Srednji
	Generativna umetna inteligenca	0-1	Visok
Zasebnost in preglednost	Umetna inteligenca, osredotočena na človeka	1-3	Srednji
	Odgovorna umetna inteligenca	1-3	Visok
	Vedenjska analitika	3-6	Srednji
	Decentralizirana identiteta	3-6	Srednji
	Tehnologije za izboljšanje zasebnosti	3-6	Srednji
Ključni spodbujevalci	Grafi znanja	0-1	Srednji
	Nevromorfnost računalništvo	3-6	Visok
	Tokenizacija	3-6	Srednji
	Čipi umetne inteligence	1-3	Srednji
	Blockchain	1-3	Srednji
	Kvantni procesorji	6-8	Visok
	Računalništvo na robu hiperrazsežnosti	3-6	Visok
	Web3	6-8	Srednji
	Mega konstelacije LEO satelitov	1-3	Srednji
	Zasebni 5G	3-6	Srednji
Razširljive vektorske baze podatkov	6-8	Nizek	

Vir: povzeto po Perri, 2024

Tabela 1 prikazuje napredek različnih tehnoloških trendov. Tabela je razdeljena na naslednje kvadrante: "Pametni svet", "Revolucija produktivnosti", "Zasebnost in preglednost" in "Ključni spodbujevalci". Ti razdelki vsebujejo razne napredne

tehnologije, kot so na primer pametni prostori, multimodalni uporabniški vmesniki, kvantni procesorji, 5G omrežje, na človeka osredotočena umetna inteligenca ter samonadzorovano učenje. Napredne tehnologije so razvrščene glede na vpliv (od nizkega do visokega) in na časovni obseg, v katerem bo določena tehnologija imela vpliv (od trenutnega leta do osem let). Vizualizacija tehnoloških smernic poudarja, kako umetna inteligenca, digitalni dvojčki in pametne tovarne niso le temelji trenutne digitalne transformacije, ampak bodo še naprej igrali ključno vlogo pri oblikovanju prihodnosti v družbi in gospodarstvu. V nadaljevanju podajamo opis teh tehnologij.

## 2.1 Umetna inteligenca

Umetna inteligenca igra ključno vlogo pri digitalni transformaciji, saj spodbuja inovacije in oblikuje prihodnost panog, kot so strojništvo, zdravstvo, energetika, izobraževanje in informatika. Na področju digitalnega inženiringa in industrije 4.0 je umetna inteligenca ključna tehnologija, ki spodbuja nenehne spremembe. Umetna inteligenca zagotavlja, da so digitalni inženirski procesi zanesljivi in varni za vsakdanjo uporabo v podjetjih. Vključevanje umetne inteligence v digitalni inženiring obravnava temeljne spremembe v industriji ter povečuje uspešnost in učinkovitost (Huang, 2022).

Umetna inteligenca se uporablja pri preoblikovanju podatkovnih baz in digitalnih knjižnic s pomočjo avtomatizacije tradicionalnih dejavnosti vodenja evidenc. To povezovanje predstavlja premik k podatkovno usmerjenemu upravljanju in dostopnosti do informacij znotraj arhivov (Colavizza idr., 2022). V visokem šolstvu je potencial umetne inteligence za preoblikovanje prav tako pomemben. Obljublja, da bo revolucionarno spremenila delovanje institucij, pedagoških metod in sodelovanje študentov. Omogočila naj bi prilagojeno in učinkovito izobraževalno izkušnjo. Tehnologije umetne inteligence se dandanes uporabljajo za izboljšanje učnih rezultatov, racionalizacijo upravnih postopkov ter spodbujanje okolja nenehnih inovacij in prilagodljivosti (Katsamakos idr., 2024).

Umetna inteligenca ima velik vpliv na poslovanje, saj lahko preoblikuje poslovne modele ter uvaja nove strategije za sodelovanje, operativno učinkovitost in ustvarjanje vrednosti. Podjetja lahko predvidevajo tržne trende, prilagajajo izkušnje strank in dosegajo trajnostne konkurenčne prednosti, kar za njih pomeni prihodnji premik v načinu delovanja panog (Soni idr., 2020). Vloga umetne inteligence v zdravstvu in na področju globalnega zdravja poudarja potencial za izboljšanje



zagotavljanja oskrbe, izidov zdravljenja in upravljanja zdravstvenega varstva. Orodja umetne inteligence in strojnega učenja so ključnega pomena pri razvoju zdravstvenih rešitev, ki so prilagodljive in sposobne obravnavati različne in zapletene potrebe zdravstva v današnjem času (Mathur idr., 2020).

## **2.2 Digitalni dvojčki**

Digitalni dvojčki so v današnjih časih pomemben del napredka pri modeliranju in interakciji s fizičnimi sistemi v različnih sektorjih, vključno z industrijo in zdravstvom. Razvili so se pri upravljanju življenjskega cikla izdelkov in pri široki uporabi v proizvodnji ter pametnih mestih. Koncept sta sprva formalizirala NASA in Michael Grieves, pri čemer sta poudarila zahtevno verjetnostno simulacijo z večjim številom meril, katera odražajo kompleksen sistem. Temeljni koncept se je v nadaljevanju razširil na razne modele, ki napovedujejo in optimizirajo obnašanje svojih fizičnih dvojčkov v realnem času. Digitalni dvojčki vključujejo tehnologije, kot so internet stvari (angl. Internet of Things (v nadaljevanju IoT)) in umetna inteligenca, kar dodatno širi njihovo uporabnost (Suhail idr., 2022; Thelen idr., 2022).

Digitalni dvojčki predstavljajo ključni napredek v digitalni transformaciji, saj ponujajo odlično preglednost in operativno učinkovitost. Pri njihovi pogosti uporabi se pojavljajo težave z združljivostjo med sistemi in standardi. V osnovi so sestavljeni iz treh delov: fizične entitete, virtualnega modela in dvosmernega pretoka podatkov med njimi, kar omogoča posodobitve in prilagoditve v realnem času (Agrawal idr., 2022).

Uporabljajo se na različnih področjih, od načrtovanja kompleksnih sistemov in vesoljskega inženirstva do zdravstva in gospodarstva. Ponujajo zanesljiv okvir za spremljanje življenjskega cikla opreme, optimizacijo proizvodnih procesov in prediktivno vzdrževanje. Na primer v meteorologiji so bili uporabljeni kot napredni modeli za napovedovanje vremena, kar so lahko dosegli s simulacijo podatkov v obsežni podatkovni bazi (Rasheed idr., 2020; van Beek idr., 2023; Wang idr., 2023).

Kljub svojim zmožnostim pa se soočajo s številnimi izzivi glede varnosti in zasebnosti, z zapletenim upravljanjem podatkov in potrebami po napredni usposobljenosti zaposlenih, ki digitalne dvojčke uporabljajo. Razvijajoče se okolje brezžičnih omrežij in računalniške inteligence poleg tega predstavlja priložnosti in izzive za uvajanje industrijskih digitalnih dvojčkov. V prihodnosti bodo le-ti imeli

ključno vlogo pri digitalni transformaciji. Njihova sposobnost zagotavljanja celovitega prikaza dvojčkov v realnem času odpira nove možnosti za raziskave, razvoj in uporabo v podjetjih. Pot do njihove praktične izvedbe na različnih področjih poudarja dinamično delovanje med razvojem tehnologije in industrijsko uporabo. Digitalni dvojčki bodo v prihodnosti lahko povezali fizično okolje z digitalnim (Zeb idr., 2022).

### 2.3 Pametne tovarne

Digitalno transformacijo proizvodnje, zlasti z razvojem pametnih tovarn, bistveno pospešuje povezovanje naprednih tehnologij, kot so 5G, IoT, umetna inteligenca in blockchain. Tehnologije so ključne pri ustvarjanju učinkovitih in inteligentnih proizvodnih okolij, brez katerih revolucija industrije 4.0 ne bi bila mogoča.

Uvajanje omrežij 5G je za pametno proizvodnjo pomembno, saj zagotavlja prenos večjega števila podatkov, ki so potrebni za analizo in sprejemanje odločitev v realnem času. Omrežje omogoča nemoteno povezljivost in komunikacijo med napravami in sistemi v tovarni ter podpira širok nabor aplikacij, od spremljanja in nadzora v realnem času do avtonomnega delovanja. Industrijski IoT (IIoT) je temelj pametnih tovarn, saj napravam omogoča zbiranje, izmenjavo in analizo podatkov ter s tem izboljšuje uspešnost in učinkovitost proizvodnje. Naprave znotraj omrežja IIoT podpirajo različne vidike pametne proizvodnje, vključno s proaktivnim vzdrževanjem in optimizacijo dobavne verige (Yang idr., 2019). Ker so pametne tovarne povezane in odvisne od digitalnih tehnologij, je kibernetška varnost vedno bolj na udaru. V tem smislu vključevanje naprav IoT prinaša nove pomanjkljivosti in povečuje tveganje kibernetških groženj. Zaščita občutljivih podatkov in zagotavljanje varnega delovanja pametnih proizvodnih sistemov sta zato pri implementaciji IoT v ospredju (Masum, 2023).

Blockchain tehnologija ponuja decentraliziran in varen okvir za izmenjavo podatkov in transakcije v pametnih tovarnah, kar povečuje zaupanje in preglednost raznovrstnih podatkov. Zagotavlja celovitost in varnost podatkov v celotni dobavni verigi. Uporaba blockchain tehnologije rešuje varnostne težave, katere smo že omenili, in zagotavlja podporno infrastrukturo za aplikacije industrije 4.0 (Fernández-Caramés in Fraga-Lamas, 2019). Povezava vseh naštetih tehnologij v okviru pametne tovarne postavlja nove standarde za učinkovitost, prilagodljivost in inovacije v proizvodnji.

### 3 Ključni dejavniki uspeha obvladovanja poslovnih procesov

Poslovni procesi, kot gradniki uspešne digitalne transformacije, so odvisni od mnogih dejavnikov, ki vplivajo na njihovo učinkovitost in uspešnost. Te lahko razdelimo na širše, ožje in notranje okolje, vsi skupaj pa oblikujejo podlago za strateško odločanje v podjetju.

Dejavnike širšega okolja, ki vplivajo na dejavnost podjetij, delimo na šest podokolij: pravno-politično, gospodarsko, kulturno, tehnološko, demografsko in okoljevarstveno. Za njih je značilno, da omejujejo podjetje in mu hkrati dajejo priložnost za učinkovitost in uspešnost poslovnih procesov. Na poslovanje podjetij vplivajo tudi dejavniki ožjega okolja: trg blaga, trg delovne sile, trg kapitala ter trg poslovnih in tehničnih informacij. Struktura in privlačnost poslovnega področja se določata glede na konkurenčnost, možnost novih nadomestnih izdelkov, moč kupcev in dobaviteljev ter grožnjo novih konkurentov. Pri oceni dobičkonosnosti je treba obravnavati vrednost, ki jo izdelki nudijo kupcem, stopnjo konkurenčnega boja ter vplivno moč v proizvodni verigi. Pomembno pa je predvsem analizirati vloge vhodnih in izhodnih elementov poslovnih procesov. Na učinkovitost in uspešnost poslovnih procesov imajo največji vpliv dejavniki notranjega okolja, zlasti ko podjetja delujejo v enakih zunanjih okoliščinah. Med njimi so lastništvo podjetja, management in vodenje, organiziranost podjetja, finančni dejavniki, infrastruktura in pogoji dela, tehnično-tehnološki dejavniki, informacijsko-komunikacijska tehnologija, organizacijska kultura in dejavniki kakovosti. Vsi ti dejavniki skupaj ustvarjajo mozaik notranjega okolja, ki je bistven za usmerjanje podjetij k učinkovitosti in inovativnosti (Urh, 2011).

Poleg porazdelitve glede na vrsto okolja, lahko gledamo na dejavnike učinkovitosti in uspešnosti tudi z vidika pristopov izboljševanja poslovnih procesov. Pristopi prepoznavajo ključne dejavnike uspeha, ki se v literaturi pogosto ponavljajo in so bistveni za njihovo oceno učinkovitosti in uspešnosti. Najpomembnejši dejavniki so (Krhač Andrašec idr., 2024):

- odločno vodstvo in predanost managementa,
- izbor projektov in veščine obvladovanja projektov,
- osredotočenost na zadovoljstvo strank,
- organizacijska kultura,

- vzpostavljeni nenehni programi izobraževanja in usposabljanja,
- timska komunikacija,
- motivacija, predanost in vključenost zaposlenih,
- uporaba informacijske tehnologije,
- vzpostavljen sistem stalnega izboljševanja,
- sodelovanje delovnega okolja,
- ustrezni viri (zaposleni, proračun in čas),
- vzpostavljen sistem za spremljanje in merjenje učinkovitosti in uspešnosti,
- vpeljan ustrezen sistem obvladovanja sprememb,
- razumevanje metod, tehnik in orodij.

#### 4 Izzivi digitalne transformacije

Digitalna transformacija je polna izzivov, ki jih morajo podjetja premostiti, da bi v celoti izkoristila svoj potencial. Pregledana literatura izpostavlja več ključnih ovir na različnih področjih, od malih in srednje velikih podjetij do javnega sektorja.

Organizacijski in kulturni odpor - eden od najbolj razširjenih izzivov je odpor znotraj podjetij, zlasti v javnem sektorju. Zaposleni neradi sprejemajo digitalne spremembe, saj imajo raje udobje obstoječih »analognih« sistemov. Odpor pogosto izhaja iz globoko zakoreninjene organizacijske kulture, ki na digitalno transformacijo gleda kot na grožnjo in ne kot priložnost (konservatizem) (Xu idr., 2022).

Pomanjkanje strokovnega znanja - ključni izziv je tudi pomanjkanje usposobljenih strokovnjakov s strokovnim znanjem na področju digitalnih tehnologij. Vrzel je posebej vidna v državah v razvoju in v javnem sektorju, kjer strogi predpisi in protokoli otežujejo privabljanje usposobljenega kadra (Huang, 2022).

Varnostni pomisleki - s preходом na digitalne platforme se pojavljajo večja varnostna tveganja, saj so občutljivi podatki lahko izpostavljeni različnim kršitvam. Zagotavljanje varnosti digitalnih storitev je najpomembnejše in zato so potrebne zanesljive (digitalne) taktike za informacijsko varnost. Neuspeh pri varovanju občutljivih podatkov podjetij pripomore k izgubi zaupanja v digitalne tehnologije. Prav tako lahko organizacijam prinese nepotrebne stroške (Xu idr., 2022).

Odnosi z zainteresiranimi stranmi - vzdrževanje in upravljanje odnosov z deležniki je ključnega pomena za uspeh digitalne transformacije. Napačno upravljanje ali zanemarjanje teh odnosov lahko ovira napredek. V proces digitalne transformacije morajo biti zato vključeni vsi zaposleni. To je pomembno zlasti v javnem sektorju, kjer je sodelovanje deležnikov bistveno za preglednost in prevzemanje odgovornosti (Huang, 2022).

Izzivi strateške diferenciacije in trajnostnega razvoja - digitalna transformacija sicer spodbuja diferenciacijo in trajnost, vendar zahteva strateški pristop, usklajen s širšimi cilji podjetja in prizadevanji za zeleno prihodnost. Avtorji predlagajo, da se kot strategijo za digitalni napredek storitvenih podjetij uporabijo izboljšanje digitalne infrastrukture, krepitev industrijske baze podatkov ter izboljšanje možnosti trgovanja s storitvami (Zhou idr., 2023; Wu in You, 2021).

Za premagovanje izzivov digitalne transformacije je potreben večplasten pristop, ki vključuje upravljanje kulturnih sprememb, naložbe v varnostno infrastrukturo, premostitev vrzeli v znanju in spretnostih ter krepitev trdnih odnosov z zainteresiranimi stranmi. Poleg tega morajo podjetja za uspešno implementacijo digitalne transformacije strateško uskladiti prizadevanja s svojimi trajnostnimi cilji, saj so le-ti zelo povezani.

## **5 Študije primerov o digitalni transformaciji**

Pregled študij primerov digitalne transformacije razkriva strateške in inovativne pristope, ki so jih različna podjetja uporabila v razvijajočem se digitalnem okolju.

Nikejeva pot v digitalno transformacijo kaže na strateško usmeritev podjetja v krepitev digitalnih platform in kanalov neposrednega stika s potrošniki. Pandemija je bila prelomna točka, ki je poudarila potrebo po agilnosti in inovativnosti pri izpolnjevanju potreb strank. Nike se je osredotočil na sprejetje novih tehnologij in digitalnih okvirov za izboljšanje sodelovanja s strankami, racionalizacijo poslovanja in spodbujanje inovacij izdelkov. Z izkoriščanjem digitalnih kanalov si je prizadeval bolje razumeti in služiti svojim strankam ter si zagotoviti konkurenčno prednost v hitro spreminjajočem se maloprodajnem okolju (Dhesi, 2021).

Toyotina zgodba se nanaša na prehod iz tradicionalnega proizvajalca avtomobilov v ponudnika storitev mobilnosti, s čimer se želi odzvati na spreminjajoča se pričakovanja potrošnikov in tehnološki napredek. Prehod je vodila Toyota Connected, neodvisna organizacija znotraj Toyote, ki je bila zadolžena za razvoj digitalnih pobud. Ustanovitev organizacije je ponazorila njihovo zavezanost inovacijam in agilnosti ter vzpostavila model za razvoj in širjenje novih digitalnih storitev znotraj celotnega podjetja. Študija primera ponazarja, kako lahko tudi starejša podjetja sledijo smernicam digitalne transformacije, pri čemer se osredotočajo na nove načine dela in upravljanje z zaposlenimi (van der Meulen idr., 2022).

Družba Johnson & Johnson se je podala na pot digitalne transformacije, ki se osredotoča na revolucijo kirurških postopkov s pomočjo tehnologije. Njihova platforma, ki jo poganjajo robotika, vizualizacija, napredni instrumenti, podatkovna analitika in povezljivost, želi izboljšati rezultate kirurških posegov. To želijo doseči z njihovo večjo dostopnostjo in omogočiti hitro učenje med roboti, ki so sposobni izvajati kirurške posege. Pobuda, imenovana »Kirurgija 4.0«, poudarja potencial digitalnih inovacij za izboljšanje zagotavljanja zdravstvenega varstva, saj kirurgom zagotavlja vpogled v realnem času, ki temelji na ustrezno zbranih podatkih (Harvard Business School Digital Initiative, b. d.).

L'Oreal je učinkovito vključil digitalne tehnologije, da bi spremenil interakcijo s potrošniki in inoviral proces razvoja izdelkov. Ker se podjetje zaveda premika k pomembnosti spletne trgovine, je L'Oreal povečal izdatke za digitalne medije in razvil ustrezno strategijo tako imenovane »e-trgovine«, prilagojene različnim trgovinam. Podjetje je uporabilo podatkovno analitiko o potrošnikih za razvoj izdelkov, kar je privedlo do uspešnih lansiranj, kot je na primer L'Oreal Paris »Ombre Kit«. Poleg tega je L'Oreal predstavil aplikacijo »Makeup Genius«, prelomno digitalno orodje, ki z uporabo napredne tehnologije uporabnikom omogoča virtualno preizkušanje ličil in izboljšano izkušnjo pri spletnem nakupovanju (Harvard Business School Digital Initiative, b. d.).

Študiji primerov podjetij Nike in Toyota ponazarjata večplastno naravo digitalne transformacije, ki vključuje sprejetje tehnologije s strani podjetja, spremembe organizacijske kulture in strateško preusmeritev k digitalnim pristopom. Podjetji Johnson & Johnson ter L'Oreal prikazujeta transformacijsko moč digitalnih tehnologij pri spreminjanju industrijskih standardov in izboljšanju izkušenj strank.

Osredotočenost podjetja Johnson & Johnson na digitalno kirurgijo poudarja potencial umetne inteligence in robotike v zdravstvu, medtem ko digitalne pobude družbe L'Oreal odražajo pomen zbiranja podatkov o potrošnikih in digitalnih orodij pri inovacijah izdelkov in storitev.

## **6 Diskusija in zaključek**

Digitalna transformacija predstavlja temeljni premik v načinu uporabljanja tehnologij za preoblikovanje storitev, procesov in izkušenj strank. Gre za strateški, neprekinjen proces, ki presega digitalizacijo. Cilj digitalne transformacije je temeljito spremeniti delovanje podjetij in zagotavljanje dodatne vrednosti strankam. Ključ do uspešne digitalne transformacije je kulturna sprememba celotnega podjetja, saj se le na ta način lahko stalno izboljšuje.

Pot k digitalni transformaciji je prav tako polna izzivov. Kot smo že opisali, so med njimi organizacijski odpor, varnostni pomisleki, pomanjkanje strokovnega znanja in zahtevno strateško izvajanje. Za premagovanje teh izzivov so potrebna skupna prizadevanja vodstva, jasna komunikacija, stalno izobraževanje ter varna in prilagodljiva infrastruktura naprednih tehnologij, kot so umetna inteligenca, IoT ter digitalni dvojčki.

Kot smo že omenili, morajo podjetja za ohranjanje konkurenčnosti v razvijajočem se digitalnem okolju sprejeti digitalno transformacijo. Ključni dejavniki uspeha pri njej zajemajo različne razsežnosti, vključno z organizacijsko strukturo, uvedbo tehnologije in ustreznim strateškim upravljanjem. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj le-teh, opredeljenih v raziskavah strokovnjakov iz omenjenih področij (Vogelsang idr., 2018; Guinan idr., 2019; Ramesh in Delen, 2021):

- Organizacija podjetja: poudarjen je pomen korporativne kulture, podpore najvišjega vodstva in enotne digitalne korporativne strategije, vizije in dolgoročnih ciljev.
- Sodelovanje in kulturne spremembe: zahtevano je sodelovanje s strankami, dobavitelji in drugimi podjetji, skupaj s spodbujanjem kulturnih sprememb, ki omogočajo fleksibilno delovno okolje in interdisciplinarne dejavnosti.
- Celovita strategija: podjetja morajo sprejeti celovit pristop, ki vključuje razsežnosti napredne tehnologije, organizacije in okolja.

- Voditeljstvo in organizacijska struktura: ključne zmogljivosti za izvajanje uspešne digitalne poslovne strategije so vodenje, inovacije in organizacijska struktura, ki podpira digitalne pobude.
- Nenehno učenje in upoštevanje dobrih praks: ustvarjanje inovativnih digitalnih projektnih skupin ter spodbujanje stalnega učenja in izvajanja dobrih praks so bistveni za omogočanje digitalne transformacije.

Uspešna digitalna transformacija je torej večplastna in zahteva usklajena prizadevanja na področju organizacijske kulture, strategije, vodenja in uvajanja tehnologij za uspešno in učinkovito implementacijo. Je obsežno področje, ki zajema različne tehnologije in strategije, namenjene preoblikovanju podjetij v današnjem digitalnem svetu - ne glede na to, ali gre za uvedbo digitalnih dvojčkov pri upravljanju življenjskega cikla izdelka, izkoriščanje umetne inteligence za boljše odločanje ali izvajanje načel pametne tovarne za proizvodno odličnost. Ko se podjetja soočajo z izzivi in priložnostmi, ki jih prinaša digitalna transformacija, se morajo še naprej osredotočiti na strateško uskladitev, kulturne spremembe in pravilno uporabo tehnologij za doseganje trajnostnega razvoja in ohranjanja konkurenčnosti. Ključni dejavniki za uspešno implementacijo digitalne transformacije so še vedno gonilni dejavnik mnogih podjetij v industriji 4.0, zato je njihovo poznavanje vse bolj pomembno.

## Literatura

- Agrawal, A., Singh, V., & Fischer, M. (2022). A New Perspective on Digital Twins: Imparting Intelligence and Agency to Entities. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 6, 871–875. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2022.3225741>
- Alenezi, M. (2022). Understanding Digital Government Transformation. *CoRR, abs/2202.01797*. <https://arxiv.org/abs/2202.01797>
- Colavizza, G., Blanke, T., Jeurgens, C., & Noordegraaf, J. (2022). Archives and AI: An Overview of Current Debates and Future Perspectives. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1145/3479010>
- Dhesi, A. S. (2021). Sustaining Digital Transformation in the Post-COVID Era: Nike Case Study. MIT Sloan School of Management.
- Egodawele, M., Sedera, D., & Bui, V. (2022). *A Systematic Review of Digital Transformation Literature (2013-2021) and the development of an overarching apriori model to guide future research*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.03867>
- Fernández-Caramés, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2019). A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. *IEEE Access*, 7, 45201–45218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908780>
- Guinan, P. J., Parise, S., & Langowitz, N. (2019). Creating an innovative digital project team: Levers to enable digital transformation. *Business Horizons*, 62(6), 717–727. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.07.005>



- Harvard Business School Digital Initiative. (b. d.). Johnson & Johnson: Embracing Digital Transformation. <https://d3.harvard.edu/platform-digit/submission/johnson-johnson-embracing-digital-transformation/>
- Harvard Business School Digital Initiative. (b. d.). L'Oreal: Transforming beauty with technology. Retrieved from <https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/loreal-transforming-beauty-with-technology/>
- Huang, J. (2022). Digital engineering transformation with trustworthy AI towards industry 4.0: emerging paradigm shifts. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 26, 267–290. <https://doi.org/10.3233/JID-229010>
- Katsamakas, E., Pavlov, O. V., & Saklad, R. (2024). *Artificial intelligence and the transformation of higher education institutions*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.08143>
- Krhač Andrašec, E., Kern, T. & Urh, B. (2024). Analiza dejavnikov učinkovitosti in uspešnosti obvladovanja poslovnih procesov. V Urh, B., & Maletič, M. (ur.), *Raziskovalni trendi in trajnostne rešitve v inženiringu poslovnih sistemov*. Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba.
- Lokuge, S., & Duan, S. X. (2021). *Towards Understanding Enablers of Digital Transformation in Small and Medium-Sized Enterprises*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.05989>
- Masum, R. (2023). *Cyber Security in Smart Manufacturing (Threats, Landscapes Challenges)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.10180>
- Mathur, V., Purkayastha, S., & Gichoya, J. W. (2020). Artificial Intelligence for Global Health: Learning From a Decade of Digital Transformation in Health Care. *CoRR*, *abs/2005.12378*. <https://arxiv.org/abs/2005.12378>
- Perri, L. (2024). 30 Emerging Technologies That Will Guide Your Business Decisions. Gartner. <https://www.gartner.com/en/articles/30-emerging-technologies-that-will-guide-your-business-decisions>
- Ramesh, N., & Delen, D. (2021). Digital Transformation: How to Beat the 90% Failure Rate? *IEEE Engineering Management Review*, 49(3), 22–25. <https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3070139>
- Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. (2020). Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective. *IEEE Access*, 8, 21980–22012. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143>
- Soni, N., Sharma, E. K., Singh, N., & Kapoor, A. (2020). Artificial Intelligence in Business: From Research and Innovation to Market Deployment. *Procedia Computer Science*, 167, 2200–2210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.272>
- Suhail, S., Hussain, R., Jurdak, R., Oracevic, A., Salah, K., Hong, C. S., & Matulevičius, R. (2022). Blockchain-Based Digital Twins: Research Trends, Issues, and Future Challenges. *ACM Comput. Surv.*, 54(11s). <https://doi.org/10.1145/3517189>
- Thelen, A., Zhang, X., Fink, O., Lu, Y., Ghosh, S., Youn, B. D., Todd, M. D., Mahadevan, S., Hu, C., & Hu, Z. (2022). A comprehensive review of digital twin — part 1: modeling and twinning enabling technologies. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(12), 354. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03425-4>
- Urh, B. (2011). Predvidevanje uspešnosti poslovnega sistema z vidika obvladovanja učinkovitosti poslovnih procesov (Doktorska disertacija). Kranj: Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede.
- van Beek, A., Nevile Karkaria, V., & Chen, W. (2023). Digital twins for the designs of systems: a perspective. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 66(3), 49. <https://doi.org/10.1007/s00158-023-03488-x>
- van der Meulen, N., Mooney, J. G., & Beath, C. M. (2022). Digital in the Driver's Seat: Accelerating Toyota's Transformation to Mobility Services. MIT Center for Information Systems Research (CISR). [https://cisr.mit.edu/publication/MIT\\_CISRwp454\\_ToyotaMobilityServices\\_VanderMeulenMooneyBeath](https://cisr.mit.edu/publication/MIT_CISRwp454_ToyotaMobilityServices_VanderMeulenMooneyBeath)
- Vogelsang, K., Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Hoppe, U. (2018). Success factors for fostering a digital transformation in manufacturing companies. *Journal of Enterprise Transformation*, 8(1–2), 121–142. <https://doi.org/10.1080/19488289.2019.1578839>

- Wang, Y., Su, Z., Guo, S., Dai, M., Luan, T. H., & Liu, Y. (2023). A Survey on Digital Twins: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Future Prospects. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(17), 14965–14987. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3263909>
- Wu, G., & You, D. (2021). *Will enterprise digital transformation affect diversification strategy?* <https://arxiv.org/abs/2112.06605>
- Wu, S., & Li, Y. (2023). A Study on the Impact of Digital Transformation on Corporate ESG Performance: The Mediating Role of Green Innovation. *Sustainability*, 15(8), 6568. <https://doi.org/10.3390/su15086568>
- Xu, J., Naseer, H., Maynard, S. B., & Filippou, J. (2022). Leveraging Data and Analytics for Digital Business Transformation through DataOps: An Information Processing Perspective. *CoRR*, *abs/2201.09617*. <https://arxiv.org/abs/2201.09617>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S., & Tsung, F. (2019). The Internet of Things for Smart Manufacturing: A Review. *IIE Transactions*, 1–35. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Zeb, S., Mahmood, A., Hassan, S. A., Piran, M. D. J., Gidlund, M., & Guizani, M. (2022). Industrial digital twins at the nexus of NextG wireless networks and computational intelligence: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 200, 103309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103309>
- Zhou, L., Xia, Q., Sun, H., Zhang, L., & Jin, X. (2023). The Role of Digital Transformation in High-Quality Development of the Services Trade. *Sustainability*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054014>

# RECENZIJI





# Recenzija znanstvene monografije

## Vloga naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov

JANA HOJNIK

### **Ocena vsebine in tematske usmeritve monografije**

Znanstvena monografija z naslovom »Vloga naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov« predstavlja pomemben prispevek k literaturi na interdisciplinarnem področju proučevanja naprednih tehnologij in njihovo vlogo v inženiringu poslovnih sistemov. Monografija na sistematičen in celovit način prikaže ključne sodobne koncepte, ki so prepoznani v okolju Industrije 4.0 in tudi prihajajočih paradig. Obravnavana tematika je pomembna v luči spodbujanja konkurenčnosti slovenskih podjetij, razvoja strokovne in znanstvene discipline inženiringa poslovnih sistemov in nenazadnje tudi v luči doseganja okoljskih in trajnostnih ciljev slovenskega gospodarstva.

## **Ocena metodoloških pristopov**

Ocenjujem, da monografija v posameznih poglavjih izpolnjuje merila veljavnosti (npr. kredibilnost – ustreznost pridobljenih podatkov, posplošitev – kriterij objektivnosti) in zanesljivosti (npr. ponovljivost in konsistentnost raziskave). Posamezna poglavja v monografiji izhajajo iz predhodnih raziskav, na osnovi katerih avtorji gradijo na raziskovalnem načrtu, strategiji zbiranja podatkov in uporabljenih metodah. Raznolikost poglavij in vključenih raziskav terja uporabo različnih metodoloških pristopov, kar pravzaprav še dodatno obogati monografijo z vidika celovitosti vključenih metod. Z vidika pregleda literature in predhodnih spoznanj, se avtorji poslužujejo ključnih bibliografskih zbirk (npr. Web of Science, Scopus, Science Direct). V monografiji so vključene kvantitativne metode (zbiranje podatkov z anketnim vprašalnikom in statistična analiza podatkov), bibliometrična analiza s ciljem analize in vizualizacije podatkov iz podatkovne zbirke Scopus, metodologija modeliranja poslovnih procesov in oblikovanja digitalnih dvojčkov, metodologije ocenjevanja ergonomskih fizičnih obremenitev (npr. RULA, REBA in OWAS), metodologija izračuna ogljičnega odtisa, primerjalna analiza sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvodov ipd. Monografija kot celota je smiselno sestavljena z vidika predstavitve metodoloških izhodišč, uporabljenih metod zbiranja in analize podatkov.

## **Ocena sloga in drugih relevantnih lastnosti besedila**

Ocenjujem, da je slog pisanja ustrezen. Prav tako je struktura poglavij ustrezno zasnovana, vključujoč predstavitve posameznih teoretičnih izhodišč, modelov, konceptov in drugih pristopov, ki so vključeni v monografijo. Citiranje in navajanje virov je skladno s predpostavljenim standardom. Podajam mnenje, da monografija tehnično in oblikovno sledi ključnim napotkom za pripravo znanstvene monografije.

## **Ocena posameznih poglavij**

V uvodnem poglavju avtorji obravnavajo uporabo umetne inteligence pri planiranju proizvodnje v Sloveniji. Jelisaveta Kerović, Dušan Mežnar in Matjaž Roblek najprej predstavijo potencial uporabe umetne inteligence in rezultate anketnih vprašalnikov o uporabi v različnih organizacijskih sistemih. Avtorji v zaključku predstavijo glavne izzive in koristi uporabe umetne inteligence.

V drugem poglavju Timotej Hočevar, Eva Krhač Andrašec in Tomaž Kern predstavijo in povežejo pojma management poslovnih procesov in oblikovanje digitalnih dvojčkov. Prikažejo repozitorij poslovnega sistema ter izpostavijo izkušnje oblikovanja digitalnega dvojčka. Poglavje zaključijo s predlogom povezovanja repozitorija poslovnih sistemov in oblikovanja digitalnih dvojčkov.

V tretjem poglavju Žiga Debeljak, Matjaž Maletič in Damjan Maletič predstavijo vizualizacijo zemljevidov glede na omrežja, pridobljenih iz baz publikacij. Poglavje interpretira vizualizacijo zemljevidov in predstavi možno povezovanje naslednjih ključnih področij: obvladovanje premoženja, življenjski cikel in digitalni dvojčki. V zaključku avtorji povzamejo uporabnost digitalnih dvojčkov pri obvladovanju premoženja.

V četrtem poglavju Zvoneta Balantiča, Sofije Đoković in Branke Jarc Kovačič je vsebina osredotočena na ergonomski design pametne tovarne. Poglavje je usmerjeno v prikaz učinkov ocenjevalnih metod v ergonomski analizi. Avtorji predstavijo primer študije v laboratoriju IPPS na primeru dvigovanja in potiskanja bremen. Na koncu poglavja izpostavijo smisel celovite ergonomske ocene montažne linije.

Naslednje poglavje Petar Todorović, Marjan Senegačnik in Štefan Žun namenijo predstavitvi procesa izdelave plastičnega izdelka s pomočjo 3D tiskalnika. Izračunajo ogljični odtis izdelka in naredijo primerjavo z nastalim pri klasičnih metodah proizvodnje. Svoje misli strnejo s trditvijo, da je iz okoljskega vidika 3D tiskanje manj škodljivo.

V zaključnih poglavjih monografije avtorji predstavijo uporabo naprednih tehnologij v procesu razvoja proizvodov ter pregled ključnih dejavnikov uspeha digitalne transformacije in njenih tehnologij. David Jorgić, Tilen Medved in Benjamin Urh v šestem poglavju predstavijo razvoj proizvodov in napredne tehnologije v procesu razvoja novih proizvodov. Predstavijo namen in izzive implementacije naprednih tehnologij in zaključijo z interpretacijo prednosti uporabe naprednih tehnologij v procesu razvoja novih proizvodov. V zadnjem poglavju Tilen Medved in Eva Krhač Andrašec pozornost namenita ključnim dejavnikom uspeha digitalne transformacije. Najprej predstavita napredne tehnologije digitalne transformacije in dejavnike obvladovanja poslovnih procesov. Potem raziščeta izzive in uspešne implementacije

digitalne transformacije. Na koncu poglavje strneta s povzetkom ključnih dejavnikov uspeha digitalne transformacije.

### **Ocena koristi monografije za ključne strokovne javnosti**

Monografija bo nedvomno koristila strokovnjakom na obravnavanih področjih, pedagogom, raziskovalcem, študentom, managerjem, odločevalcem in drugi zainteresirani javnosti. Vsled navedenega menim, da je izdaja monografije pomembna za širšo javnost in strokovnjake, ki se pri svojem delu srečujejo z uvajanjem sodobnih pristopov, konceptov in tehnologij v poslovna okolja. Monografija je uporabna tako v akademske namene kot tudi v strokovne namene, saj prinaša vrsto napotkov in usmeritev, ki bodo v pomoč strokovnjakom, ki se srečujejo s problematiko izboljševanja organizacijskih sistemov in preobrazbe le-teh, še zlasti s pomočjo uporabe sodobnih tehnologij. Relevantnost monografije je še posebej izrazita z vidika povezovanja sodobnih tehnologij in konceptov s področjem managementa. V tem pogledu monografija bralcem z različnih področij in disciplin približa vpogled v kompleksne koncepte in prihajajoče trende.



# Recenzijski pregled. Znanstvena monografija z naslovom "Vloga naprednih tehnologij v inženiringu poslovnih sistemov"

TATJANA KOVAČ

Znanstvena monografija obravnava napredne tehnologije in njihovo vlogo v inženiringu poslovnih sistemov.

V prvem poglavju avtorji obravnavajo uporabo umetne inteligence (AI) pri planiranju proizvodnje v Sloveniji. Avtorji Jelisaveta Kerović, Dušan Mežnar in Matjaž Roblek poudarijo potencial uporabe umetne inteligence, ki je kot del iniciative industrije 4.0 vgrajena v proizvodne sisteme za podporo procesov planiranja, vodenja in izvajanja, in prevzema pobudo in odgovornost za sprejemanje odločitev v realnem času. Cilj raziskave je bil odkriti prisotnost uporabe umetne inteligence v procesih planiranja proizvodnje v slovenskih podjetjih. V prispevku so predstavljeni rezultati dveh anketnih vprašalnikov o uporabi AI v 21 podjetjih v Sloveniji. Ugotovljeno je, da 24% anketiranih podjetij uporablja AI, ostala nimajo ustreznih strokovnjakov ali ne vidijo koristi od uporabe AI pri planiranju

proizvodnje. Avtorji na koncu predstavijo glavne koristi uporabe umetne inteligence in podajo predloge za boljšo implementacijo AI v poslovno okolje. Nadaljnje raziskovanje bi lahko poseglo na področje ugotavljanja razmer v tujini in evidentiranja dobrih praks.

Naslednji dve poglavji avtorji namenijo predstavitvi osnov za vzpostavitev digitalnega dvojčka in njegove vloge pri obvladovanju premoženja.

V drugem poglavju z naslovom Model poslovnega sistema kot osnova za vzpostavitev digitalnega dvojčka, avtorji Timotej Hočevnar, Eva Krhač Andrašec in Tomaž Kern povežejo management poslovnih procesov in oblikovanje digitalnih dvojčkov. Glavni namen raziskave je bil preučiti možnost vzpostavitve digitalnega dvojčka na izbranem primeru organizacijskega sistema. V nadaljevanju avtorji prikažejo repositorij organizacijskega sistema ter izkušnje oblikovanja digitalnega dvojčka. V raziskavi je uporabljena primerna metodologija za doseg postavljenih ciljev. Avtorji ugotavljajo, da je za ustrezno vzpostavitev digitalnega dvojčka najprej potrebna procesna tehnologija ter jasno in pravilno definirani poslovni procesi, saj drugače pride do neusklajenosti med realnim (fizičnim) sistemom in digitalnim modelom. Zaključijo s predlogom vključevanja modelov poslovnih sistemov v oblikovanje digitalnih dvojčkov ter podajo smernice za nadaljnje raziskovanje.

Tretje poglavje avtorjev Žige Debeljaka, Matjaža Maletiča in Damjana Maletiča predstavi vizualizacije zemljevidov na osnovi omrežij iz multidisciplinarnih zbirk. Poglavje prikaže in interpretira vizualizacije zemljevidov ter poveže obvladovanje premoženja, življenjski cikel in digitalne dvojčke. Glavna ugotovitev raziskave je, da se lahko digitalni dvojčki kot inovativna tehnologija smatrajo za koncept z visokim potencialom za obvladovanje življenjskega cikla premoženja. Z zmožnostjo simuliranja operativnih procesov ter spremljanjem in analiziranjem podatkov v realnem času digitalni dvojčki omogočajo inteligentnejše odločanje in napovedovanje, kar lahko prispeva k izboljšanju učinkovitosti, zmanjšanju stroškov in povečanju zadovoljstva strank. Na koncu poglavje povzame napovedi in pričakovanja glede uporabnost digitalnih dvojčkov pri obvladovanju premoženja. Izziv za nadaljevanje raziskovanja je lahko možnost povezovanja DT z drugimi sodobnimi tehnologijami, kot je AI in IoT.

V naslednjem poglavju se avtorji osredotočijo na ergonomski design pametne tovarne. Poglavje avtorjev Zvoneta Balantiča, Sofije Đoković in Branke Jarc Kovačič je osredotočeno na učinke ocenjevalnih metod v ergonomski analizi. Predstavljen je primer eksperimenta v laboratoriju IPPS na primeru dvigovanja in potiskanja bremen. Glavni cilj raziskave je bil raziskati možno sinergijo med dvema metodama za prepoznavanje kritičnih telesnih drž v delovnem procesu ter izboljšati razumevanje ergonomskih dejavnikov v delovnem okolju. Rezultati raziskave na osnovi metod OWAS in KIM kažejo na možnost optimizacije delovnih postopkov in oblikovanja ergonomskih delovnih mest na montažni liniji. Zaključek poglavja izpostavlja potrebo po stalnem izboljševanju ergonomije delovnega okolja, s čimer se ustvarijo pogoji za dolgoročno zdravje in zadovoljstvo delavcev, kar pa pozitivno vpliva tudi na uspešnost podjetja.

Peto poglavje, avtorji Petar Todorović, Marjan Senegačnik in Štefan Žun, z naslovom Ogljični odtis izdelave plastičnega izdelka na 3D tiskalniku namenijo raziskavi okoljskega vpliva 3D tiskanja. Študija vključuje primerjalno oceno med 3D tiskanjem in alternativnimi metodami proizvodnje z namenom ugotavljanja okoljskih vplivov. Avtorji zaključijo, da je 3D tiskanje z okoljskega vidika manj škodljivo, izpostavijo pa tudi druge prednosti in slabosti metode v primerjavi s klasično proizvodnjo. Glede na intenzivnost razvoja materialov za 3D tiskalnice, bi veljalo raziskavo ponoviti čez nekaj let.

Zadnji dve poglavji znanstvene monografije avtorji namenijo uporabi naprednih tehnologij v procesu razvoja proizvodov ter zaključijo s pregledom njihovih ključnih dejavnikov uspeha.

David Jorgić, Tilen Medved in Benjamin Urh predstavijo razvoj novih proizvodov in vključitev napredne tehnologije v proizvodni proces. Razvoj novih proizvodov je povezan s tveganjem, ki ga je mogoče zmanjšati z uporabo referenčnih modelov razvoja novih proizvodov, razvoj le-teh avtorji tudi predstavijo. Nato pregledajo namen in izzive implementacije naprednih tehnologij. Na podlagi pridobljenih spoznanj raziskovanja se poglavje zaključí v obliki SWOT analize uporabe sodobnih tehnologij v procesu razvoja proizvodov.

V zadnjem poglavju se Tilen Medved in Eva Krhač Andrašec osredotočita na ključne dejavnike uspeha digitalne transformacije. Predstavita večdimenzionalnost digitalne transformacije, upoštevajoč sodobne tehnologije od umetne inteligence do digitalnih dvojčkov in prehoda na pametne tovarne, v različnih sektorjih. Digitalna transformacija je opredeljena kot sprememba ali premik v operativnih in strateških okvirih, gre za spreminjanje kulture v smeri nenehnega eksperimentiranja in odprtosti za napake. Avtorja predstavita napredne tehnologije digitalne transformacije in ključne dejavnike obvladovanja poslovnih procesov. Raziščeta izzive digitalne transformacije in predstavita njene uspešne implementacije. Poglavje zaključita s povzemanjem ključnih dejavnikov uspeha digitalne transformacije. Ključni dejavniki za uspešno implementacijo digitalne transformacije so še vedno gonilni dejavnik mnogih podjetij v industriji 4.0, zato je njihovo poznavanje vse bolj pomembno.

Poglavja monografije so smiselno razporejena glede na obravnavano tematiko. Besedilo je ustrezno in na nivoju znanstvenega besedišča. Grafični elementi, kot so slike, tabele in grafikoni, so ustrezno oblikovani. Literatura in viri so ustrezni in dovolj sodobni.

Končna ocena

Gradivo je primerno za izdajo kot znanstvena monografija.

# O AVTORJIH





## Zvone Balantič

je doktoriral na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani in je redni profesor na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede, habilitiran za področje Človek v delovnem procesu. Njegovo raziskovalno področje izhaja iz proučevanja alternativnih virov energije in pretoka zraka v človekovem dihalnem sistemu. Raziskuje na interdisciplinarnem področju ergonomije in sodeluje s strokovnimi skupinami domačih in tujih znanstvenih institutov. Aktivno objavlja znanstvena in strokovna dela, aplikativne rešitve iz področja človeških faktorjev pa so vključene v poslovne sisteme mnogih podjetij. Je dolgoletni predstojnik Katedre za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov in mentor številnim diplomantom in doktorandom, ki jim predava na vseh treh stopnjah študija.

received his PhD from the Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana. He is a full professor at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, habilitated in Man in the Work Process. His research area stems from studying alternative energy sources and airflow in the human respiratory system. She conducts research in the interdisciplinary field of ergonomics and collaborates with expert groups of domestic and foreign scientific institutes. It actively publishes scientific and professional papers and applied solutions in the field of human factors, which are often included in the business systems of many companies. He is a long-time head of the Department of Enterprise Engineering and a mentor to many graduates and doctoral students, to whom he lectures at all three levels of study.

## Žiga Debeljak

je leta 2020 končal šolanje na Srednji šoli za strojništvo - Šolski center Škofja Loka. Študij je nadaljeval na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Trenutno zaključuje dodiplomski študij na programu Inženiring poslovnih sistemov. V podjetju, ki se ukvarja pretežno z avtomobilsko industrijo je zaposlen kot študent v oddelku logistike. V prostem času se ukvarja z različnimi športi, še posebej ljubi mu je nogomet. Rad se tudi samostojno izobražuje glede podjetništva in ekonomije. graduated from the Secondary School of Mechanical Engineering - School Center Škofja Loka in 2020. He continued his studies at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. He is currently completing his undergraduate studies in Enterprise Engineering. He is employed as a student in the logistics department of a company that operates mainly in the automotive industry. In his free time, he

enjoys various sports, especially football. He also enjoys studying business and economics.

## Sofija Đoković

je leta 2020 zaključila Gimnazijo v Kraljevu, Srbija, in trenutno nadaljuje študij na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Uspešno je zaključila dodiplomski študij na programu Inženiring poslovnih sistemov. Od nekdaj jo navdušuje povezovanje tehnologije in človeških dejavnikov, zato jo je še posebej pritegnila ergonomija, ki proučuje metode izboljševanja delovnega okolja. Na univerzitetnem programu je diplomirala s temo Ergonomska analiza oskrbovalca delovnih mest z materialom v podjetju X. V tem izzivu je lahko uporabila znanje, pridobljeno med študijem, in ga nadgradila s praktično analizo, usmerjeno v izboljšanje delovnih pogojev ter učinkovitost oskrbovanja delovnih mest z materiali.

graduated from the Gymnasium in Kraljevo, Serbia, in 2020 and is currently continuing her studies at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. She completed her undergraduate studies in the Enterprise Engineering program. She has always been fascinated by the integration of technology and human factors, which is why she was particularly attracted to ergonomics, which examines methods of improving the working environment. She graduated from the university program with the thesis Ergonomic Analysis of Material Supply Workers in Company X. In this challenge; she could use the knowledge gained during her studies and upgrade it with practical analysis to improve working conditions and the efficiency of supplying workplaces with materials.

## Timotej Hočevar

je leta 2020 končal Gimnazijo Jožeta Plečnika v Ljubljani. Študij je nadaljeval na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Zaključuje dodiplomski študij na programu Inženiring poslovnih sistemov. Diplomsko delo v nastajanju nosi naslov »Uporaba digitalnih dvojčkov za uspešno obvladovanje poslovnih sistemov v slovenskih podjetjih«. Navdušen nad športom, Timotej veliko prostega časa preživi telesno aktiven. Med prostim časom se posveča raziskovanju svetovne politike in globalnih trendov, saj ga zanimajo širši konteksti, ki oblikujejo prihodnost gospodarstva in tehnologije.

graduated from the Gimnazija Jože Plečnik in Ljubljana in 2020. He continued his studies at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. He is completing his undergraduate studies in the Enterprise Engineering program. The



thesis he is currently working on is entitled "Use of digital twins for successful management of business systems in Slovenian companies." Enthusiastic about sports, Timotej spends much of his free time physically active. In his spare time, he devotes himself to researching world politics and global trends, as he is interested in the broader contexts that determine the future of business and technology.

## **Branka Jarc Kovačič**

je diplomirala iz kemijske tehnologije na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, Univerze v Ljubljani. Leta 2005 je magistrirala s področja ekološkega managementa na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Na Višji strokovni šoli je nosilka predmetnih področij varstva pri delu in varovanja okolja. Opravlja tudi naloge organizatorice praktičnega izobraževanja študentov. S Fakulteto za organizacijske vede sodeluje od leta 2016 dalje. Kot zunanja sodelavka z nazivom predavateljica za predmetno področje »inženiring poslovnih in delovnih sistemov« sodeluje pri izvajanju vaj za študente dodiplomskega študija pri predmetih Ergonomija, Človek v delovnem procesu in Varstvo okolja.

holds a degree in Chemical Technology from the Faculty of Natural Sciences and Technology at the University of Ljubljana. In 2005, she earned a master's in Environmental Management from the Faculty of Organizational Sciences at the University of Maribor. She currently serves as a lecturer at the Higher Vocational College, specializing in Occupational Safety and Environmental Protection, where she also coordinates practical training for students. Since 2016, she has worked with the Faculty of Organizational Sciences as an external lecturer in the "Business and Work Systems Engineering." She conducts practical sessions for undergraduate students in Ergonomics, Human in the Work Process, and Environmental Protection.

## **David Jorgić**

je leta 2021 maturiral na Gimnaziji Šentvid v Ljubljani. Študij je nadaljeval na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Trenutno zaključuje dodiplomski študij na programu Inženiring poslovnih sistemov. Motiv za diplomsko nalogo, ki je v procesu ustvarjanja je dobil pri sodelovanju z mentorjem in somentorjem, kjer je raziskoval o temi, ki bi lahko imela revolucionarni vpliv na globalno proizvodnjo in posledično na ekonomijo. V prostem času se ukvarja z izobraževanjem o strokovnih vsebinah, ki pritegnejo njegovo pozornost in se navezujejo na aktualno dogajanje po svetu - ekonomija in podjetništvo.

graduated from the Gimnazija Šentvid in Ljubljana in 2021. He continued his studies at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. He is currently completing his undergraduate studies in the Enterprise Engineering program. He got the inspiration for his thesis, which is currently being created while collaborating with his mentor and co-mentor, where he was researching a topic that could have a revolutionary impact on global production and, consequently, on the economy. In his free time, he is engaged in education on professional topics that attract his attention and are related to current events in the world - economics and entrepreneurship.

## **Tomaz Kern**

je redni profesor na področju organizacije in informatike. Je diplomirani inženir strojništva, magister informatike in doktor s področja organizacijskih znanosti. Od leta 1990 je redno zaposlen na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru. Predava management poslovnih procesov in multiprojektne management. Vodi laboratorij za Inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov. Bil je prodekan in predstojnik Inštituta. Bil je prorektor in član upravnega odbora univerze. Trenutno je član senata univerze. Tomaz Kern je avtor ali soavtor več kot 500 člankov in drugih publikacij, vabljeni predavatelj na mednarodnih konferencah in vodja raziskovalnih projektov. Vodil je tudi projekte na področju BPM in PM v gospodarstvu in ustanovah. Je ustanovni član slovenskega združenja PMI.

is a full professor in organization and informatics. He has a degree in mechanical engineering, a master's degree in informatics, and a doctorate in organizational sciences. Since 1990 he has been employed at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor. He lectures on business process management and multi-project management. He runs the Laboratory of Enterprise Engineering. He was vice-dean and head of the Institute, vice-rector, and a member of the university's board. He is a member of the University Senate. Tomaz Kern is the author or co-author of more than 500 articles and other publications, and invited lecturer at international conferences, and a leader of research projects. He has also led projects in BPM and PM in many companies. He is a founding member of the Slovenian PMI association.

## **Jelisaveta Kerović**

je leta 2021 zaključila Gimnazijo v Bijeljini, Bosna in Hercegovina. Trenutno nadaljuje študij na Ekonomski fakulteti v Ljubljani. Letos je uspešno zaključila

dodiplomski študij na programu Inženiring poslovnih sistemov-Fakulteta za organizacijske vede v Kranju. Navdušujejo jo sodobne tehnologije in njihova vloga pri optimizaciji poslovnih procesov, kar jo je spodbudilo k raziskovanju umetne inteligence. Tema njene diplomske naloge nosi naslov Vključitev tehnologij umetne inteligence v procese planiranja proizvodnje. S tem projektom je združila teoretično znanje in praktične izkušnje ter se osredotočila na dosedanje implementacije naprednih tehnoloških rešitev in natančnosti proizvodnega planiranja v slovenskih in srbskih podjetjih.

graduated from the Gymnasium in Bijeljina, Bosnia and Herzegovina, in 2021. She is continuing her studies at the School of Economics and Business in Ljubljana. This year, she completed her undergraduate studies in the Enterprise Engineering program at the Faculty of Organizational Sciences in Kranj. She is fascinated by modern technologies and their role in optimizing business processes, which has encouraged her to research artificial intelligence. The topic of her diploma thesis is entitled The presence of artificial intelligence technologies in production planning processes. With this project, she combined theoretical knowledge and practical experience. She focused on implementing advanced technological solutions and the accuracy of production planning in Slovenian and Serbian companies.

## Eva Krhač Andrašec

je docentka na Katedri za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov. Doktorat znanosti z naslovom »Vpliv uporabe metod in tehnik izboljševanja poslovnih procesov na učinkovitost organizacijskih sistemov« je uspešno zagovarjala februarja 2023 na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Študijsko pot je pričela na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede, kjer je leta 2016 zaključila magistrski študij »Organizacija in management poslovnih in delovnih sistemov«. Njena primarna raziskovalna področja sta management poslovnih procesov in management kakovosti. Aktivno sodeluje na mednarodnih znanstvenih konferencah in raziskovalnih projektih ter je soavtorica več znanstvenih člankov, objavljenih v mednarodnih revijah.

is an assistant professor at the Department of Enterprise Engineering. She successfully defended her doctoral dissertation titled "Business process improvement methods and techniques and their impact on the efficiency of organizational systems" in February 2023 at the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. She started her academic path at the same institution, earning a master's degree in Organization and Management of Business and Work

Systems in 2016. Her primary research areas include business process management and quality management. She actively participates in international scientific conferences and research projects and is a co-author of several scientific articles published in international journals.

## Damjan Maletič

(<https://orcid.org/0000-0002-6871-2720>) je docent na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru. Je tudi član Evropskega odbora za obvladovanje premoženja (EAMC) pri Evropskem združenju nacionalnih društev vzdrževalcev (EFNMS) in član Mednarodnega združenja za obvladovanje premoženja (ISEAM). Njegova interesna področja so: obvladovanje premoženja, management vzdrževanja in kakovosti. Diplomiral je na oddelku za lesarstvo (Univerza v Ljubljani) in Fakulteti za organizacijske vede (Univerza v Mariboru). Na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru je doktoriral s področja managementa kakovosti.

(<https://orcid.org/0000-0002-6871-2720>) is an Assistant Professor at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor. He is also a member of European Asset Management Committee (EAMC) at the European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS) and a member of International Society of Engineering Asset Management (ISEAM). His areas of interest are: asset management, maintenance and quality management. He holds a bachelor degree in Wood Science and Technology (University of Ljubljana) and Organization (University of Maribor). He obtained his PhD degree in Quality Management from the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences.

## Matjaž Maletič

(<https://orcid.org/0000-0002-3845-744X>) je docent na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru. Njegovi raziskovalni interesi se osredotočajo na boljše razumevanje procesa razvoja in uvajanja sistemov managementa, zlasti v povezavi s standardizacijo in s ciljem reševanja širših trajnostnih poslovnih izzivov. Sisteme managementa povezuje z različnimi raziskovalnimi paradigmami, kot so kakovost, inovativnost in obvladovanje premoženja. Doktoriral je s področja menedžmenta kakovosti na Univerzi v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede. Sodeloval je pri več raziskovalnih projektih in je član različnih strokovnih združenj, vključno s tehničnim odborom Slovenskega inštituta za standardizacijo.

(<https://orcid.org/0000-0002-3845-744X>) is an Assistant Professor at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor. His research interests focus on

better understanding the process of developing and deploying management systems, particularly in relation to standardization and with the goal of solving broader sustainable business challenges. He intends to link management systems to different research paradigms such as quality, innovation and asset management. He obtained his PhD degree in Quality Management from the University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences. He has been involved in several research projects and is a member of various professional associations, including the technical committee of the Slovenian Institute for Standardization.

## **Tilen Medved**

je asistent na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru, na področju Inženiringa poslovnih sistemov. Diplomiral in magistriral je na Fakulteti za organizacijske vede, Univerze v Mariboru, iz tem, povezanih s področjem ergonomije. Trenutno je doktorski študent programa Organizacija in management poslovnih in delovnih sistemov na zgoraj navedeni fakulteti, kjer povezuje področji ergonomije in rotacije delovnih mest. V obdobju celotnega študija in zaposlitve aktivno sodeluje pri raziskovalnih projektih, na mednarodnih konferencah in v sistemu tutorstva.

is an assistant at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor, in the field of Enterprise Engineering. He obtained his bachelor's and master's degrees from the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor, in topics related to the field of ergonomics. He is currently a doctoral student in the Organization and Management of Business and Work Systems program at the above-mentioned faculty, where he combines the fields of ergonomics and job rotation. During his studies and employment, he actively participates in research projects, international conferences and as a tutor.

## **Dušan Mežnar**

rojen leta 1961 v Mariboru, je večji del svoje kariere posvetil upravljanju in prestrukturiranju nekaterih največjih slovenskih podjetij, kot so Paloma, Slovenske železarne, TAM, Nama in Lesna. Njegova glavna področja delovanja vključujejo prevzeme podjetij ter njihovo prestrukturiranje. Sodeloval je na številnih mednarodnih konferencah ter objavil več kot 80 znanstvenih člankov, predvsem na teme, kot so management preobratov, krizno upravljanje, prestrukturiranje podjetij in upravljanje oskrbovalnih verig. Od leta 2017 predava na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru ter tudi na nekaterih poslovnih šolah kjer

poučuje predmete s področja upravljanja oskrbovalnih verig ter proizvodnih in poslovnih sistemov.

born in Maribor in 1961, has dedicated most of his career to managing and reorganising some of the largest Slovenian companies, such as Paloma, Slovenske železarne, TAM, Nama and Lesna. His main areas of expertise include corporate takeovers and reorganisations. He has participated in numerous international conferences and published more than 80 academic articles, mainly on topics such as turnaround management, crisis management, corporate restructuring and supply chain management. Since 2017, he has been teaching at the Faculty of Organizational Sciences at the University of Maribor and at several business schools, where he lectures on supply chain management and production and business systems.

## **Matjaž Roblek**

je po izobrazbi doktor organizacijskih znanosti. Od leta 1996 se ukvarja z razvojem, planiranje in informatiko oskrbovalnih verig. Je habilitiran kot docent za področje inženiringa poslovnih in delovnih sistemov na Univerzi v Mariboru. Sodeloval je na več raziskovalnih in aplikativnih projektih s področja razvoja informacijskih sistemov za planiranje proizvodnje. Od leta 2018 je zaposlen v gospodarstvu kot direktor oskrbovalnih verig v večjem slovenskem podjetju.

holds a Ph.D. in organizational sciences. Since 1996 he has been working on supply chain development, planning, and informatics. He is a habilitated assistant professor in the field of business and work systems engineering at the University of Maribor. He has participated in many research and applied projects in the field of information systems for production planning. Since 2018, he has been working in the business sector as a supply chain manager in a large Slovenian company.

## **Marjan Senegačnik**

je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani. Na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru je zaposlen od leta 1996. Njegovo raziskovalno delo je usmerjeno na področje fizikalne in biofizikalne kemije raztopin kot tudi na področje varstva okolja. Na področju varstva okolja se je predvsem ukvarjal z okolijskimi vidiki razvoja proizvodov kot tudi s problematiko obremenjevanja ozračja s trdnimi delci in njihovimi vplivi na zdravje.

holds a Bachelor's degree, Master's degree and PhD from the Faculty of Chemistry and Chemical Technology, University of Ljubljana. Since 1996 he has been

employed at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor. His research interests include physical and biophysical solution chemistry and environmental protection. In the field of environmental protection he has worked mainly on the environmental aspects of product development and on particulate matter air pollution and its impact on health.

## Petar Todorović

je srednjo šolo zaključil leta 2019 v Črni gori in trenutno študira na magistrskem študiju na Fakulteti za organizacijske vede v Kranju. Leta 2024 je zaključil dodiplomski študij programa Inženiring poslovnih sistemov. Kreativnost, inovacije, izboljšave poslovnih procesov in nove tehnologije so ga vedno zanimale. Ta zanimanja so ga spodbudila, da je v diplomskem delu opisal proces proizvodnje izdelkov s pomočjo tehnologije 3D tiskanja, s poudarkom na ogljičnem odtisu procesa in njegovem vplivu na okolje. Pridobljeno znanje mu je omogočilo, da je ustvaril 3D izdelek in izračunal ogljični odtis tega izdelka.

completed high school in 2019 in Berane, Montenegro, and is currently pursuing a master's degree at the Faculty of Organizational Sciences in Kranj. In 2024, he completed his undergraduate studies in the program of Enterprise Engineering. Creativity, innovations, business processes improvement and new technologies have always been his main interests. These interests motivated him to describe the production process of products using the new technology of 3D printing in his thesis, with an emphasis on the carbon footprint of this process and its impact on the environment. The gained knowledge enabled him to independently create a 3D product and calculate the carbon footprint for that specific product.

## Benjamin Urh

je docent za področje inženiringa poslovnih in delovnih sistemov. Od leta 2001 je redno zaposlen na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru. Predava o razvoju novih produktov in produkcijskih procesov ter managementu produkcijskih procesov. Aktivno sodeluje na mednarodnih znanstvenih konferencah in raziskovalnih projektih in je avtor ali soavtor več kot sto znanstvenih in strokovnih člankov in prispevkov. Poleg tega izvaja raziskovalno delo v okviru Laboratorija za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov, predvsem pri razvoju novih izdelkov in obvladovanju poslovnih procesov.

is an assistant professor in the field of Business and Work Systems Engineering. Since 2001, he has been a full-time employee of the University of Maribor, Faculty

of Organizational Sciences. He lectures on new products and production processes development and production processes management. He actively participates in international scientific conferences and research projects and is the author or co-author of more than a hundred scientific and professional articles and papers. In addition, he conducts research work within the Laboratory of Enterprise Engineering, especially in new product development and business process management.

## Štefan Žun

je diplomiral na Fakulteti za strojništvo v Mariboru, interdisciplinarni magistrski študij varstva okolja je zaključil na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, na Filozofski fakulteti v Ljubljani je pridobil znanstveni naziv doktor znanosti. Kot predavatelj je zaposlen na višji strokovni šoli na Šolskem centru Kranj, v programih mehatronika, elektroenergetika in varovanje, predava tudi na programu strojništvo. Leta 2022 je bil prvič izvoljen v naziv predavatelj za predmetno področje Inženiring poslovnih in delovnih sistemov. Znanstveno raziskovalna dela in strokovna dela publicira v revijah, monografijah, zbornikih mednarodnih in domačih znanstvenih ter strokovnih konferenc in so tako dostopna širši znanstveni in strokovni javnosti.

graduated from the Faculty of Mechanical Engineering in Maribor, completed an interdisciplinary master's degree in environmental protection at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana, and obtained the scientific title of Doctor of Science from the Faculty of Arts in Ljubljana. He is employed as a lecturer at the higher professional school at the School Center Kranj, in the programs of mechatronics, electrical energy and security, he also teaches in the program of mechanical engineering. In 2022, he was elected for the first time to the title of lecturer for the subject area of Business and Work Systems Engineering. Scientific research works and professional works are published in magazines, monographs, proceedings of international and domestic scientific and professional conferences, and are thus accessible to a wider scientific and professional public.



# VLOGA NAPREDNIH TEHNOLOGIJ V INŽENIRINGU POSLOVNIH SISTEMOV

EVA KRHAČ ANDRAŠEC, BENJAMIN URH (UR.)

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija  
eva.krhac1@um.si, benjamin.urh@um.si

Poslovni sistemi se konstantno soočajo z neprestano potrebo po organizacijskih spremembah, da bi v spreminjajočem poslovnem okolju ostali še naprej učinkoviti, uspešni in konkurenčni. Ena od možnih poti je uporaba naprednih tehnologij, razvitih z namenom uporabe velike količine dostopnih podatkov, da bi olajšali delo in izboljšali poslovanje poslovnih sistemov. V ta namen avtorji v svojih poglavjih predstavljajo osnove različnih naprednih tehnologij. Na podlagi pregledov literature in izvedenih raziskav bralcem približajo možnosti praktične uporabe naprednih tehnologij v različnih poslovnih sistemih. V svojih poglavjih avtorji razpravljajo o potencialih in trenutnih izzivih uporabe napredne tehnologije. Med ključne dejavnike uspeha napredne tehnologije uvrščajo vodenje, celovito strategijo, organizacijsko strukturo in kulturo, sodelovanje vseh deležnikov ter pripravljenost na učenje in upoštevanje dobrih praks. Samo z dobrim razumevanjem potenciala naprednih tehnologij in ob natančnem upoštevanju smernic za uporabo lahko pričakujemo, da bo napredna tehnologija uspela izboljšati poslovne sisteme.

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Ključne besede:**  
organizacija,  
poslovni procesi,  
razvoj,  
trajnost,  
napredne tehnologije,  
umetna inteligenca,  
digitalni dvojčki,  
pametna tovarna,  
ključni dejavniki



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

DOI  
[https://doi.org/  
10.18690/um.fov.1.2025](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025)

ISBN  
978-961-286-947-2

**Keywords:**

organization,  
business processes,  
development,  
sustainability,  
advanced technologies,  
artificial intelligence,  
digital twins,  
smart factory,  
key indicators

# THE ROLE OF ADVANCED TECHNOLOGIES IN ENTERPRISE ENGINEERING

EVA KRHAČ ANDRAŠEC, BENJAMIN URH (EDS.)

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia  
[eva.krhac1@um.si](mailto:eva.krhac1@um.si), [benjamin.urh@um.si](mailto:benjamin.urh@um.si)

Business systems are constantly confronted with the permanent need to make organizational changes in order to remain efficient, successful, and competitive in a changing business environment. One of the possible ways is the use of advanced technologies developed to utilize a large amount of available data to facilitate the work and improve the operations of business systems. For this purpose, the authors present the basics of various advanced technologies in their chapters. Based on literature reviews and research conducted, the reader is introduced to the possibilities of the practical use of advanced technologies in various business systems. In their chapters, the authors discuss the potential and current challenges of using advanced technologies. Authors classify the key success indicators of advanced technologies as leadership, comprehensive strategy, organizational structure and culture, cooperation of all stakeholders, and willingness to learn and adopt best practices. Only with a good understanding of the potential of advanced technologies and by closely following the application guidelines advanced technology can be expected to succeed in improving business systems.



University of Maribor Press





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za organizacijske vede

Monografija bo nedvomno koristila strokovnjakom na obravnavanih področjih, pedagogom, raziskovalcem, študentom, managerjem, odločevalcem in drugi zainteresirani javnosti. Vsled navedenega menim, da je izdaja monografije pomembna za širšo javnost in strokovnjake, ki se pri svojem delu srečujejo z uvajanjem sodobnih pristopov, konceptov in tehnologij v poslovna okolja. Monografija je uporabna tako v akademske namene kot tudi v strokovne namene, saj prinaša vrsto napotkov in usmeritev, ki bodo v pomoč strokovnjakom, ki se srečujejo s problematiko izboljševanja organizacijskih sistemov in preobrazbe le-teh, še zlasti s pomočjo uporabe sodobnih tehnologij. Relevantnost monografije je še posebej izrazita z vidika povezovanja sodobnih tehnologij in konceptov s področjem managementa. V tem pogledu monografija bralcem z različnih področij in disciplin približa vpogled v kompleksne koncepte in prihajajoče trende.

Izr. prof. dr. Jana **Hojnik**  
**Univerza na Primorskem**

Znanstvena monografija obravnava napredne tehnologije in njihovo vlogo v inženiringu poslovnih sistemov. Poglavlja monografije so smiselno razporejena glede na obravnavano tematiko. Besedilo je ustrezno in na nivoju znanstvenega besedišča.

Doc. dr. Tatjana **Kovač**  
**Fakulteta za komercialne in poslovne vede**

