



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

Matjaž
Maletič

UREDNIKA

Benjamin
Urh



SODOBNI PRISTOPI INŽENIRINGA poslovnih sistemov



Univerza v Mariboru

Fakulteta za organizacijske vede

Sodobni pristopi inženiringa poslovnih sistemov

Urednika

Matjaž Maletič

Benjamin Urh

September 2022

Naslov <i>Title</i>	Sodobni pristopi inženiringa poslovnih sistemov <i>Modern Approaches to Enterprise System Engineering</i>
Urednika <i>Editors</i>	Matjaž Maletič (Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede) Benjamin Urh (Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede)
Recenzija <i>Review</i>	Barbara Bradač Hojnik (Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta) Judita Peterlin (Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta) Mitja Cerovšek (Fakulteta za industrijski inženiring)
Jezikovni pregled <i>Language editing</i>	Milena Ilić Šter
Tehnična urednika <i>Technical editors</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba) Dunja Legat (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Grafika na ovitku <i>Cover graphic</i>	Technology, avtor: tungnguyen0905, Pixabay.com, CC0, 2022
Grafične priloge <i>Graphic material</i>	Avtorji prispevkov in Kljajič Borštinar, Pucihar, 2022
Založnik <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si
Izdajatelj <i>Issued by</i>	Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede Kidričeva cesta 55 A, 4000 Kranj, Slovenija https://www.fov.um.si , dekanat.fov@um.si
Izdaja <i>Edition</i>	Prva izdaja
Vrsta publikacije <i>Publication type</i>	E-knjiga
Dostopno na <i>Available at</i>	http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/713
Izdano <i>Published at</i>	Maribor, september 2022



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

Besedilo/ Text © avtorji in Maletič, Urh 2022

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.*

Uporabnikom se dovoli 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, je tudi dovoljena komercialna uporaba.

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/>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

658.5(082) (0.034.2)

SODOBNI pristopi inženiringa poslovnih sistemov [Elektronski vir] /
urednika Matjaž Maletič, Benjamin Urh. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor
: Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2022

Način dostopa (URL): <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/713>

ISBN 978-961-286-641-9 (PDF)

doi: 10.18690/um.fov.7.2022

COBISS.SI-ID 121537027

ISBN 978-961-286-641-9 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.fov.7.2022>

Cena
Price Brezplačni izvod

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

Citiranje Maletič, M., Urh, B. (ur.). (2022). *Sodobni pristopi inženiringa*
Attribution poslovnih sistemov. Maribor: Univerzitetna založba. doi:
10.18690/um.fov.7.2022

Kazalo

Uvodnik <i>Foreword</i> Matjaž Maletič, Benjamin Urh	1
Digitalna transformacija multiprojektnega okolja v podjetjih in ustanovah <i>Digital Transformation of Multi Project Environment in Companies and Institutions</i> Tomaž Kern, Benjamin Urh	7
Management razvoja izdelka in oskrbovalnih verig z uporabo funkcionalne analize <i>Product Development and Supply Chain Management Using Functional Analysis</i> Dušan Mežnar, Marjan Senegačnik	37
Spreminjanje obsega standardizacije na področju razvoja novih produktov <i>Changing Standardization Scope in the Field of New Product Development</i> Benjamin Urh, Dušan Mežnar	73
Vpliv formalizacije v razvojnih procesih na profitabilnost podjetja <i>The Impact of Formalization on Profitability in Development Processes</i> Maja Zajec, Matjaž Roblek	105
Sodobni izzivi obvladovanja premoženja v kontekstu ohranjanja konkurenčne prednosti <i>Contemporary Challenges of Asset Management in the Context of Maintaining Competitive Advantage</i> Damjan Maletič, Matjaž Maletič	143
Ključni kazalniki učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja: izzivi in priložnosti <i>Key Performance Indicators of Maintenance Performance: Challenges and Opportunities</i> Damjan Maletič, Alenka Brezavšček	161
Izzivi uporabe umetne inteligence na področju operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje <i>Challenges of Applying Artificial Intelligence in Operational Production Planning and Scheduling</i> Matjaž Roblek, Ana Georgievski, Maja Zajec	181

Vizija dinamične vpetosti ergonomije v management I4.0 <i>Vision of Dynamic Integration of Ergonomics in I4.0 Management</i> Zvone Balantič, Branka Jarc Kovačič	217
Delo na daljavo – izzivi zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu v domačem okolju <i>Teleworking - the Challenges of Ensuring Safety and Health at Work in the Home Environment</i> Branka Jarc Kovačič, Zvone Balantič	249
Emisije trdnih delcev ter njihov vpliv na kakovost zraka in zdravje <i>Emissions of Particulate Matter and Their Impact on Air Quality and Health</i> Marjan Senegačnik, Tatjana Kitić Jaklič, Drago Vuk, Maja Zajec, Eva Krhač Andrašec	287

Uvodnik

MATJAŽ MALETIČ, BENJAMIN URH

Začetki razvoja področja inženiringa poslovnih sistemov na Fakulteti za organizacijske vede Univerze v Mariboru segajo že preko 60 let v preteklost. Razvoj področja je vrsto let potekal ločeno, v več različnih laboratorijih, pod nazivom management proizvodnih sistemov. Ker pa sodobno delovno okolje v vsaki organizaciji zahteva poznavanje in razumevanje poslovnih in produkcijskih okolij ter inženirskih sistemov v najširšem smislu, smo v zadnjem desetletju svoje znanje združili v enotnem laboratoriju za inženiring poslovnih in produkcijskih sistemov (LIPPS).

Razvoj je kontinuiran proces, ki mora slediti zahtevam poslovnega okolja, v katerem poslujejo poslovni sistemi. Za managerje je pomembno, da poznajo in razumejo te zahteve in se znajo na le-te tudi ustrezno odzvati.

Avtorji želimo v tej monografiji prikazati sodobne znanstveno-raziskovalne pristope na področju inženiringa poslovnih sistemov. Pristopi naj v bralcu prebudijo izvor idej za nadaljevanje konkurenčnega boja v zahtevnih globalnih tržnih zahtevah. Sodobni pristopi naj jim služijo kot smernice za iskanje možnosti za dvig konkurenčnosti tam, kjer jih do sedaj morebiti še niso iskali. Navkljub prepletanju različnih disciplin, katerih posledica so polivalentne meje področja inženiringa poslovnih sistemov, ali pa prav zaradi tega, slednje zelo hitro pridobiva na veljavi v

smislu akademske in strokovne discipline. Monografija bo lahko v pomoč akademski javnosti pri nadaljnjem razvoju te discipline ter strokovni javnosti, še zlasti z vidika implementacije sodobnih pristopov, metod in tehnik izboljševanja poslovno-organizacijskih sistemov.

V uvodnem poglavju Tomaž Kern in Benjamin Urh prikažeta pregled pristopov in inovativnih tehnologij, ki omogočajo digitalno transformacijo multiprojektnega okolja v podjetjih in ustanovah. Na začetku predstavita teoretični vidik obvladovanja projektov in projektnega portfelja. Osrednji del poglavja namenita predstavitvi obetavnih pristopov in inovativnih tehnologij za učinkovito obvladovanje multiprojektnega okolja. Pri opisu nekaterih ključnih značilnosti pristopov podata avtorja tudi vidik priložnosti in ovir za njihovo uvedbo in tudi njihovo razvrstitev po posameznih področjih multiprojektnega managementa. V zaključku na podlagi predstavljenih pristopov in tehnologij oblikujeta ključne ugotovitve, ki jih je treba upoštevati pri obvladovanju multiprojektnega okolja.

V nadaljnjih poglavjih avtorji predstavijo pristope, na katere se osredotočajo v svojem raziskovalnem delu. V drugem poglavju tako Dušan Mežnar in Marjan Senegačnik predstavita uporabo funkcionalne analize pri razvoju izdelkov in povezanih dobavnih verigah. Uporabo metode predstavita na primeru avtomobilske industrije, in sicer razvoja električnega avtomobila. Najprej predstavita povezanost področja razvoja novih izdelkov ter oblikovanja in upravljanja dobavnih verig. Predstavita razloge in zahteve, ki ključno vplivajo na razvoj električnih avtomobilov, na osnovi katerih v nadaljevanju podata prikaz uporabe funkcionalne analize. Na izbranem primeru prikažeta funkcionalno analizo stroškov in koristi izdelka ter njeno razširitev na področje vzdrževanja, predvsem z vidika lažjega sprejemanja odločitev v procesu razvoja novega ali spremenjenega izdelka.

Benjamin Urh in Dušan Mežnar v tretjem poglavju predstavita pomen spreminjanja obsega standardizacije na področju razvoja novih produktov. V začetku predstavita teoretična izhodišča standardizacije v procesu razvoja novih produktov ter vlogo in pomen zunanje in notranje standardizacije. V nadaljevanju predstavita vidik standardizacije skozi vidik razvoja novih produktov v praksi. Zunanjo standardizacijo procesa razvoja predstavita na podlagi primera zahtev APQP referenčnega modela in sistema obvladovanja kakovosti medicinskih pripomočkov. Notranjo standardizacijo razvoja produkta pa prikažeta skozi uporabo različnih

pristopov. Poglavje zaključita s predstavitvijo pomena strategije standardizacije procesa razvoja novih produktov za podjetje.

V nadaljevanju Maja Zajec in Matjaž Roblek predstavitva raziskavo vpliva formalizacije v razvojnih procesih na profitabilnost podjetja. Najprej predstavitva poglobljena teoretična izhodišča različnih pogledov na formalizacijo, dualnosti formalizacije, formalizacije v razvojnih procesih in vpliva inovativnosti na profitabilnost. V nadaljevanju predstavitva raziskavo, v kateri opazujeta vlogo formalizacije na profitabilnost podjetja v povezavi z njegovo velikostjo. Predstavitva rezultate za skupino malih in srednje velikih podjetji (MSP) ter za veliko podjetje. Z opravljeno raziskavo sta poglobila razumevanje konceptualnih mehanizmov, ki se nanašajo na formalizacijo ter profitabilnost podjetja.

V petem poglavju Damjan Maletič in Matjaž Maletič predstavitva sodobne izzive obvladovanja premoženja v kontekstu ohranjanja konkurenčne prednosti. V uvodnem delu predstavitva razvoj samega področja in standardov na področju obvladovanja premoženja. V nadaljevanju podata teoretična ozadja opredelitve obvladovanja premoženja, koncepta ustvarjanja vrednosti premoženja, koristi obvladovanja tveganj, povezanih s premoženjem, in vidike finančnega in nefinančnega obvladovanja premoženja. Poglavje zaključita s predstavitvijo izzivov, povezanih z obvladovanjem premoženja, s katerimi se srečujejo v organizacijah pri vsakodnevem delu.

Damjan Maletič in Alenka Brezavšček v šestem poglavju predstavitva ključne kazalnike učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja. Najprej obravnavata vlogo vzdrževanja v organizaciji in nato nanizata ključne kvantitativne kazalnike, primerne za spremljanje področja vzdrževanja. V nadaljevanju podata nekaj smernic za uspešno implementacijo izbranih kazalnikov v prakso ter opozorita na možnost vpeljave lastnih kombiniranih kazalnikov. Poglavje zaključita z diskusijo, v kateri opozorita na pomembnost uvajanja in spremljanja kazalnikov v procesih vzdrževanja, in sicer z izpostavljenimi ključni izzivi ter priložnostmi, ki se sodobnim organizacijam ponujajo.

Matjaž Roblek, Ana Georgievski in Maja Zajec v sedmem poglavju predstavijo izzive uporabe umetne inteligence na področju operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje. V začetku opredelijo naslednje pojme: umetna inteligenca, oskrbovalne verige in planiranje v proizvodnih podjetjih ter računalniška orodja za podporo

planiranja proizvodnje. Nadaljujejo s predstavitvijo priložnosti naprednih digitalnih tehnologij in izzivov uporabe umetne inteligence pri razporejanja proizvodnje. V sklepnem delu na izbranem primeru slovenskega podjetja predstavijo primer načrtovanja, oblikovanja zahtev, izbire ustrezne umetne inteligence in njene implementacije v operativno planiranje. Na ta način bralcu predstavijo zahtevnost in obsežnost dela, ki ga mora podjetje opraviti na tej poti.

V osmem poglavju Zvone Balantič in Branka Jarc Kovačič predstavita vizijo dinamične vpetosti ergonomije v management industrije 4.0. Pričneta s predstavitvijo sodobnega pogleda na ergonomijo, ergonomskih načel, kibernetkega sistema človek – stroj in izhodišč ter zahtev za transformacijo v okviru industrije 4.0. Nadaljujeta s predstavitvijo pomena in vpliva različnih pristopov, kot so oblikovanje digitalnega dvojčka, uporaba metodološkega okvirja izboljšanja produktivnosti in ergonomije ter vzpostavitve vitke proizvodnje na načrtovanje delovnih mest. Poglavje zaključita z oblikovanjem vizije integracije prednosti uporabe predstavljenih pristopov na zagotavljanje in obvladovanje ergonomije delovnih mest v industriji 4.0.

V nadaljevanju Branka Jarc Kovačič in Zvone Balantič predstavita izzive zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu na daljavo, in sicer v domačem okolju. V začetku predstavita zakonska izhodišča zagotavljanja varnega in zdravega delovnega okolja ter teoretične osnove dela na daljavo, njegovih značilnosti in dejavnike tveganja za zdravje v primeru dela od doma. V nadaljevanju predstavita metodo ocene tveganja dela v domačem okolju, priporočila za odpravo tveganj, povezanih s to obliko dela, in metodologijo oblikovanja primerne delovnega okolja. V zaključnem delu podata priporočila za ustrezno prilagoditev delovnega mesta posamezniku in njegovo ozaveščanje in usposabljanje za varno in zdravo delo od doma.

V zadnjem delu Marjan Senegačnik, Tatjana Kitič, Drago Vuk, Maja Zajec in Eva Krhač Andrašec predstavijo problematiko emisije trdih delcev ter njihov vpliv na kakovost zraka in zdravje. Začnejo s predstavitvijo teoretičnega vidika trdih delcev, virov emisij in problematiko obremenitve zraka s trdimi delci v Sloveniji. Nadaljujejo s predstavitvijo vpliva posamezne skupine trdih delcev na zdravje ter možnih posledic kratkotrajne in dolgotrajne izpostavljenosti zvišanim koncentracijam le-teh. Avtorji v zaključnem delu predstavijo rezultate raziskave posledic izpostavljenosti prekomerno onesnaženemu zraku na zdravje prebivalstva in njegovo smrtnost.

Raziskava je bila opravljena na primeru devetih slovenskih krajev s prekomerno onesnaženim zrakom.

Primeri v monografiji ne predstavljajo univerzalnih rešitev, ki bi jih managerji uporabili pri prilagajanju novonastalim zahtevam v poslovnem okolju, ampak so zamišljeni kot predstavitev potencialno možnih poti pri iskanju novih in inovativnih odzivov na zahtevnejše razmere. Pri tem smo poskušali povezati različne vidike delovanja poslovnih sistemov: od digitalizacije v projektnem okolju, novih pogledov na razvoj produktov, obvladovanja premoženja, učinkovitosti in uspešnosti poslovnih procesov pa do uporabe sodobne informacijsko-komunikacijske tehnologije in njenega vpliva na oblikovanje in delovanje poslovnih sistemov ter na zagotavljanje ustreznih delovnih pogojev ter delovnega okolja za varnost in zdravje zaposlenih, ki bodo v prihodnje ključni pri vzdrževanju konkurenčnosti organizacije.

DIGITALNA TRANSFORMACIJA MULTIPROJEKTNEGA OKOLJA V PODJETJIH IN USTANOVAH

TOMAŽ KERN, BENJAMIN URH

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
tomaz.kern@um.si, benjamin.urh@um.si

Sinopsis Projekti se redko izvajajo samostojno in izdvojeno od okolja. Projekti so enkratni, neponovljivi poslovni procesi, ki so med seboj prepleteni in povezani z ostalimi procesi v poslovnih sistemih. Vsakič zahtevajo pripravo in šele potem izvedbo. Ob pripravi se oblikujejo aktivnosti, dodelijo resursi, zagotovijo finančna sredstva in drugo. Ob tem projekti ne smejo ovirati rednega dela. Za vodenje in upravljanje je nujna razvita organizacijska kultura. Vse to lahko povzamemo z izrazom »multiprojektno okolje«. To okolje pa je izredno kompleksno. Posameznik ga ne (z)more v celoti in naenkrat razumeti in obvladovati. V praksi se zato pojavljajo novi pristopi, ki to omogočajo. Vsebujejo metode digitalne transformacije in uporabljajo podobne tehnološke omogočevalce. Seveda so pristopi več kot tehnološki. Večina pristopov je organizacijskih in tehnologijo le vključujejo. Digitalno transformacijo multiprojektnega okolja postavljamo v kontekst obvladovanja projektov v projektnem sistemu. V raziskavi podajamo sistematičen pregled in opis teh pristopov, njihove potenciale in tudi ovire za implementacijo.

Ključne besede:

multiprojektno okolje, multiprojektne management, tehnološki omogočevalci, digitalna transformacija, projektni sistem

DIGITAL TRANSFORMATION OF MULTI PROJECT ENVIRONMENT IN COMPANIES AND INSTITUTIONS

TOMAŽ KERN, BENJAMIN URH

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
tomaz.kern@um.si, benjamin.urh@um.si

Abstract Projects are rarely carried out independently and separately from the environment. Projects are unique, unrepeatable business processes that are intertwined and connected to other processes in business systems. Each time they require preparation and only then implementation. During the preparation, activities are designed, resources are allocated, financial resources are provided, and more. At the same time, projects must not hinder regular work. A developed organizational culture is essential for leadership and management. All this can be summed up in the term "multi-project environment." This environment, however, is extremely complex! An individual cannot fully and suddenly understand and master it. In practice, therefore, new approaches are emerging that make this possible. They incorporate digital transformation methods and use similar technological enablers. Of course, the approaches are more than technological. Most approaches are organizational. We place the digital transformation of the multi-project environment in the context of project management in the project system. The research provides a systematic overview and description of these approaches, their potentials, as well as obstacles to implementation.

Keywords:

multi-project work,
multiproject
management,
technological
enablers,
digital
transformation,
project system

1 Uvod

Do leta 2024 bo polovica vseh vodilnih podjetij v svetu v svojo organizacijo vključila obvladovanje projektnih portfeljev (PPM) in integrirala nove tehnologije, ki bodo omogočile do 60 % učinkovitejše delo, boljše vodenje in sodobno upravljanje projektov (Callahan, 2021). V nasprotnem primeru bodo podjetja podvržena velikim tveganjem pri doseganju strateških ciljev (Henderson, 2022).

Potreba po obvladovanju multiprojektnega okolja izhaja iz dejstva, da število in delež projektov v razmerju z ostalimi procesi nenehno rasteta. Razlog je potreba po nenehnem razvoju in prilagajanju tistih, ki želijo delovati z večjo dodano vrednostjo. Fenomen projektov je dobro raziskan in v literaturi bogato opisan (PMI, 2008; PMI 2012; PMI, 2016; Rant idr., 1998; PRINCE, 2010). Definicij je seveda več, vsaka pa poudarja določene vidike ali lastnosti projektov. Ker pa so projekti praviloma povezani in vključeni v poslovne sisteme, je nujno definirati projekte tudi organizacijsko. V preteklosti so projekte pogosto poizkušali umestiti v obstoječo organizacijsko strukturo v obliki posebne organizacijske enote ali na drugačne načine. Vendar pa se v zadnjem času ugotavlja, da projekti niso statični in jih je treba v organizacijo umestiti na drugačen način.

Projekti namreč praviloma zahtevajo sodelovanje ljudi, ki so že angažirani v ostalih procesih. Prav tako trošijo ostale resurse organizacije, potekajo v istem prostoru in času kot ostali poslovni procesi in zahtevajo (običajno omejena) finančna sredstva. V takih okoliščinah definicija samostojnih projektov ni dovolj, razumeti in obvladovati moramo multiprojektno okolje.

Obširne in večletne periodične analize podjetja Gartner (Gartner, 2022), ene največjih analitskih organizacij s področja organizacije in informatike, nakazujejo, da uspešna podjetja pospešeno prehajajo s funkcijske (hierarhične) organiziranosti v dinamične organizacijske oblike in matrične organizacije različnih obsegov. Hkrati uvajajo napovedno analitiko in prvine umetne inteligence. Osredotočajo se na rezultate in temu prilagajajo način financiranja in uveljavljanja prioritet. To ob razvoju organizacijske kulture in talentov pomaga pri vodenju in odločanju o portfelju projektov ter povečuje njihovo odpornost ob krizah. Vodilna podjetja organizacijsko in informacijsko povezujejo projektne naloge, projekte, portfelje projektov in tudi programe projektov in celo obvladovanje življenjskega ciklusa produktov v enovit repositorijski. Pojavlja se t. i. »uskklajevanje usklajevanja« teh

prizadevanj in to prinaša dodatne koristi. Spodbujanje sodelovanja in osredotočanje na bistvo poslovanja z uporabo pristopov, kot so agilnost, vitko obvladovanje projektnega portfelja, uvajanje projektnih pisarn s širšimi pristojnostmi in celo vključevanje robotske procesne avtomatizacije, sicer od teh podjetij zahteva precejšen vložek, vendar ob uspešni implementaciji predstavlja veliko konkurenčno prednost.

2 Obvladovanje projektov in projektnega portfelja

Projekti so torej po eni strani specifični (enkratni) procesi, po drugi strani pa so integrirani v poslovno okolje. Postavlja se vprašanje, kako obvladovati to »povezano raznolikost«. Vsekakor je potrebno projekte upravljati in voditi na poseben način, hkrati pa dovoliti sodelujočim, da pri izvedbi v polni meri izrazijo svojo inovativnost in kreativnost, in tako uporabijo svoje strokovne kompetence na področju, na katerem poteka projekt. Vzpostaviti in obvladovati moramo torej »multiprojektni sistem«, ki bo dopuščal svobodo v vsebinskem smislu (na nivoju posameznega projekta) in predpisoval določena pravila, ki se jih morajo držati vsi projektni udeleženci.

Da bi dosegli tako stanje, posamezen projekt obravnavamo kot »vsebino«, portfelj vseh projektov pa kot »organizacijo teh vsebin«. Multiprojektno okolje torej procesno segmentiramo na vsebinski in poslovni segment.

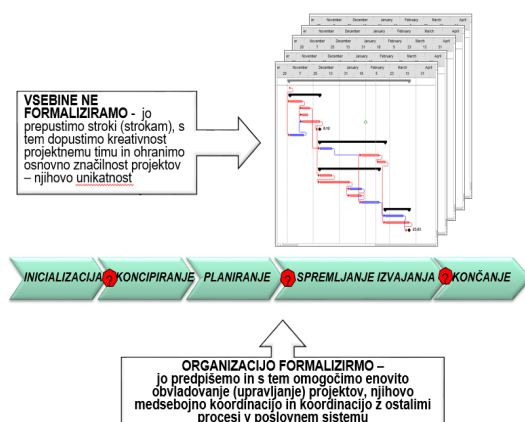
2.1 Projekti kot delovni oz. temeljni transformacijski procesi

Projekt je »začasno prizadevanje za uresničitev edinstvenega izdelka, storitve ali rezultata« (PMI, 2008). V projektu imamo torej v prvi vrsti »delovne procese« oz. »temeljne transformacijske procese«, ki predstavljajo »vsebino projekta«. Ti so členjeni na aktivnosti in faze. Z njimi dosegamo cilje projekta. To je dejansko delo, ki ga je treba opraviti v projektu. Delo je seveda organizirano na ustrezen način, aktivnosti so časovno omejene, so soodvisne, za njihovo izvedbo potrebujemo viire, izvajanje povzroča stroške. V projektu od izvajalskih timov pričakujemo spoštovanje gornjih omejitev. Hkrati pa znotraj posamezne aktivnosti vzpodbujamo samoiniciativnost, kreativnost in agilnost projektnega tima ter polno odgovornost za doseganje rezultata.

2.2 Procesi projektne managementa

Da pa bi imeli izvajalski projektne timi možnost »vsebinske svobode znotraj posameznih aktivnosti«, moramo vpeljati »organizacijska pravila«, s katerimi vzpostavimo določeno stopnjo reda in preprečimo kaos (Likar in Trček, 2021). Ta pravila vpeljemo preko »procesov projektne managementa«, ki zajemajo obvladovanje integracije, obsega, časa, stroškov, kakovosti, resursov, komuniciranja, tveganj in oskrbovanja projekta (PMI, 2008). V okviru teh procesov projekte najprej iniciramo, nato izdelamo vsebinsko zasnovo oz. koncept in jih organizacijsko opredelimo (izdelamo plan). Zaključek vsakega procesa projektne managementa je mejnik, ki ga potrjuje naročnik. Potrjen plan je hkrati potreben pogoj za začetek izvajanja aktivnosti v projektu.

Med izvajanjem aktivnosti prav tako potekajo procesi projektne managementa. Gre za procese poročanja, spremljanja in vodenja projekta. Ti se periodično ponavljajo, njihova frekvenca pa je odvisna od trajanja periode. Ob zaključku zadnje aktivnosti, torej, ko je projekt dosegel svoj cilj in je vsebinsko končan (objekt projekta je predan namenu), se izvede že zadnje dejanje projektne managementa, saj je treba projekt tudi formalno zaključiti ter urediti hranjenje rezultatov projekta in dokumentov o projektu. V sklop procesov projektne managementa uvrščamo tudi morebitne rebalanse in druge upravljalvske odločitve pa tudi »post mortum« analizo, s katero izračunamo stopnjo doseganja namenskega cilja.



Slika 1: Projekti in procesi projektne managementa

Vir: lasten

2.3. Organiziranje multiprojektne sodelovanja

Vsak posamezni projekt ima dejansko vsebinski in organizacijski vidik. Prvi omogoča projektnim izvajalskim timom veliko svobode, drugi pa projektnim vodjem učinkovito pripravo in vodenje. Kadar opazujemo le en posamičen projekt, je način organiziranja projekta izbira projektnega vodje. Se pa organizacijska svoboda omeji, kadar se v istem poslovnem sistemu obenem prepleta več projektov. Takrat govorimo o projektnem portfelju. Če so projekti med seboj vsebinsko vzročno-posledično povezani, govorimo o programih projektov. Tako okolje imenujemo »multiprojektno okolje«. V multiprojektne okolju je treba procese projektnega managementa do določene (dogovorjene) mere formalizirati in jih strukturirati, da omogočimo enovito upravljanje (torej odločanje). Le tako je mogoče enovito obvladovati več projektov in jih izvesti skupaj z ostalimi procesi v podjetju ali ustanovi.

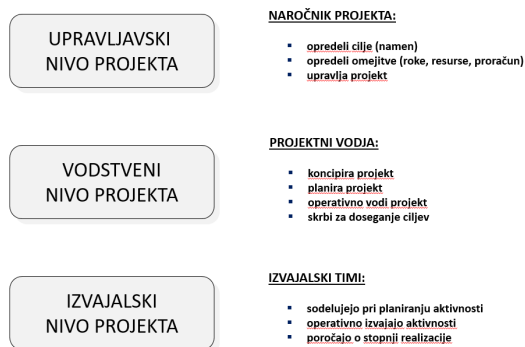
Raziskovanje tega področja v preteklosti (Kern idr., 2007; Tasić, 2013) je pripeljalo do ugotovitve, da je multiprojektne sistem sestavljen iz več povezanih podsistemov, ki se v podjetje ali ustanovo praviloma uvajajo postopoma in je njihova oblika močno odvisna od procesne zrelosti (Novak in Janeš, 2017) in projektne zrelosti (Demir in Kocabas, 2010).

Ti podsistemi so organizacijski, kadrovski, informacijski in dokumentacijski.

2.3.1 Organizacijski podsistem

Organizacijski podsistem zajema (Kern idr., 2007):

- uvajanje in razvoj projektne kulture v poslovni sistem,
- afirmacijo upravljalvskega, vodstvenega in izvajalskega nivoja projektov,
- povezavo projektov in poslovnih procesov v enoviti procesni splet,
- oblikovanje dinamične in procesom ter projektom prilagojene organizacijske strukture,
- oblikovanje sistemskega predpisa ter z različnimi standardi kakovosti skladnih navodil za projektne delo ter njihovo učinkovito izvajanje.



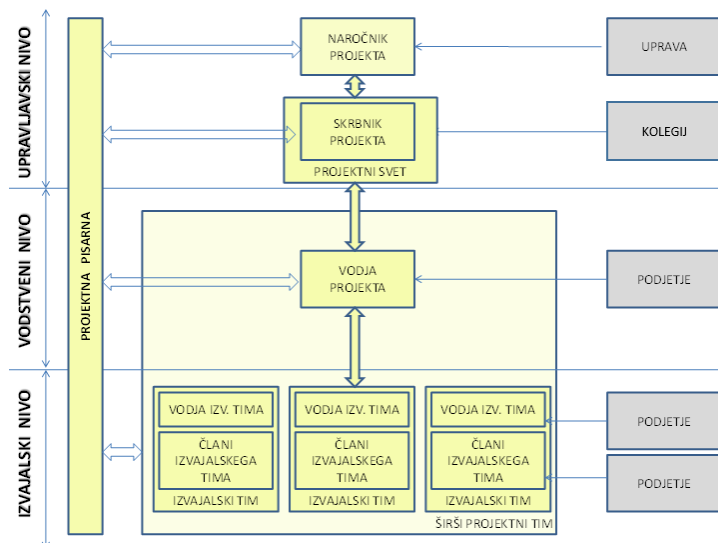
Slika 2: Upravljavski, vodstveni in izvajalski nivo projektov

Vir: lasten

2.3.2 Kadrovski podsistem

Kadrovski podsistem zajema (Kern idr., 2007):

- uvajanje projektne vloge na vse organizacijske nivoje v poslovnem sistemu,
- usposabljanje oseb, ki opravljajo posamezne projektne vloge in postopno izgradnjo ustreznih kompetenčnih profilov posameznikov,
- uvajanje ustreznega projektnega nagrajevanja v poslovnem sistemu.



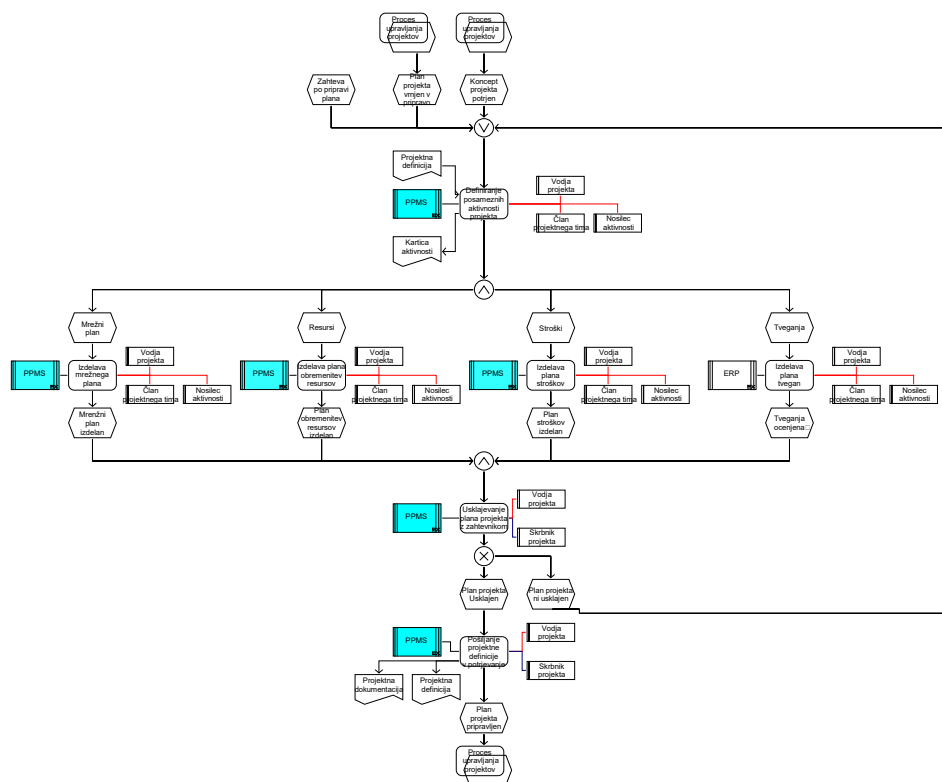
Slika 3: Umestitev projektних vlog v projektni sistem

2.3.3 Informacijski podsistem

Informacijski podsistem omogoča (Kern idr., 2007):

- zagotavljanje vseh informacij, ki jih zahtevata organizacijski in kadrovski podsistem,
- podporo pri zbiranju, obdelavi in izboru pobud za projekte,
- podporo procesom inicializacije, koncipiranja, planiranja, izvajanja in zaključevanja projektov,
- podporo upravljavcem pri odločanju v multiprojektne okolju ob določanju ciljev, omejitev, prioritet in pri prevzemanju rezultatov,
- podporo vodjem projektov pri pripravi in odrejanju dela, spremljanju napredovanja, obvladovanju sprememb in zaključevanju dela,
- podporo pri obvladovanju obremenitev članov projektne timov in drugih resursov projekta, terminskega in stroškovnega vidika projekta,

- podpora članom projektnih timov pri pridobivanju potrebnih informacij za izvajanje aktivnosti, pri periodičnem poročanju in pri poročanju o rezultatih aktivnosti.



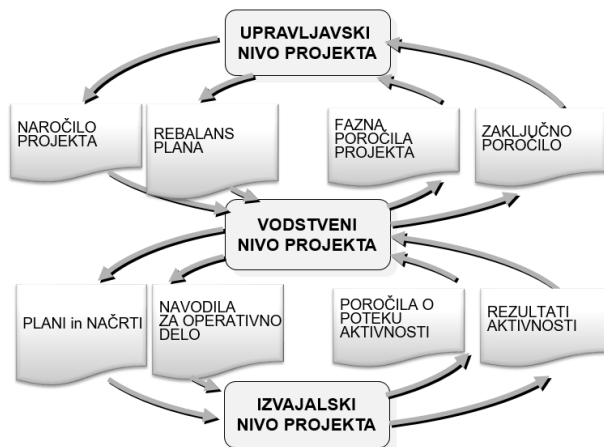
Slika 4: Umestitev projektne informacijske podpore v proces planiranja projekta (EPC model po Aris metodologiji (Davis, 2008))

2.3.4 Dokumentacijski podsistem

Dokumentacijski podsistem omogoča (Kern idr., 2007):

- izdelavo, hranjenje in distribucijo tehnične (vsebinske) in projektne (organizacijske) dokumentacije – ne glede na vsebino in obliko,
- obvladovanje različnih statusov dokumentacije,
- obvladovanje različnih verzij dokumentacije,
- obvladovanje arhiva vseh dokumentov,

- popolno varnostno shemo pri dostopu do podatkov in dokumentov za različne projektne vloge.



Slika 5: Kroženje dokumentov v projektne sistem

3 Obetavni pristopi in inovativne tehnologije za učinkovito obvladovanje multiprojektne okolja

Ob analizi potreb v podjetjih in ustanovah, v katerih se izvajajo po frekvenci in dinamiki raznoliki procesi, med drugim tudi projekti, je bilo že v preteklosti ugotovljeno (Kern idr., 2007), da je vsekakor potrebno vzpostaviti celovit multiprojektne sistem, ki je hkrati dobro integriran v poslovni sistem podjetja. Vzpostavitev multiprojektne sistema pa z organizacijskega vidika predstavlja ob izredni dinamiki sprememb in visokih zahtevah poslovnega okolja za mnoga podjetja in ustanove velik problem. Hkrati pa to predstavlja izziv in priložnost za tista podjetja, ki so ta izziv sposobna sprejeti in ga organizacijsko podpreti z ustreznimi informacijskimi rešitvami. Te morajo zagotavljati vse funkcionalnosti enovitega upravljanja projektne portfelja ob izjemno visoki fleksibilnosti in to dvoje združevati s funkcijami specialnih projektne informacijskih rešitev. Podpora takim prizadevanjem so pristopi »obvladovanja portfelja projektov« (PPM). Ti pristopi so v osnovi organizacijski, vendar z ustrezno, a s hitro se razvijajočo tehnološko podporo postajajo celoviti projektne sistemi (Jones in Stang, 2016; Stang in Handler, 2022). Ob proučevanju kompleksnosti projektne sistemov (Kern idr., 2007) lahko

organizacijski vidik povežemo tudi s kadrovskim, saj so osnova projektov ljudje. Informacijski vidik lahko povežemo z obvladovanjem dokumentacije, saj projekti ne temeljijo na surovih podatkih, pač pa na prenosu informacij med deležniki, kar dosežemo s sporočili, kjer so podatki zapisani v določeni formi (strukturi). Pri tem pojavnost nosilca sporočila ni pomembna. Prevladujoče sporočilo je elektronsko (npr. elektronsko sporočilo), nosilec sporočila je lahko glas (pogovor), v zadnjem času je nosilec le še izjemoma fizični (papirni dokument).

Pregled novejših strokovnih in znanstvenih literatur na tem področju (Callahan, 2021) kaže, da sta raziskovanje in razvoj novih pristopov, s katerimi bi izboljšali obvladovanje multiprojektnega okolja, izredno intenzivna. Nanašata se na vse štiri vidike: organizacijskega, kadrovskega, informacijskega in dokumentacijskega.

Opaziti je, da večina novih pristopov in podpornih tehnologij v času digitalne transformacije podjetij in ustanov upošteva več vidikov hkrati. Po podrobnejši analizi najbolj prodornih pristopov in tehnologij lahko razvrstimo te pristope v dve skupini:

- pristopi, ki podpirajo in transformirajo organizacijski in kadrovski podsistem multiprojektnega okolja,
- pristopi, ki podpirajo in transformirajo informacijski in dokumentacijski podsistem multiprojektnega okolja.

V nadaljevanju podajamo pregled in podrobnejše opise teh pristopov in tehnologij.

Tabela 1: Pregled obetavnih pristopov in inovativnih tehnologij, ki podpirajo in transformirajo multiprojektne sisteme

Področje	Pristop
Pristopi, ki podpirajo in transformirajo organizacijski in kadrovski podsistem multiprojektnega okolja	1 Vitko obvladovanje multiprojektnega portfelja
	2 Širša uporaba agilnega pristopa
	3 Prilagodljivi projektni management in poročanje
	4 Prilagodljivo upravljanje projektnega portfelja
	5 Najem storitev projektne pisarne
	6 Uvajanje pisarne za obvladovanje programov in portfelja podjetja EPMO
	7 Uvajanje produktnega, namesto projektnega financiranja
	8 Voditeljstvo sprememb

Področje		Prístup
Pristopi, ki podpirajo in transformirajo informacijski in dokumentacijski podsistem multiprojektne okolja	9	Obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo umetne inteligence
	10	Obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo robotske procesne avtomatizacije
	11	Tehnologije za podporo projektnega sodelovanja (PCM)
	12	Tehnologije enotnega obvladovanja projektov in projektnega portfelja razvoja novih produktov (PPM za NPD)
	13	Tehnologije enotnega obvladovanja resursov v multiprojektne okolju

3.1 Vitko obvladovanje multiprojektne portfelja

Vitko obvladovanje multiprojektne portfelja je pristop, ki združuje metode vitkosti (te izhajajo iz vitke proizvodnje) (Genaidy in Karwowski, 2003) in metode obvladovanja projektnih portfeljev (PPM). Oba pristopa obstajata že desetletja, kombinacija obeh pa je razmeroma nova. Tradicionalno obvladovanje portfelja projektov zagotavlja preglednost, hkrati pa pogosto zaradi neustrezne implementacije ne zagotavlja ustrezne učinkovitosti posameznih projektov. Po drugi strani pa vitki pristopi izboljšajo učinkovitost in fleksibilnost sistema, vendar pogosto povečajo stopnjo tveganja, zlasti v negotovih okoljih. Kombinacija obeh pristopov je obetavna, ker prednosti enega pristopa ob ustrezni implementaciji zmanjšajo slabosti drugega.

Namen vpeljave tega pristopa v multiprojektne okolja je ustrezna naročniško usmerjena prioretizacija ob hkratni učinkovitosti z vidika zmanjšanja porabe virov. Pristop temelji na obvladovanju celote in ne posameznega projekta v portfelju. Ključni deli za implementacijo pristopa so: ustrezna organizacijska kultura in zrelost organizacije (Novak in Janeš, 2017), vzpostavljen sistem obvladovanja znanja (Rant, 2003), učeča se organizacija in učenje slehernega deležnika v multiprojektne okolju) ter kakovosti kot standarda.

Ovire, ki lahko nastopijo ob implementaciji pristopa, so predvsem v tem, da so obstoječe metode dela v projektih in orodja za podporo projektnemu delu preveč zapleteni in togi. To se opazi zlasti pri implementaciji v srednje velika in mala podjetja, ki pogosto nimajo dovolj razvite organizacijske kulture in stopnje projektne zrelosti. Pristop je usmerjen v upravljanje in vodenje projektov in v manjši meri v spremembe na nivoju izvajanja (Callahan, 2021).

3.2 Širša uporaba agilnega pristopa

Agilni projektni pristop zajema več dobro uveljavljenih metodologij in je pogosto uporabljen zlasti na področju razvoja informacijskih tehnologij (IT). Omogoča skrajšanje časa razvojnih aktivnosti v projektih, olajša iterativne aktivnosti, je fleksibilen in ne zavira inovativnosti članov projektnih timov, kar pri razvojnih aktivnostih zagotavlja višjo uspešnost. Že dlje časa pa se agilni projektni pristop širi. Prednosti, ki jih je področje IT pridobilo z uporabo agilnih praks, so namreč ustvarile zanimanje tudi na drugih področjih, zlasti na področju ravnanja z ljudmi (HR), managementa in prenove procesov, financ, trženja in drugod (Beerbaum, 2021; Lalmia idr., 2021). Širše poznavanje metod, tehnik in orodij agilnega pristopa nekaterim organizacijam omogoča uporabo tudi v multiprojektne okolju. Ko dovolj udeležencev v projektih spozna agilno terminologijo, lažje razume, kako se morajo njihovi lastni procesi spremeniti, da lahko učinkovito sodelujejo s skupinami, ki so sprejele agilni način projektnega dela. To tudi zmanjšuje napetosti med različnimi organizacijskimi enotami, ki v projektih sodelujejo, in udeleženci v izvajalskih projektnih timih. Nov način dela povečuje t. i. skupinsko odgovornost za doseganje ciljev in namena projekta.

Ključni dejavnik, ki pogojuje razširitev agilnosti zunaj IT področja, pa je iskanje ravnovesja med prilagodljivostjo in stabilnostjo. Za vsako organizacijo je to ravnovesje unikatno. Prav pomanjkanje stabilnosti in preglednosti sta največji oviri za širšo uporabo tega pristopa. Svoboda posameznega projektnega tima se namreč konča tam, kjer se začne svoboda drugega projektnega tima. Prav tako se prilagodljivost pri določanju rokov za doseganje rezultatov posamezne aktivnosti konča tam, kjer so ti rezultati vhod v druge aktivnosti, ki imajo prav tako svoje mejnike in pričakovane rezultate. Hitro torej ugotovimo, da ima »agilnost« meje znotraj projektnega tima in znotraj njegove aktivnosti. Če v projektu sodeluje le en homogen izvajalski tim (kot je pogosto primer v IT razvojnih projektih), potem je agilni pristop lahko uporabljen na celotnem projektu. Če pa je projekt zaradi sodelovanja različnih projektnih izvajalskih timov ali več različnih podjetij členjen na faze in aktivnosti, ki so omejene z mejniki, pa je »agilnost« tudi omejena. Zlasti investicijski projekti, organizacijski projekti, tržni projekti pa tudi mnoge druge vrste projektov so običajno tako strukturirani. Poleg tega so v multiprojektne okolju posamezni projekti v programih projektov prav tako medsebojno vzročno-posledično povezani. To prav tako zmanjšuje neodvisnost projektnih timov.

V multiprojektne okolju je zahtevano transparentno in poenoteno spremljanje projektov, kar agilni način dela težje zagotovi. Tudi poizkusi »agilne koordinacije agilnih pristopov« in t. i. »Enterprise agile Frameworks« EAF, ki naj bi zagotavljali usklajevanje projektov, ki so v celoti agilno obvladovani, so se izkazali kot nepraktični.

Širša uporaba agilnega pristopa je torej povezana z ustrežno umestitvijo agilnega pristopa znotraj ustaljenih projektnih planov na nivo posameznih aktivnosti. Lažje se implementira v tistih projektih, ki so manj kompleksni (prepleteni), in v aktivnostih, ki tak način dela omogočajo. Seveda so te aktivnosti lahko poljubno obsežne in kompleksne, so pa kljub temu praviloma povezane z drugimi aktivnostmi in s tem ponovno omejene.

3.3 Prilagodljivi projektni management in poročanje

Prilagodljivo projektno vodenje ("project management") je sistematičen in strukturiran pristop, pri katerem projektni tim postopoma izboljšuje svoje odločitve in procese na podlagi rezultatov odločitev, sprejetih v zgodnejših fazah projekta (Callahan, 2021). Prilagodljivo poročanje omogoča članom projektnih timov, da na nivoju aktivnosti in projekta oblikujejo poročila, ki v vsakem trenutku odražajo dejansko stanje. Za to sta potrebni programska oprema in ustrezna organiziranost, ki omogočata avtomatizirano zajemanje podatkov o realizaciji, obdelavo teh podatkov, interpretacijo in vizualizacijo.

Prilagodljivo projektno vodenje in poročanje sta torej združitev organizacijskega pristopa in tehnologije, kar vključuje projektne procese, projektno organiziranost in nabor tehnologij za obvladovanje multiprojektne okolja. Projektni procesi morajo biti zelo dobro strukturirani in formalizirani, da omogočajo avtomatizacijo. Prav tako morajo biti opredeljene aktivnosti projekta in način dela projektnih timov, ki omogoča avtomatsko zajemanje podatkov o realizaciji. Podatki se lahko zbirajo na različne načine. Predvsem je izziv avtomatsko zbiranje podatkov o stopnji realizacije in kakovosti rezultatov. Nekoliko lažje je avtomatizirati zbiranje podatkov o količini vložene delu in časa članov projektnih timov. Mejnike je mogoče slediti preko različnih sistemov potrjevanja. Avtomatizacija sledenja stroškov je najenostavnejša. Se pa pojavi problem ažurnosti teh podatkov. Obdelava zajetih podatkov o realizaciji je mogoča in smiselna samo, če te podatke primerjamo s planiranimi. Pri tem je pomembno, da se upošteva aktualni plan, kar je lahko v primeru pogostih rebalansov

prav tako izziv. Interpretacija informacij o realizaciji, doseganju mejnikov, uporabi resursov in skladnosti stroškov je običajno vizualna. Uporabljajo se različni grafi, semaforji in drugi intuitivni prikazi.

Prilagodljivost projektnega managementa in poročanje omogočata hitrejšo sprejemanje odločitev in določanje prioritet. Prav tako je planiranje projektov v naslednjih iteracijah bolj zanesljivo, ker podatki o preteklih projektih zmanjšujejo tveganje za napake. V povezavi s PPM tehnologijami je tudi uvajanje realno in mogoče, saj je večina podatkov o planu v digitalni obliki. V povezavi s PCM tehnologijami (poglavje 3.11) pa je enostavnejše zbiranje podatkov o realizaciji v realnem času, ker jih te tehnologije implicitno vključujejo.

Ovire pri hitrejšem uvajanju so zlasti tehnološke. Pogosto se ne izplača vlagati v povezovanje različnih informacijskih sistemov, kar bi omogočalo avtomatizacijo zajemanja podatkov v realnem času. Po drugi strani enotnih in vseobsegajočih projektnih informacijskih sistemov ni. Ponudniki obstoječih sistemov pa le-te relativno hitro spreminjajo in posodablajo, ker je seveda nujno, po drugi strani pa to ovira stabilnost, ki je za avtomatizacijo nujna. Iz vsega tega sledi, da je pristop racionalen le v primeru, da ga implementiramo sistemsko in ne posamično. V tem primeru govorimo o prilagodljivem obvladovanju portfelja projektov in poročanju.

3.4 Prilagodljivo upravljanje projektnega portfelja

Prilagodljivo upravljanje projektnega portfelja (project governance) v multiprojektne okolju je organizacijski pristop, ki zahteva nove načine predvidevanja, planiranja in določanja prioritet, potrebnih za doseganje poslovnih rezultatov. Upravljavci portfelja morajo dopustiti različne sloge upravljanja v različnih situacijah, hkrati pa morajo znati usklajevati svoje odločitve (Callahan, 2021).

Prilagodljivo upravljanje in prilagodljivi management (poglavje 3.3) sta dva vključujoča pristopa, ki ju povezuje ustrezno (prav tako prilagodljivo) poročanje. Dejansko je vzpostavitev slednjega pogoj, da se prilagodljivo upravljanje projektnega portfelja lahko implementira. To pomeni, da mora podjetje ali ustanova izpolnjevati pogoje, ki omogočajo avtomatizacijo poročanja. Torej mora biti okolje »digitalno zrelo«. Digitalna transformacija je torej pogoj za implementacijo tega organizacijskega pristopa, uporabljena tehnologija pa njegov omogočevalec

»enabler«. Po drugi strani pa prav organizacijske spremembe, povezane z digitalno transformacijo, zahtevajo prilagodljivo vodenje in upravljanje v multiprojektne okolju. Priča smo torej ponavljajočemu se ciklusu tehnoloških in organizacijskih sprememb, ki že poteka in se bo v prihodnje pričakovano še nadaljeval.

Značilnost dinamičnega poslovnega okolja je, da pričakuje in zahteva veliko prilagodljivost. Teh zahtev podjetje ali ustanova praviloma ne more ignorirati in ne zmore zavreti. S spreminjajočimi zahtevami in veliko frekvenco sprememb s strani naročnikov se mora torej soočiti in se temu prilagoditi. To pa pomeni tudi veliko frekvenco upravljavskih odločitev, pogoste spremembe prioritet in več zahtev managementu za spremembe v projektih. Klasični pristopi upravljanja projektov, ki predvidevajo relativno dolge periode med upravljavskimi odločitvami in enake časovne preseke za vse projekte v portfelju, so preživeti. O vsakem projektu se odloča samostojno in za vsak projekt se uporabljajo različne metode in tehnike pri odločanju. Ob tem pa je potrebno vzdrževati transparentnost projektnega portfelja. Potrebno je upoštevati soodvisnosti med projekti. Spremljati je treba obremenitve ključnih sodelavcev v projektih in nadzorovati stroške.

Ovire pri vpeljavi tega organizacijskega pristopa so tako organizacijske kot tehnološke. Poglavitna organizacijska ovira je obstoječa organizacijska kultura in ustaljen način sprejemanja upravljavskih odločitev. Tehnološke ovire pa so povezane z ustreznim informacijskim sistemom za podporo multiprojektne delu (PPM sistem), ki mora omogočati veliko prilagodljivost, hkrati pa mora zagotavljati stabilnost in preglednost.

3.5 Najem storitev projektne pisarne

Projektne pisarna (»Project Management Office«; PMO) je skupina strokovnjakov, lahko posameznik ali organizacijska enota, ki vzpostavlja in vzdržuje standarde za vodenje projektov. Projektne pisarna je pristojna in zadolžena za oblikovanje procesov, opredelitev projektne vlog, vzdrževanje informacijske podpore, dokumentacijskega sistema in usposabljanje deležnikov. Projektne pisarna podpira učinkovito upravljanje, vodenje in izvajanje projektov v multiprojektne okolju (PPMaaS PMO, 2022).

Projektna pisarna je praviloma »štabna služba« v podjetju ali ustanovi in ni podrejena nobeni drugi organizacijski enoti. V določenih primerih pa je projektna pisarna lahko tudi zunanja. Takrat govorimo o izdvajanju (»outsourcingu«) projektne pisarne oziroma o projektni pisarni kot storitvi (»Project Performance Office as a Service«; PPMaaS). Storitve praviloma vključuje svetovanje, izvajanje in občasno tudi operativne projektne storitve.

Ta organizacijski pristop je priporočljiv in primeren predvsem za tista podjetja ali ustanove, kjer potekajo le občasni, a obsežni projekti in programi. To povzroča nihanja v potrebah po sodelavcih in vodjih projektov, prav tako pa tudi potreba po projektni pisarni ni stalna. V tem primeru je eden od načinov za odpravo teh nihanj implementacija pristopa »PPMaaS« in sklenitev ustreznega dogovora s specializiranimi zunanjimi ponudniki tovrstnih storitev. Dodatna prednost pristopa »PPMaaS« je lažji dostop do izkušenih vodij projektov in programov projektov, ki v organizacijo prinesejo dobre prakse. Ustvarijo se priložnosti za hitrejši razvoj projektne kompetenc. Vzpostavijo se pravila obvladovanja projektov v multiprojektne okolju. Prav tako najem storitev projektne pisarne praviloma vključuje tudi informacijsko podporo, ki jo je mogoče preizkusiti in kasneje implementirati.

Vendar pa je treba pri uveljavljanju tega organizacijskega pristopa biti pozoren tudi na ovire. Čeprav uporaba »PPMaaS« izboljša učinkovitost in znižuje režijske stroške, pa hkrati povzroči stroške najema, ki se lahko povečajo, če je organizacija predolgo odvisna od storitev najete projektne pisarne. Nastopijo tudi nova tveganja, ki so povezana zlasti z varovanjem občutljivih podatkov, stabilnostjo in zanesljivostjo izvajalca storitev pa tudi z morebitno nekompatibilno organizacijsko kulturo zunanjega izvajalca. Zato je potrebno v dogovor z zunanjim izvajalcem storitve projektne pisarne vključiti zahtevo po prenosu znanja na naročnika.

3.6 Uvajanje pisarne za obvladovanje programov in portfelja podjetja EPMO

Ob naraščanju potrebe in pobud za digitalizacijo v podjetjih se je okrepila tudi potreba po obvladovanju procesov, ki so kakorkoli povezani s tem področjem. Izoblikoval se je organizacijski pristop, ki povezuje projektno pisarno (PMO) in različne centre koordinacije obvladovanja poslovnih procesov na najvišjem (strateškem) nivoju. Izoblikovale so se pisarne za obvladovanje programov in

portfelja podjetja (»Enterprise Program and Portfolio Management Office« EPPO) (Metuge in Otegi Olaso, 2020). Dejansko gre za razširjeno in poglobljeno projektno pisarno, ki je primerna za obvladovanje multiprojektne delo v vseh oblikah (projektna naloga, projekti, portfelji projektov in programi projektov, hkrati pa omogoča tudi obvladovanje nekaterih drugih procesov). Njena značilnost je, da je umeščena na strateški organizacijski nivo. Po tem se razlikuje od domenske projektne pisarne, ki je umeščena na nivo enega oddelka ali področja in pokriva le ta oddelek ali področje.

Pisarna za obvladovanje programov in portfelja podjetja (EPPO) deluje kot povezava med vsemi organizacijskimi enotami, presega meje t. i. organizacijskih silosov in s tem omogoča optimizacijo. Storitve pisarne uporabljajo vodilni in vodstveni zaposleni za namen poslovne analitike, kontrolinga in za vse nivoje planiranja. Primerna je zlasti za velika in organizacijsko zrela podjetja, ki zmorejo hkrati dosegati usklajevanje portfelja, se odločati na podlagi dejstev in zagotavljati stalno fleksibilnost portfelja. Za tovrstna podjetja EPPO postaja ključno vozlišče informacij za podporo odločanju.

Prav omejitve glede velikosti in nujna po zreli organizacijski kulturi sta glavni omejitvi uvajanja. Če ta dva pogoja nista izpolnjena, lahko EPPO postane zgolj center dodatnega administriranja in s tem ovira in ne spodbujevalec učinkovitega delovanja podjetja. EPPO pa mora izpolnjevati ključni pogoj: ne sme biti pripadna le eni ali nekaj organizacijskim enotam. Biti mora vseobsegajoča.

3.7 Uvajanje produktnega, namesto projektnega financiranja

Produktno financiranje v multiprojektne okolju predstavlja odmik od obvladovanja proračuna za posamezne projekte in pomeni približevanje financiranju produktov, ki so lahko rezultat več povezanih projektov (program projektov) ali več strukturno skladnih projektov (portfelj projektov). Gre za način financiranja projektov, ki ga poganjajo poslovne potrebe in se prilagaja glede na doseganje poslovnih rezultatov (Callahan, 2021). Produktno financiranje mogoča tudi enostavnejšo in hitrejšo prioretizacijo projektov (Swarup, 2019).

Produktno financiranje ima nekaj prednosti pred projektne financiranjem zlasti v času hitrih sprememb v poslovnem okolju in v primeru pomanjkanja resursov, zlasti ekspertov (članov izvajalskih projektne timov). Pri projektne financiranju so

izvajalski projektni timi vedno podvrženi selekciji za vsak posamezni projekt. To je sicer prednost v smislu fleksibilnosti, je pa hkrati slabost z vidika prenosa znanja, obsega potrebnega komuniciranja in tveganja zaradi stalne potrebe po usklajevanju članov v timih.

Zlasti pri projektih razvoja in industrializacije produktov je tak način financiranja pogosto primernejši kot klasični način. Namen projekta je namreč dosežen samo v primeru, da so usklajeno izvedeni vsi projekti temeljnega in aplikativnega razvoja, projekti investicij v opremo in pogosto tudi projekti, povezanimi s kadri, in projekti, povezani z vzpostavljanjem pogojev za prodajo.

Ovire pri prehodu od tradicionalnega financiranja, ki temelji na projektih, na produktno financiranje so povezane s tradicionalno organizacijo podpornih procesov v podjetjih. Zlasti to velja za finančne in računovodske procese. Zato je pred morebitno spremembo nujno najprej prenoviti te procese in prednosti predstaviti odločevalcem v podjetju.

3.8 Voditeljstvo sprememb

V literaturi in tudi v praksi se pogosto omenja organizacijski pristop: »obvladovanje sprememb« (angl.: »Change management«). Uporablja se za uvajanje organizacijskih sprememb na nivoju celotnih organizacij in ne le na področju projektov. Vendar pa se narekovanje ali celo ukazovanje sprememb zaposlenim hitro izkaže za dolgotrajen in frustrirajoč proces s slabimi rezultati. Ponotranjenje sprememb pri zaposlenih namreč zahteva določen čas, sicer naletimo na odpor. Zato se je v zadnjem času pojavil organizacijski pristop, ki tudi na to področje uvaja »voditeljstvo sprememb« (angl. »Change Leadership«). Strnjeno to pomeni izgradnjo okolja, ki posameznike navdihuje k spremembam in vključuje vse deležnike na poti sprememb. Voditeljstvo je pristop, ki na prvo mesto postavlja organizacijsko kulturo, procese v poslovnem sistemu in izgradnjo trajnostnih organizacijskih kompetenc (Nichols, 2021). Model voditeljstva sprememb lahko strnemo v akronim »ESCAPE« (Olding, 2021). Pristop ima dve fazi: (1) Navdihovanje deležnikov preko širjenja ideje in zamisli, da vizualizirajo svojo sliko prihodnje organizacije; in (2) Vključevanje deležnikov, ki jih je potrebno pritegniti, jim dovoliti in jim omogočiti, da samostojno uvajajo spremembe.

Zakaj je to pomembno za multiprojektna okolja? Sposobnost prilagajanja organizacijske kulture v multiprojektne okolju nenehno spreminjajočim zahtevam naročnikov projektov je ključni pogoj za preživetje podjetja, za rast in razvoj. Prilagajanje ob motnjah zahteva, da so vsi deležniki v multiprojektne okolju del soustvarjanja sprememb in ne le njihovi pasivni izvajalci ali celo zaviralci. Upravljalci portfelja se morajo ustrezno sporazumevati o zahtevah naročnikov z vodjo projektov. Vodje projektov morajo znati opredeliti nujne spremembe v projektih, ki so potrebne, da bodo zadostili spremenjenim zahtevam naročnikov. Člani izvajalskih projektne timov se morajo znati prilagoditi tem spremembam in samostojno oblikovati ter izvesti aktivnosti, skladne z novimi zahtevami.

Uvedba tega organizacijskega pristopa temelji na zaupanju med deležniki v projektih in na pooblaščenju deležnikov za odločanje in samostojno izvajanje brez nepotrebnih kontrol. Poglavitna ovira uvedbe pristopa je zatorej premajhna mera zaupanja vodij v sodelavce in na drugi strani nezaupanje sodelavcev v vodje zaradi morebitnih slabih izkušenj iz preteklosti.

3.9 Obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo umetne inteligence

Pristop obvladovanja multiprojektne okolja, v katerem se obvladovanje portfelja projektov (PPM) integrira z umetno inteligenco (AI), praviloma (vendar ne izključno) združuje t. i.: pogovorno umetno inteligenco in strojno učenje. Pogovorna umetna inteligenca med drugim omogoča obdelavo naravnega jezika (NLP) z interaktivnimi sistemi za prepoznavo glasu (Magalhaes idr., 2021). To v projektih lahko olajša dokumentiranje projektne sestankov in bistveno zmanjša obseg administriranja. Strojno učenje (ML) zajema uporabo računalniških sistemov, ki imajo sposobnost učenja in prilagajanja z uporabo algoritmov in statističnih modelov za analizo in sklepanje iz vzorcev v podatkih (Paullada idr., 2021). Ta tehnologija je zlasti primerna za pomoč pri odločanju v kompleksnih sistemih. Multiprojektne okolje je zagotovo dovolj kompleksen sistem s prepletenimi procesi (projekti). Pomoč vodjam projektov in upravljalcem projektne portfelja pri pripravi planov projektov, izbiri ustreznih resursov s pravimi kompetencami, odločanju o prioritetah, hitri izvedbi »kaj-če« analiz je torej izredno koristna funkcionalnost PPM sistemov.

Zlasti investicijski projekti in projekti v gradbeništvu so v zadnjih letih doživeli porast uporabe umetne inteligence. Se je pa ta paradigma pojavila tudi v številnih drugih panogah. Razlog je seveda velika konkurenca in pritisk trga po večji učinkovitosti. Raziskave uporabe pristopa kažejo velik potencial zlasti na področjih, kjer je konjunktura največja (Tjebane idr., 2021).

Optimizacija projektnih portfeljev zahteva odpravo rutinskih in zamudnih opravil in s tem omogočanje proaktivnih pristopov deležnikov v projektih. Zlasti uporaba napovedne analitike je tak pristop, ki pospeši sprejemanje odločitev.

Gartner napoveduje (Callahan, 2021), da bo vključevanje umetne inteligence v multiprojektne okolja dramatično zmanjšalo administracijo in prehod s taktičnega na strateško odločanje za uspešno doseganje strateških ciljev. Predvideva se, da se bodo z uporabo umetne inteligence zmanjšala tudi nekatera tveganja. Pristop torej spreminja paradigmo poenostavljanja kompleksnih sistemov z namenom, da bi bili lažje obvladljivi. Namesto tega uvaja mehanizme umetne inteligence, ki pomagajo tako kompleksne sisteme razumeti v vsej njihovi zapletenosti in jih s tem obvladovati.

3.10 Obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo robotske procesne avtomatizacije

Obvladovanje portfelja projektov (PPM) z vgrajeno robotsko procesno avtomatizacijo (RPA) (Bečan, 2021) je obetaven pristop obvladovanja multiprojektnega okolja, saj ta organizacijsko-tehnološka kombinacija zmanjša potrebo po ročnem vnosu podatkov in omogoča avtomatizacijo procesov projektnega managementa. PPM z vgrajeno RPA tehnologijo torej zmanjša potrebo po ročni administraciji, zmanjša število napak, omogoča dostop do zunanjih virov podatkov v realnem času in s tem bistveno pohitri izvajanje, vodenje in odločanje v multiprojektnem portfelju.

Dejansko je pristop v razvojni fazi in se šele začena uporabljati. Vendar pa začetni rezultati dajejo upanje, da bo pomagal zlasti projektnim pisarnam (PMO in EPMO) obvladovati veliko količino prometnih podatkov, do katerih so do sedaj dostopali preko več ločenih aplikacij, vmesnikov in virov. Največkrat prepozno in ne v celoti.

Prednost tehnologije robotske procesne avtomatizacije je, da združuje koncept robotike in uporablja programske agente (t. i.: »bote«), ki delujejo brez sodelovanja ljudi. Najbolje se obnesejo v formaliziranih in strukturiranih ter običajno ponavljajočih se procesnih korakih (Syed idr., 2019). Obstaja več tipov te tehnologije. Lahko je namenska in prilagojena le določenemu procesu, kar pospeši delovanje. Lahko je odprta in omogoča zajem podatkov iz zelo različnih virov, nosilcev in naprav, kar sicer upočasni njeno delovanje, poveča možnost napak, vendar razširi obseg delovanja. Lahko temelji na pripravljenih predlogah dokumentov, kar je primerno predvsem za zajem velikega števila istovrstnih dokumentov. Lahko pa je tehnologija prilagodljiva in se kot taka uporablja predvsem za testiranje in odkrivanje napak (Willcocks idr., 2015).

Priložnost uporabe se v multiprojektne okolju kaže zlasti pri zajemanju podatkov o realizaciji. Spremljanje realizacije je namreč v očeh mnogih članov projektnih timov administrativen in nepotreben proces, s katerim izgubljajo dragocen čas. Seveda z vidika obvladovanja projektnega portfelja zbiranje podatkov za vodenje in odločanje ni tako. Vendar pa odpor in posledično pogosto pomanjkljivi, prepozni ali netočni podatki o realizaciji povzročajo težave v multiprojektne okolju. RPA v okviru PPM omogoča avtomatsko zajemanje podatkov o realizaciji, zlasti v projektih in aktivnostih, ki se izvajajo s pomočjo programske podpore. Člani projektnih timov tako niso več obremenjeni s poročanjem, seveda pa projektna pisarna še vedno obdrži funkcijo analiziranja in interpretacije informacij iz pridobljenih podatkov. Projektni vodje obdržijo pristojnost vodenja in upravljavci pristojnost odločanja. Ostaja torej kreativni del multiprojektne managementa, tehnologija pa poskrbi za to, da se deležniki izognejo rutinskim opravilom.

Implementacijo pristopa zavirajo trenutno še dokaj visoki stroški, kajti široko uporabnih rešitev trenutno na trgu programske opreme ni. »Po naročilu« razvite aplikacije pa so seveda dražje. Poleg tega tehnologija še ni zrela, zato odločevalci oklevajo z uvedbo. Ovira pa je tudi dvom uporabnikov, ker je referenčnih primerov uporabe še razmeroma malo. Po drugi strani pa ima pristop po ocenah ekspertov velik potencial (Callahan, 2021), zato se število prototipnih implementacij hitro povečuje.

3.11 Tehnologije za podporo projektnega sodelovanja (PCM)

Tehnologije za podporo projektnega sodelovanja (PCM tehnologije) zagotavljajo dinamičen spletni delovni prostor. Deležnikom v projektih omogočajo dostop do informacij o projektih preko orodij za oddaljeno komuniciranje, preko nadzornih plošč, opravljenih plošč, skupnih koledarjev in drugih integriranih tehnologij. Omogočajo delo projektne timov, ki so lahko stalni ali začasni. Zlasti so primerne za virtualne projektne time (Groznik idr., 2011). Ne zahtevajo učenja uporabe kompleksnih PPM orodij, ampak ponujajo možnosti za skupno rabo in sinhrono urejanje dokumentov, osnovne funkcionalnosti planiranja projektov, razporejanja dela, poročanja, spremljanja virov in realizacije aktivnosti opravi, spremljanje statusov in verzij, komunikacijo preko več kanalov in različne načine obveščanja.

V multiprojektne okolju je sicer nujna strukturirana in formalizirana organiziranost. Ta omogoča transparentnost informacij za upravljanje in urejenost, ki omogoča usklajeno vodenje projektov v portfelju. Vendar pa je s strani članov projektne timov, ki v projektih delujejo kot eksperti, zahtevana tudi enostavnost. Ta je nujna zlasti v primeru, ko posamezniki v projektu sodelujejo kratek čas, le na posameznih aktivnostih ali pa gre za zunanje sodelavce v projektu. Delo na daljavo, ki se je povečalo zaradi pandemije v letih 2020 in 2021, je še povečalo potrebo po tej tehnologiji.

Pri tem pa je treba razumeti tudi omejitve tehnologij za podporo projektnega dela. Primerne so predvsem za manjše projektne time, za projektne naloge in enostavne projekte in v okoljih, kjer multiprojektne delo ni prevladujoča oblika dela. V zahtevnejših poslovnih okoljih tovrstne tehnologije praviloma ne zagotavljajo pregleda nad razpoložljivostjo in obremenitvami sodelavcev v več projektih. Prav tako se bistveno zmanjša transparentnost projektov, kar lahko privede do napačnih upravljaljskih odločitev. Čeprav PCM v osnovi ne predvideva centralizirane projektne pisarne, je v multiprojektne okolju dejansko še bolj potrebna kot v primeru uporabe standardnih PPM orodij, ker mora zagotavljati vsaj minimalno koordinacijo med projekti v portfelju. Tehnološko PCM temelji na tehnologijah v oblaku, kar ji omogoča takojšnjo uporabnost in veliko prilagodljivost. Po drugi strani pa to vedno pomeni tveganje izgube ali razkritja pomembnih podatkov in občasne nedostopnosti. Med ovire, ki onemogočajo širšo uporabo, sodijo tudi relativno šibke funkcionalnosti planiranja, poročanja in finančnega nadzora nad projekti. Uporaba je zato omejena na manj strateške projekte, ki zahtevajo enostavno ali agilno vodenje.

Priložnosti se kažejo v integraciji PPM in PCM pristopov, pri čemer bi PCM uporabili pretežno člani izvajalskih projektnih timov, medtem ko bi PPM uporabljali na nivoju vodenja in upravljanja projektov.

3.12 Tehnologije enotnega obvladovanja projektov in projektnega portfelja razvoja novih produktov (PPM za NPD)

Uporaba tehnologij obvladovanja projektov in projektnega portfelja (PPM) za razvoj novih produktov (NPD) je zrel organizacijski pristop obvladovanja multiprojektne okolja, ki je že dolgo časa poznan in pogosto uporabljen. Nudi podporo razvojnim in raziskovalnim timom v podjetjih. S pristopom »PPM za NPD« se formalizira in posledično tudi avtomatizira procese projektne managementa: inicializacijo, koncipiranje, planiranje in v fazi izvajanja spremljanje in vodenje RR projektov (Meglič, 2006; Roblek idr., 2010; Kern idr., 2019).

Dejansko so najmočnejši promotorji uveljavitve pristopa obvladovanja projektov in projektne portfelja (PPM) prav razvojni oddelki. Zato lahko rečemo, da se je PPM pristop razvil prav zaradi NPD procesa. Razlog je v tem, da sta razvoj in industrializacija vpeta v vse organizacijske enote podjetja: od nabave, logistike, prodaje, preko razvoja in tehnologije do proizvodnje in financ. Sodelovanje vseh organizacijskih enot pri razvoju je nujno, saj se produkti po prehodu v redno proizvodnjo vključijo v obstoječe procese, ki prav tako potekajo po celotnem podjetju. Drugi razlog je dokaj visoka formalizacija in strukturiranost NPD procesov v nekaterih industrijah (zlasti farmacevtski in avtomobilski) (Roblek idr., 2016), kar je primerno za uvedbo PPM pristopa in tehnologij s podporo teh projektov.

Tehnologija, ki podpira omenjeni pristop, omogoča tudi dokumentiranje produktov, ki se razvijajo v vseh fazah razvoja (Kern idr., 2007). Omogoča komunikacijo med člani razvojnih timov in ostalimi deležniki v projektih ter podpira hiter pregled in potrjevanje določenih statusov v projektu. To je pomembno zato, ker se morajo podjetja hitro odzvati na zahteve naročnikov.

PPM za NPD poleg funkcionalnosti obvladovanja procesov projektne managementa vključuje tudi formalni proces razvoja od ideje do validacije. Največkrat podpira razvojne standarde različnih industrij (primer so VDA standardi). Tehnologija podpira tudi obvladovanje stroškov projektov in z modeliranjem pričakovanih prihodkov od prodaje produkta v njegovem

življenjskem ciklusu omogoča izračun praga rentabilnosti. Prav tako podpira tudi različne metode ocenjevanja tveganj v razvojnih projektih (Wu idr., 2021). Pristop se hitro uveljavlja tudi zato, ker ga podpirajo naročniki. Zlasti v daljših dobaviteljskih verigah (avtomobilska, letalska, elektronika) je za zmanjšanje tveganja pomembno, da ima naročnik možnost vpogleda v vse podrobnosti projekta in v trenutni razvojni status produkta.

Seveda zahteve naročnikov niso enake v vseh dobaviteljskih verigah. V nekaterih panogah, primer je kemija, proizvodnja barv in premazov (Kern idr., 2020), tovrstne potrebe šele nastajajo, kar je ovira pri hitrejši implementaciji tega pristopa. Vendar pa raziskave kažejo, da se potrebe po transparentnih učinkovitih procesih pojavljajo v vseh industrijah. Ovira je tudi miselnost nekaterih podjetij, da uvedena tehnologija »obvladovanja življenjskega cikla izdelka« (PLM) že pokriva vse PPM za potrebe tehnologije NPD. Analize (Light in Halpern, 2006) dokazujejo, da je ta predpostavka napačna in da sta ti dve tehnologiji komplementarni, ne pa izključujoči.

3.13 Tehnologije enotnega obvladovanja resursov v multiprojektne okolju

Pristop obvladovanja resursov v multiprojektne okolju se osredotoča na optimizacijo uporabe razpoložljivih (predvsem človeških) resursov za doseganje ciljev in namena projektov. Pristop združuje znanje in izkušnje, ki so že dolgo časa v uporabi pri obvladovanju resursov v posameznih projektih (Kolisch, 1995). Hkrati pa uporablja nove metode, ki temeljijo na tehnologijah, kot so: umetna inteligenca, nevronske mreže, veriženje blokov, s katerimi je mogoče v realnem času celovito obvladovati resurse na celotnem portfelju projektov, tudi ko se projekti pogosto spreminjajo.

Resurse v projektih razvrščamo na človeške resurse (torej ljudi – sodelavce, eksperte v podjetju ali ustanovi in zunanje izvajalce ali podizvajalce), sredstva za delo (stroje, orodja ...) in predmete dela (material, sestavne dele, komponente). Večina podjetij nima natančnih in ažurnih podatkov o razpoložljivosti (predvsem človeških) resursov. Brez informacij o razpoložljivosti resursov po vrstah in času in s tem brez informacij o zmogljivosti sistema pa je možnost zanesljivega planiranja projektov omejena. Prav tako je verjetnost, da se bodo planirane aktivnosti zares lahko izvajale in dokončale v planiranih terminih, majhna. Nekoliko manjši izziv je za podjetja pridobivanje informacij o potrebnih resursih za izvedbo aktivnosti v projektih.

Potrebe morajo biti prav tako razvrščene po časovnih obdobjih in vrstah resursov. Informacije o potrebah izhajajo iz planov projektov. Če plani temeljijo na skupnem repositoriju virov (»resource pool«), potem je mogoče relativno enostavno in v realnem času izračunati potrebe. Izziv pri tem je oblikovanje realnih planov; torej ravnotežje med pretirano optimističnimi in preveč pesimističnimi ocenami potrebnih resursov za izvedbo posamezne aktivnosti. Drugi izziv je pravilna umestitev aktivnosti v čas. Pri tem je nujno uporabiti izračune začetka in konca aktivnosti, kritično pot ter morebitne pomičnosti, ki temeljijo na tehnikah mrežnega planiranja in ne na ročnem umeščanju aktivnosti v koledar. Podjetja, ki želijo zmanjšati tveganja v projektih znotraj portfelja, morajo zato vpeljati neko obliko obvladovanja resursov, ki temelji na informacijah o razpoložljivosti in informacijah o potrebah po resursih po vrstah resursov v časovnih obdobjih.

Analize (Callahan, 2021) kažejo, da imajo podjetja in ustanove, ki obvladujejo svoje razpoložljive zmogljivosti in soodvisnost svojih virov, večjo možnost ustreznega prioretiziranja projektov v portfelju in s tem boljše poslovne rezultate. Ljudi v projektih ne moremo tretirati kot strošek, ampak kot strateški resurs! Vendar pa je kljub temu treba upoštevati dejstvo, da je npr. na področju IT projektov strošek dela največja kategorija stroškov, kar seveda zahteva nadzor. Drugi razlog povečanega zanimanja za obvladovanje resursov v multiprojektne okolju pa je povečanje obsega oddaljenega dela in virtualnih projektne timov v času pandemije. Tak način dela ima poleg ostalih dobrih in tudi slabih strani tudi večjo potrebo po usklajevanju dela ljudi, ki so na različnih lokacijah in tudi v različnih časovnih pasovih, morajo pa delovati skupaj. Po skoraj dveh letih oddaljenega dela se je izkazalo, da bodo mnoga podjetja tudi v prihodnje ohranila določen obseg dela na daljavo, hkrati pa razvila in implementirala organizacijske pristope in informacijsko podporo za spremljanje razpoložljivosti resursov in njihovih obremenitev.

Ob uvajanju tega pristopa pa je treba razumeti tudi omejitve in ovire, ki pri tem nastopijo. Tradicionalni »industrijski pristop« je še vedno osnova obvladovanja resursov tudi v multiprojektne okolju. Z večjo mero pazljivosti se je treba lotiti planiranja tistih aktivnosti, ki so na kritični poti, in tistih resursov, ki jih spoznamo kot ozka grla. Še posebej pozorni moramo biti takrat, ko je taka aktivnost v planu neposredno pred mejnikom v projektu. Vendar pa je zlasti v projektih, kjer od udeležencev pričakujemo kreativnost, inovativnost, samoorganiziranje in proaktivnost, potrebno ljudi obravnavati celovito, torej ne kot »resurse«, temveč kot »talente«. Poleg tega je treba upoštevati tudi dejstvo, da aktivnosti v projektih izvajajo

timi in ne posamezniki. Zato je treba upoštevati tudi dinamiko v timih in ustrezno sestaviti time, da bodo vloge udeležencev kompatibilne in bo tim dosegal sinergične učinke. Treba je tudi določiti nivo podrobnosti, do katerega je še smiselno planirati delo članov projektnih timov. Priporočeno je, da se to planira do nivoja aktivnosti, kjer se na podlagi trajanja aktivnosti in umeščenosti aktivnosti v projekt izračunajo datumi začetka in konca, in se oceni potrebe po resursih po vrstah resursov. Potem pa se članom tima prepusti usklajevanje dela znotraj teh gabaritov. Tu lahko govorimo o agilnosti znotraj klasičnega projektnega pristopa.

4 Diskusija in zaključek

Raziskava je bila izvedena z namenom zbrati, celovito pregledati in analizirati obetavne pristope in inovativne tehnologije, ki omogočajo digitalno transformacijo multiprojektnega okolja v podjetjih in ustanovah. V raziskavi je bil izveden pregled dostopne literature s tega področja. Analizirane so bile izkušnje več deset razvojnih in raziskovalnih projektov, ki so bili izvedeni v multiprojektne okoljih.

V tretjem poglavju so ob opisanih pristopih in tehnologijah že opisane priložnosti in ovire njihove uvedbe. Prav tako je podana razvrstitev pristopov na posamezna področja multiprojektnega managementa. Prikazana je tudi povezava med organizacijo in tehnološkimi omogočevalci v posameznem pristopu, hkrati pa je poudarjena prepletenost obojega.

V nadaljevanju pa izpostavljamo še nekaj ključnih ugotovitev raziskave.

- Projekti so enkratni in neponovljivi poslovni procesi, ki v današnjem času praviloma potekajo znotraj enega ali več podjetij in ustanov. So med seboj prepleteni in povezani z ostalimi poslovnimi procesi.
- Posamezen projekt zahteva svobodo v izvajanju, prepletenost projektov pa red pri organiziranju.
- Sistem, ki omogoča obvladovanje več projektov in delo ter sodelovanje vseh deležnikov, je sestavljen iz več podsistemov: organizacijskega, kadrovskega, informacijskega in dokumentacijskega.

- Celoto lahko povzamemo z izrazom »multiprojektno okolje«, ki je izredno kompleksno, zato se v pomoč deležnikom razvijajo različni novi pristopi in podporne tehnologije, ki omogočajo obvladovanje multiprojektne dela na sistemskem nivoju.
- Implementacija novih pristopov in tehnologij pa predstavlja ob veliki dinamiki sprememb in visokih zahtevah poslovnega okolja organizacijski in tehnološki izziv.
- Za zmanjšanje tveganja pri odločitvi za ustrezen pristop (ali kombinacijo pristopov) obvladovanja multiprojektne dela in tudi pri izbiri primerne ustrezne tehnologije (ali kombinacije tehnologij) je nujno poznati pristope in razumeti tehnologije.
- Pristope lahko razvrstimo na tiste, ki prvenstveno podpirajo in transformirajo organizacijski in kadrovski podsistem multiprojektne okolja, in tiste, ki predvsem podpirajo in transformirajo informacijski in dokumentacijski podsistem multiprojektne okolja.
- V prvo skupino sodijo zlasti, ne pa izključno: vitko obvladovanje multiprojektne portfelja, širša uporaba agilnega pristopa, prilagodljivi projektni management in poročanje, prilagodljivo upravljanje projektnega portfelja, najem storitev projektne pisarne, uvajanje pisarne za obvladovanje programov in portfelja podjetja, uvajanje produktne, namesto projektnega financiranja in voditeljstvo sprememb.
- V drugo skupino sodijo zlasti, ne pa izključno: obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo umetne inteligence, obvladovanje portfelja projektov z vgrajeno tehnologijo robotske procesne avtomatizacije, tehnologije za podporo projektnega sodelovanja, enotno obvladovanje projektov in projektnega portfelja razvoja novih produktov in enotno obvladovanje resursov v multiprojektne okolju.
- Vsi obravnavani pristopi se še razvijajo. Nekateri pristopi se že uporabljajo. Pri nekaterih pristopih pa tehnologije, ki omogočajo uvedbo, še niso zrele za operativno rabo. Vsi navedeni pristopi pa imajo potencial, da bodo v naslednjem desetletju širše uporabljeni. Pravilna in pravočasna izbira bo vplivala na učinkovito in uspešno

izvajanje projektov v multiprojektne okolju podjetij ali ustanov, ki jih bodo implementirala.

V prihodnje bi bilo smiselno izvesti longitudinalno raziskavo uporabe in uporabnosti navedenih in potencialnih novih pristopov in tehnologij, ki omogočajo obvladovanje multiprojektne okolja. Analizirati bi bilo potrebno podjetja v različnih panogah, ki imajo multiprojektne okolje, in ugotoviti, kako so organizirana in kako je njihova organiziranost informacijsko podprta. Z analizo prednosti in slabosti bi upravljavcem na tem področju ponudili zanesljivejše orodje za nadaljnje odločanje.

Literatura

- Bečan, U. (2021). Prenova delovnega procesa v finančni industriji z uvedbo robotske procesne avtomatizacije, magistrsko delo. Kranj.
- Callahan, L. (2021). Hype Cycle for Strategic Portfolio Management, Gartner Inc., ID G00747552.
- Davis, R. (2008). ARIS design platform: advanced process modelling and administration, 1st ed.; Springer: Berlin, Germany, 2008.
- Demir, C., Kocabas, I. (2010). Project Management Maturity Model (PMMM) in educational organizations, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 9.
- Beerbaum, O. D. (2021). Applying Agile Methodology to regulatory compliance projects in the financial industry: A case study research, Aalto University - Department of Accounting and Finance; Aalto University - School of Business.
- Gatner, Inc. (2022). <https://www.gartner.com/home/feed>, vpogled: 13. 2. 2022.
- Genaidy, M. A., Karwowski, W. (2003). Human performance in lean production environment: Critical assessment and research framework, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 13 (4) 317–330.
- Henderson, A. (2022). 6 Practices for Effective Portfolio Management, Gartner, Inc, ID G00766700.
- Jones, T., Stang, D. (2016). Critical Capabilities for IT Project and Portfolio Management Software Applications, Worldwide, Gartner, Inc., ID G00302243.
- Kern, T., Roblek, M., Urh, B. (2007). Prosis - project management support system. V: *Projektni menadžer - profesija budućnosti*. Beograd: Udruženje za upravljanje projektima Srbije - YUPMA, 2007. Str. 197-204.
- Kern, T., Krhač, E., Senegačnik, M., Urh, B. (2019). Digitalizing the Paints and Coatings Development Process. *Processes* 2019, 7, 539–561.
- Kern, T., Krhač Andrašec, E., Urh, B., Senegačnik, M. (2020). Digital transformation reduces costs of the paints and coatings development process. *Coatings* 2020, 10, 1–15.
- Kolisch, R. (1995). The Single-Mode Project Scheduling Problem. In: *Project Scheduling under Resource Constraints*. Production and Logistics. Physica, Heidelberg.
- Lalmia, L., Fernandesb, G., Boudemagh, S. S. (2021). Synergy between Traditional, Agile and Lean management approaches in construction projects: bibliometric analysis, CENTERIS - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN -International Conference on Project MANAGEMENT / HCist - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies.
- Light, M., Halpern, M. (2006). Understanding Product vs. Project Portfolio Management. Gartner Inc., ID G00130796.
- Likar, B., Trček, D. (2021). Orde ab Chao Method for Disruptive Innovations Creation (With COVID-19 Pandemic Case Application). *Front. Psychol.*
- Meglič, J. (2006). Alokacija človeških virov v procesu razvoja proizvoda glede na poslovno strategijo (doktorska disertacija). Kranj: Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede.

- Metuge, E., Otegi Olaso, J. R. (2020). Operational Challenges, From PMO to EPMO Execution and Operation Case Study Within Electricity Producing Companies (Four Selected Companies Within EU28). Preprints.
- Magalhaes, J., Chua, T. S., Mej, T., Smenton, A. (2021). The Next Generation Multimodal Conversational Search and Recommendation. MM '21: Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia, October 2021.
- Nichols, C. R. (2021). What leadership styles and traits do industry partners need to exhibit to produce positive outcomes from collaborative projects with researchers from other types of organizations, *Muma Business Review*, volume 5.
- Olding E. (2021). Use the ESCAPE Model to Develop Change Leadership, Gartner Inc., ID G00360911.
- Novak, R., Janeš, A. (2017). *Merjenje zrelosti procesne usmerjenosti*. Koper: Založba Univerze na Primorskem.
- Paullada, A., Raji, I. D., Bender, E. M., Denton, E., Hanna, A. (2021). Data and its (dis)contents: A survey of dataset development and use in machine learning research. *Patterns*, Volume 2, Issue 11, 12. november 2021.
- PMI (2008). *Vodnik po znanju projektnega vodenja: (PMBOK vodnik): tretja izdaja*. Kranj: Moderna organizacija, 2008.
- PMI (1996). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge, (PMBOK® Guide)*. Project Management Institute (PMI), USA, 1996, 2000, 2004, 2008, 2012, 2016.
- PPMaaS PMO Strategy Consulting (2022). *Program and Portfolio Management as a Service - PMO Services*. Vpogled: 13. 2. 2022.
- PRINCE (2010). *Project In Controlled Environment. Introduction, Management, Quality and Technical Guides*. NCC Blackwell Ltd., Oxford.
- Rant, M., Jeraj, M., Ljubič, T. (1998). *Vodenje projektov*. POIS Radovljica, Kranj.
- Rant, Ž. (2003). *Kontinuirano učenje kot stalnica v procesni organizaciji*, magistrska naloga, Kranj.
- Roblek, M., Urh, B., Zajec, M., Kern, T. (2010). Harmonization of software development methods and the method of project management. *People and organization, proceedings of the 29th International Conference on Organizational Science Development*.
- Roblek, M., Petrovič, D., Kern, T. (2016). Methodology of reengineering of new product development process in SMEs. *Sustainable organization: proceedings of the 35th International Conference on Organizational Science Development*.
- Stang, D., Handler, R. (2022). *Strategic Portfolio Management Primer for 2022*, Gartner Inc., ID G00759066.
- Syed, R., Suriadi, S., Adams, M., Bandara, W., Leemans, S. J. (2019). *Robotic Process Automation: Contemporary themes and challenges*. *Computers in Industry*, str. 11–5.
- Swarup, L. (2019). *Exploring the role of project priority on the application of project delivery practices in a group of multiple projects*, PhD Proposal, Architecture Engineering Construction Management, Carnegie Mellon University.
- Tasić, V. (2013). *Models for determining priorities between projects in multi-project environment, master's thesis, Organization and management of business and working systems*. Kranj.
- Tjebane, M. M., Musonda, I., Okoro, C. S. (2021). *A Systematic Literature Review of Influencing Factors and Strategies of Artificial Intelligence Adoption in the Construction Industry*. Published under licence by IOP Publishing Ltd. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 1218, Creative Construction Conference (CCC 2021) 28th-30th June 2021, Budapest, Hungary.
- Groznik, A., Weber, P., Kern, T. (2011). Assessing organisational virtuality. *African journal of business management*, vol. 5, 8, str. 3132–3138.
- Willcocks, L., Lacity, M., Craig, A. (2015). *The IT Function and Robotic Process Automation. The Outsourcing Unit*, Vpogled: 15. 1. 2022, http://eprints.lse.ac.uk/64519/1/OUWRPS_15_05_published.pdf.
- Wu, Z., Liu, W., Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. *Int J Adv Manuf Technol* 112, 1409–1436.

MANAGEMENT RAZVOJA IZDELKA IN OSKRBOVALNIH VERIG Z UPORABO FUNKCIONALNE ANALIZE

DUŠAN MEŽNAR, MARJAN SENEGAČNIK

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
dusan.meznar@guest.um.si, marjan.senegacnik@um.si

Sinopsis Osnovni namen tega članka je predstaviti primer uporabe razširjene funkcionalne analize kot orodja za razvoj izdelkov ter vzporedno s tem tudi oblikovanje in upravljanje dobavne verige. Uporaba metode omogoča, da že v zelo zgodnjih fazah razvoja in koncipiranja izdelka dobimo informacijo o tem, kateri sklopi ali sistemi nekega izdelka bi bili lahko kritični bodisi z vidika dobavljalnosti, cene ali vzdrževanja; torej z vidika vseh tistih faktorjev, ki imajo neposreden vpliv na eksploatacijo izdelka in pa tudi na njegov položaj na trgu oziroma na njegovo prodajljivost. S tem pristopom lahko z uporabo matrike stopnje pomembnosti sklopov in sistemov, ki sestavljajo vozilo, iz matrike razmerij med stroški in koristmi (cost/benefit matrike) ter matrike podpore oskrbe (razmerje med indeksom oskrbe in potrebnimi časi za popravila) že v zelo zgodnji fazi razvoja izdelka snovalci izdelka ugotovijo bistvene faktorje (struktura izdelka, cena posameznih delov, zanesljivost, logistika ...), torej vse tiste elemente, ki imajo bistveni vpliv na koncept izdelka, posredno pa je to tudi osnova za upravljanje z nabavnimi mrežami.

Ključne besede:

funkcionalna
analiza,
matrika,
upravljanje
oskrbovalne verige,
razvoj izdelka,
električna vozila

PRODUCT DEVELOPMENT AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT USING FUNCTIONAL ANALYSIS

DUŠAN MEŽNAR, MARJAN SENEGAČNIK

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
dusan.meznar@guest.um.si, marjan.senegačnik@um.si

Abstract The main purpose of this paper is to present an example of the use of extended functional analysis as a tool for product development and, in parallel, supply chain design and management. The method allows us to obtain information at very early stages of product development and design about which components or systems of a product might be critical, either in terms of deliverability, costs or maintainability; in terms of all those factors that have a direct impact on the performance of the product and also on its position on the market or on its marketability. Using this approach, the cost/benefit matrix and the logistics support matrix (the ratio of the support index to the repair times required), the product designers can identify the essential factors (product structure, price of individual parts, reliability, logistics) at a very early stage of product development, i. e. all those elements that have a significant impact on the product concept. Indirectly, this is also the basis for the management of the procurement networks.

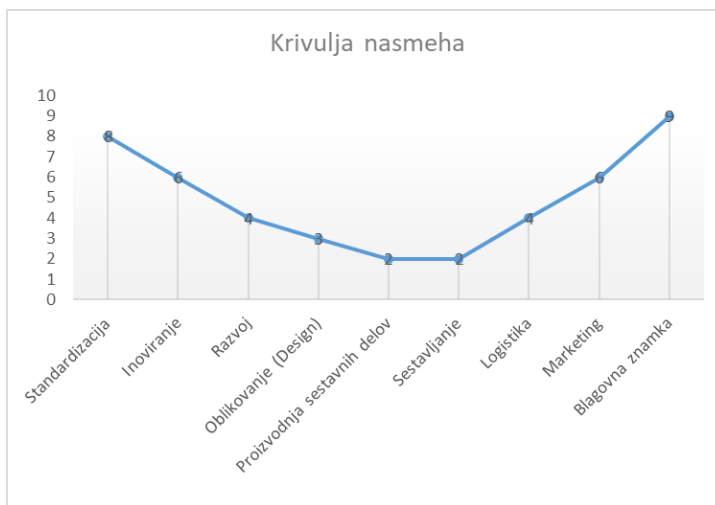
Keywords:

functional analysis,
matrix,
supply chain
management,
product
development,
electric vehicles



1 Uvod

Globalizacija in pa seveda sodobne proizvodne in razvojne metode so omogočile, da proizvodni proces razčlenimo na posamezne faze. To je omogočilo, da sestavne dele, komponente, sklope in sisteme proizvajajo in dobavljajo različni dobavitelji na različnih lokacijah po svetu. Oblikovale so se oskrbovalne verige in omrežja vrednosti. Oskrbovalne verige združujejo vse dejavnosti in celoten nabor aktivnosti, ki jih člani oskrbovalne verige izvedejo na izdelku ali storitvi od zasnove, razvoja, proizvodnje ter končne uporabe ter v fazah po njihovi uporabi. Za podjetja, ki so člani teh oskrbovalnih verig, predstavlja to veliko število priložnosti. Predvsem se to nanaša na njihovo pozicioniranje na krivulji vrednosti, ki je poznana tudi pod imenom »krivulja nasmeha« (Shin, 2012), ki je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Krivulja dodane vrednosti (Brawn, 2014)

Vir: lasten.

Kot je razvidno s slike 1, se na krivulji dodane vrednosti največji delež dodane vrednosti ustvarja v zgodnjih fazah nastajanja nekega izdelka in pa fazah plasmaja na tržišče. To pomeni, da se ustvari največji delež dodane vrednosti v fazi razvoja in koncipiranja izdelka, torej pred proizvodnimi aktivnostmi ter po sami proizvodnji, in sicer v fazah prodaje, marketinga ter poprodajnih aktivnosti. Poslovne funkcije, ki so na locirane v osrednjem delu krivulje; torej proizvodnja, sestavljanje – imajo le majhen delež dodane vrednosti.

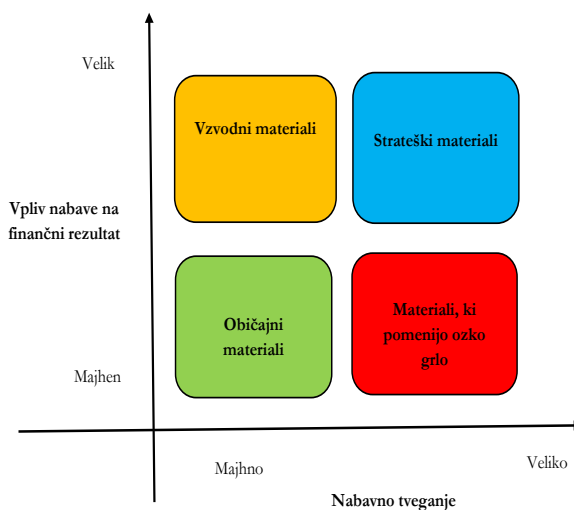
Iz tega je razvidno, da tisti, ki bodo v svoje delovanje hitreje in uspešneje integrirali razvoj, koncipiranje izdelka, marketing, prodajo in poprodajne aktivnosti, bodo dosegali višjo dodano vrednost. Pri tem so seveda zelo pomembne zgodnje faze razvoja in koncipiranja izdelka, definiranje najustreznejših sklopov in sistemov ter zelo selektivna izbira dobaviteljev in partnerjev v verigi vrednosti. Skrbno načrtovana oskrbovalna veriga z izbranimi dobavitelji ali partnerji namreč prinaša dostop do know-how, dostop do specializiranih znanj ter pomeni dvig inovativnosti, večji potencial rasti in hitrejši razvoj podjetja.

Specifičnost krivulje vrednosti glede na ustvarjanje dodane vrednosti močno vpliva na nabavo in pogojuje nove pristope pri upravljanju oskrbovalnih verig, predvsem pa na povečevanje dodane vrednosti znotraj oskrbovalnih verig. Zelo pomembno je dejstvo, da pri nekaterih proizvodnih podjetjih lahko nabava predstavlja med 50 do 80 % celotnih stroškov podjetja. Dejstvo je, da nabava kot taka predstavlja strateško funkcijo, ki pa je močno izven okvirov samo nabave surovin ali komponent za proizvodni proces. Oskrbovalna funkcija ima bistveno vlogo pri stroškovni optimizaciji in seveda s pravilnim razumevanjem in obvladovanjem celotne verige dodane vrednosti tudi vpliv na profitabilnost podjetja. Osnova naloga nabave je obvladovanje stroškov, virov, zahtev že v razvojnih fazah izdelkov. To pa je tudi osnova za kakovostne odločitve, ki so povezane s stroškovno učinkovitostjo. Nabavne kompetence so vzvodje in način za povečevanje donosnosti naložb (ROI) v poprodajne aktivnosti, samo prodajo in pa marketing.

Ne glede na to, da z novimi metodami in tehnologijami postaja nabava oziroma upravljanje z nabavnimi verigami kompleksnejši proces, ostaja njen cilj isti: služiti kot podpora pri razvoju novih izdelkov, povečevati konkurenčnost in prispevati k višji dodani vrednosti.

Zelo uporabno orodje upravljanja oskrbovalne verige je »matrika upravljanja nabave«, razvita z implementacijo portfeljskega pristopa na področju nabave (Kraljič, 1983). Glavna ideja je zmanjševanje nabavnega tveganja oskrbovalnih proizvodov (izdelkov in storitev) ob čim višji nabavni moči (Kraljič, 1983).

V tej matriki razvrstimo materiale – glede na njihovo oceno doprinosa pri dobičku in na njihovo nabavno tveganje – v štiri kategorije. Vsaka kategorija pa glede na odnos do dobaviteljev zahteva tudi drugačen pristop.



Slika 2: Matrika upravljanja nabave

Vir: lasten.

Te kategorije so:

- a. **Strateški proizvodi** – z velikim vplivom na profitabilnost so podvrženi visokemu nabavnemu tveganju in imajo najvišjo prioriteto. Ključnega pomena je razvijanje partnerstev z dobavitelji.
- b. **Vzvodni proizvodi** – imajo visok vpliv na dobiček in nizko nabavno tveganje. Tu poskušamo doseči visoko nabavno moč, nadomeščamo in zamenjujemo dobavitelje in naročamo v velikih količinah.
- c. **»Ozka grla«** – sledimo cilju po zmanjševanju tveganj in iščemo načine za odpravo le-teh.
- d. **Nekritični proizvodi** – nizek vpliv na dobiček, nizko nabavno tveganje. Standardizacija v nabavnem procesu ter uvedba sodobnih tehnologij in tehnoloških orodij s ciljem izboljševanja in optimizacije nabavnega procesa.

Za uspešno upravljanje oskrbovalne verige ne zadostuje ena sama strategija. Nabavne strategije se med seboj razlikujejo, odvisne pa so od skupin sestavnih delov in pa od posameznih dobaviteljev ter od razmer na oskrbovalnih trgih. Zaradi spremenljivega in turbulentnega tržnega okolja pa se morajo strategije spreminjati in stalno prilagajati trenutnim razmeram. Oblikovanje primernih strategij je stalna in

zelo kompleksna naloga. Z upoštevanjem vseh dejavnikov in sprememb, ki vplivajo na izbiro neke nabavne strategije, se namreč pojavi tudi nuja po prilagoditvi strategije same nabave.

Za pravilno in učinkovito upravljanje posamezne nabavne kategorije je bistveno pravilno pozicioniranje. Vsaka kategorija ima svoje specifične lastnosti, te pa zahtevajo različen pristop do dobaviteljev in pa seveda temu primerno uporabo oskrbovalnih tehnik. Bolj kot je oskrbovalna veriga globalizirana, bolj je kompleksna, večji je pomen upoštevanja raznovrstnih tveganj.

Pri obravnavanem izdelku, tj. pri električnem avtu, se bomo osredotočili predvsem na strateške sklope in sisteme, ki so na eni strani bistveni za funkcionalnost izdelka in ga okarakterizirajo v tehničnem in tehnološkem smislu, po drugi strani pa tudi cenovno in kvalitativno pozicionirajo na trgu.

Pri sočasnem razvoju izdelkov in oskrbovalnih verig je treba upoštevati, da v podjetjih obstajata dve različni verigi, in sicer **oskrbovalna veriga**, ki se osredotoča na pretok fizičnih izdelkov od dobaviteljev skozi proizvodnjo in distribucijo vse do maloprodajnih trgov in strank, in **razvojna veriga**, ki se osredotoča na uvajanje novega izdelka in vključuje arhitekturo izdelkov, odločitve o izdelavi/nakup, zgodnejše vključevanje dobaviteljev, strateško partnerstvo, poreklo izdelka. Zelo pomembno pa je, da razumemo in upoštevamo osnovne značilnosti dobavne verige, kot so negotovost in spremenljivost, zlasti učinek »bikovega biča«, ekonomijo obsega v proizvodnji in prevozu ter čas izdelave in dobave ter osnovne značilnosti razvojne verige; hitrost prenosa tehnologije, hitrost, s katero se tehnologija v določeni panogi spreminja, odločitev »narediti sam« (proizvesti sam) ali nakup pri dobaviteljih, torej odločitev o tem, kaj narediti interno in kaj kupiti od zunanjih dobaviteljev, kakšna je struktura izdelka, raven modularnosti ali integritete v izdelku itd.

Ključna prednost razvojne vloge je prihranek časa pri razvoju novih izdelkov ter v manjših razvojnih in proizvodnih stroških le-teh. Ključno je vključevanje strateške nabave in dobaviteljev v razvoj novih proizvodov in procesov že v zelo zgodnjih fazah, v optimizacijo obstoječih proizvodov in procesov, v zmanjševanje stroškov kakovosti ter povečevanje robustnosti in fleksibilnosti proizvodnih sistemov.

Bistven sestavni element pri razvoju izdelkov, ki je neposredno povezan z upravljanjem oskrbovalnih verig, je razvoj dobaviteljev. Vsekakor je neobhodno dejstvo, da je za uspešno izvajanje svojih strateških oskrbovalnih strategij nujno potrebno stalno investirati v razvoj dobaviteljev, in sicer s ciljem, da lahko sledijo podjetju pri razvoju izdelkov. Koliko časa, energije in stroškov bo namenjeno posameznemu dobavitelju, je odvisno od pomembnosti dobavitelja, od preteklega sodelovanja, od medsebojnih odnosov in od vzajemnih ciljev, ki jih želimo doseči pri sodelovanju s posameznim dobaviteljem.

Pri tovrstnem pristopu je delo z dobavitelji omejeno le na ohranjanje obstoječega sodelovanja in dogovorov. Odločitev podjetij, da obvladujejo svoje nabavne verige, pomeni zelo proaktivno vlogo nabave ter razvojnega oddelka pri sodelovanju z dobavitelji in usmerjanju njihovega razvoja. Dobavitelji, ki predstavljajo strateško nabavno osnovo in na katerih bo podjetje razvijalo svojo nabavno verigo, morajo biti zelo skrbno izbrani.

Dejstvo je, da je cilj imeti čim boljše nabavno mrežo in v tej vključene najboljše dobavitelje. Problem pa nastane, da jih je včasih zelo težko najti ali pa ti nočejo sodelovati. Tedaj je pač potrebno najti tistega, za katerega menimo, da je najustreznejši, in se ga potem razvija in usmerja tako, da bo kar najbolj optimalno sledil zahtevam podjetja. Usposabljanje in razvoj dobaviteljev se nanašata predvsem na področje projektnega vodenja, ekipnega in vzajemnega sodelovanja, izboljševanja kakovosti, celovitega obvladovanja procesov in procesa nenehnega inoviranja. To pa pomeni zelo tesen – partnerski odnos in pa seveda direkten vpliv na ostale člene oskrbovalne verige, na njeno delovanje in uspešnost.

Razmerje med partnerjema vpliva na samo delovanje oskrbovalne verige, določa pa ga več dejavnikov (Duclos, 2003):

- **Prilagajanje:** Z drugimi besedami, prilagajanje vseh skupnih poslovnih aktivnosti. V smislu dolgoročnega sodelovanja je razvoj dobaviteljev usmerjen na izboljševanje in optimiranje celotnega poslovnega procesa ter prenosa znanja. To pa prinaša dolgoročne koristi obema: kupcu in dobavitelju na komplementarnih področjih njunega delovanja.

- **Zapletenost odnosa:** V medsebojnih odnosih se v proces sodelovanja in komuniciranja vključuje večje število oseb. Zapletenost odnosa je odvisna od zahtevnosti in širine problematike.
- **Vrednotenje medsebojnega odnosa kot dolgoročne investicije:** Odvisno od strategije so določeni dobavitelji okarakterizirani kot dolgoročni partnerji. V odnosu s takšnim dobaviteljem so stroški, znanje in vložen čas, ki je s tem povezan, ovrednoteni kot dolgoročna investicija, ki se bo povrnila. Takšen status ekonomsko in strateško upravičuje razvoj dobavitelja in tudi pripravo in prilagoditev dobavitelja za dolgoročno sodelovanje.
- **Medsebojno zaupanje namesto formalnih odnosov:** Dobavitelj z višjim nivojem medsebojnega zaupanja, ki s skupnim zaupanjem pripomore k zmanjšanju negotovosti sodelovanja in poslovanja na obeh straneh, ima s tem večjo možnost, da postane strateški dobavitelj.
- **Moč in odvisnost:** Med partnerji obstaja medsebojna odvisnost, razporeditev moči pa lahko zelo variira. Ne glede na razporeditev moči, je bistven korekten prenos znanja in informacij, saj je to osnova za konkurenčnost.
- **Konflikt in sodelovanje:** Pri sodelovanju se ni možno izogniti konfliktnim situacijam, ki so posledica različnih interesov partnerjev. Usklajevanje je tudi način prenosa mišljenja, usmeritev in strategij posameznih partnerjev in je orodje za uskladitev interesov.

2 Integracija dobaviteljev v razvoj novih izdelkov

Integracija dobaviteljev v razvoj novih izdelkov v začetnih razvojnih fazah je zelo pomembna predvsem, ker imajo podjetja izredne koristi od vključevanja dobaviteljev v proces načrtovanja, in sicer ima to zelo močan vpliv na zmanjšanje nabavnih materialnih stroškov, povečanje kakovosti kupljenega materiala, bistveno zmanjšanje razvojnega časa in stroškov ter povečanja ravni tehnologije končnega izdelka.

2.1 Načini integracije dobaviteljev

Eden izmed bistvenih faktorjev za uspeh je način integracije dobavitelja, ki pa je odvisen od sposobnosti dobavitelja, njegovih resursov in pa od kompleksnosti izdelka.

Možnih je več pristopov, in sicer:

1. **Brez integracije dobaviteljev** – dobavitelj ni vključen v načrtovanje. Enostavno uporabimo sklope in sisteme, ki jih je možno dobiti na trgu, oziroma materiali ali podsklopi so dobavljeni v skladu s specifikacijami oziroma so bili projektirani s strani kupca.
2. **»White box«** – kupec ima nekaj strokovnega znanja, vendar želi zagotoviti, da lahko dobavitelj ustrezno proizvaja komponento. Tu gre za neformalno sodelovanje, bistveno pa je, da se kupec pri oblikovanju izdelkov in specifikacij neformalno posvetuje z dobaviteljem.
3. **»Grey box«** – ločen razvoj komponent ni mogoč. Gre za formalno vključevanje dobaviteljev, kjer se oblikujejo skupne ekipe med kupčevimi in dobaviteljskimi inženirji in skupaj oblikujejo nek izdelek ali storitev.
4. **»Black box«** – prihodnji izdelki imajo komponente, ki zahtevajo strokovno znanje in izkušnje, ki jih podjetje nima, razvoj teh komponent pa je mogoče ločiti od drugih faz razvoja izdelka. Značilnost tega pristopa je, da kupec daje dobavitelju nabor vmesnih zahtev, medtem ko dobavitelj samostojno oblikuje in razvija zahtevano komponento.

2.2 Ključi za integracijo dobaviteljev

Integracija dobaviteljev ni enostaven postopek, predvsem pa gre za precej zahteven in kompleksen proces, kjer je bistveno ustrezno selekcioniranje dobaviteljev, pri čemer so odločilni naslednji elementi:

1. **Uspešnost odnosa** – najprej je treba izbrati potencialne dobavitelje in z njimi vzpostaviti odnose ter uskladiti cilje.
2. **Kateri dobavitelji se lahko vključijo?** – to je ključno vprašanje, ki se pojavi v procesu izbora potencialnih dobaviteljev.

Primerni so tisti dobavitelji, ki imajo zmožnost sodelovanja v procesu načrtovanja, ki izražajo pripravljenost za sodelovanje v procesu oblikovanja novega izdelka ali storitve, s katerimi je možno doseči sporazume o vprašanih intelektualne lastnine in zaupnosti, ki imajo dovolj časa in resursov za projekt (kadrovskih) in imajo zadostna sredstva za prevzemanje obveznosti v zvezi z integracijo.

2.3 Način prilagajanja izdelkov

Glede na naravo in značilnosti končnega izdelka sta v principu možna dva pristopa, in sicer za nekatere izdelke je lahko primerna nizkocenovna strategija manjše raznolikosti, za druge bi bila učinkovitejša strategija z višjo ceno, večjo raznolikostjo in prilagodljivostjo.

Ko razvijamo sistem prilagajanja izdelkov, pa ti kompromisi niso nujno potrebni, saj je potrebno le-tega prilagoditi bistvenim značilnostim izdelka oziroma ni vsak model primeren za vse izdelke. Bistveni cilj, ki ga pri tem zasledujemo je, da pridobimo konkurenčno prednost, ki nam pomaga pri vpeljavi in vodenju novih poslovnih modelov.

Predpogoj za uvedbo sistema prilagajanja so: visoko kvalificiran in avtonomen kader, ustrezní procesi in modularizacija proizvodov, pri čemer morajo biti izpolnjeni naslednji ključni atributi:

1. Trenutni učinki

Moduli in procesi morajo biti zelo hitro povezljivi.
Omogočanje hitrega odziva na različne zahteve strank.

2. Brez stroškov

Povezave ne smejo povzročati dodatnih stroškov.
Prilagajanje mora biti cenejša in poceni alternativa.

3. Nevidnost procesov

Povezav in posameznih modulov uporabnik oziroma kupec ne sme zaznati.

4. Procesí brez trenja

Mreže ali zbirke modulov morajo biti koncipirane z ustreznimi rezervami. Moduli morajo biti 100-% kompatibilni in takoj povezljivi in integrabilni.

3 Električni avtomobili in njihov razvoj

3.1 Razlogi za uvajanje električnih avtomobilov

Že nekoliko pred letom 2000, predvsem pa v začetku novega tisočletja se je močno povečal pomen električnih avtomobilov. Pri tem imajo bistveno vlogo predvsem okoljski vidiki – tako zahteve po zmanjšanju emisij toplogrednih plinov kot tudi skrb za izboljšanje kakovosti ozračja. Znano je, da izpušni plini avtomobilov z motorji z notranjim izgorevanjem predstavljajo pomemben vir emisij tako polutantov oziroma onesnažil ozračja kot tudi toplogrednih plinov.

Pod pojmom onesnažila oziroma polutanti smatramo snovi, ki so prisotne v zraku in so neposredno škodljive za človeško zdravje ali pa tudi za druge žive organizme. K poslabšanju ozračja v urbanem okolju pomembno prispevajo izpušni plini avtomobilov. Med onesnažila iz avtomobilskih emisij sodijo ogljikovodiki, ogljikov monoksid, dušikovi oksidi in trdni delci. Polutanti, katerih mejne koncentracije v zraku so najpogosteje presežene, so trdni delci in ozon (ARSO, 2021). Ozon je sekundarni polutant, ni prisoten v izpušnih plinih, ampak nastane v ozračju pod vplivom sončnih žarkov pri reakcijah med ogljikovodiki in dušikovimi oksidi. Tako so emisije iz avtomobilskih motorjev med pomembnimi povzročitelji prizemnega ozona, ki je škodljiv predvsem za dihala. Povišane koncentracije prizemnega ozona, ki so pogoste v vročih poletnih dneh, povzročajo težave predvsem ljudem z astmo (Zhang idr., 2019).

Druga vrsta polutantov, katerih mejne koncentracije so pogosto presežene v hladnem delu leta, so trdni delci. Trdni delci imajo škodljive učinke na dihala in živčevje, predvsem pa na srce in ožilje. Po ocenah svetovne zdravstvene organizacije so povišane koncentracije trdnih delcev v zraku v svetovnem merilu vzrok za okoli 3 milijone predčasnih smrti letno (Curry Brown, 2013). Raziskave so potrdile škodljive vplive tako dolgotrajne kot tudi kratkotrajne izpostavljenosti zvišanim koncentracijam trdnih delcev (Brook idr., 2010). Sodobni avtomobilski motorji so sicer opremljeni z zelo učinkovitimi katalitičnimi pretvorniki in filtri trdnih delcev, ki lahko omogočijo minimalne emisije polutantov v ozračje, a kljub temu še vedno poslabšana kakovost zraka v urbanem okolju in z njo povezano ogrožanje zdravja ostaja precejšen problem.

Toplogredni plini so snovi, ki povečajo sposobnost ozračja, da zadrži toploto. Pojav tople grede je do določene mere normalen pojav, brez katerega bi bila povprečna temperatura na Zemlji okrog 30 °C nižja, kot je, kar bi pomenilo praktično nemogoče pogoje za rast rastlin. Problem tako ne predstavlja pojav tople grede sam po sebi, ampak dejstvo, da človek s svojimi dejavnostmi vsako leto emitira v ozračje veliko količino toplogrednih plinov in tako dodatno prispeva k pojavu tople grede. Vsebnost toplogrednih plinov v ozračju tako stalno narašča, zato atmosfera absorbira čedalje več toplote, ki jo oddaja zemeljska površina, in se zato vedno bolj segreva. Največ k temu tako imenovanemu antropogenemu pojavu tople grede prispevajo emisije ogljikovega dioksida. Zaradi velike porabe fosilnih goriv se v ozračje emitira vsako leto precej več ogljikovega dioksida, kot pa ga lahko porabijo avtotrofni organizmi pri fotosintezi. Emisije ogljikovega dioksida so zato odgovorne za okoli 50 do 60 % prispevka k antropogenemu pojavu tople grede. Pomemben delež pri tem zavzemajo emisije avtomobilskih izpušnih plinov.

Avtomobili, ki jih poganja elektromotor, ne oddajajo v ozračje nikakršnih izpušnih plinov. Zato jih označujejo kot vozila z ničelno stopnjo emisije (ZEV - zero emission vehicles). Treba je upoštevati, da je potrebno pridobiti električno energijo za pogon teh avtomobilov. Če je energija pridobljena iz brezogljicnih virov, kot so jedrska energija, sončna energija, vodna ali vetrna energija, to vsaj teoretično pomeni, da ne povzroča niti emisij toplogrednih plinov niti onesažil. Če pa je v električno energijo vključena tudi elektrika iz termoelektrarn, pa to v bistvu pomeni, da se emisije izpušnih plinov v ozračje prenesejo neposredno iz avtomobila na dimnik termoelektrarne. Vsaj v primeru onesažil to vendarle pomeni določeno izboljšavo, saj običajno termoelektrarne niso postavljene v središčih mest in je tako možno doseči boljšo kakovost ozračja v urbanem okolju in s tem zmanjšati škodljive vplive na zdravje. Kar se tiče prispevka k pojavu tople grede, pa je odvisno, kolikšen del električne energije je pridobljen v termoelektrarnah. Če je večina ali pa celotna električna energija pridobljena v termoelektrarnah, je znižanje ogljičnega odtisa ob uporabi električnega avtomobila minimalno ali pa ga sploh ni. V primeru, če uporabnik polni baterije z električno energijo iz omrežja, je ogljični odtis uporabe avtomobila odvisen od nacionalne strukture proizvodnje električne energije posamezne države. Te vrednosti pa se med posameznimi evropskimi državami močno razlikujejo (EEA, 2021).

3.2 Zgodovinski pregled

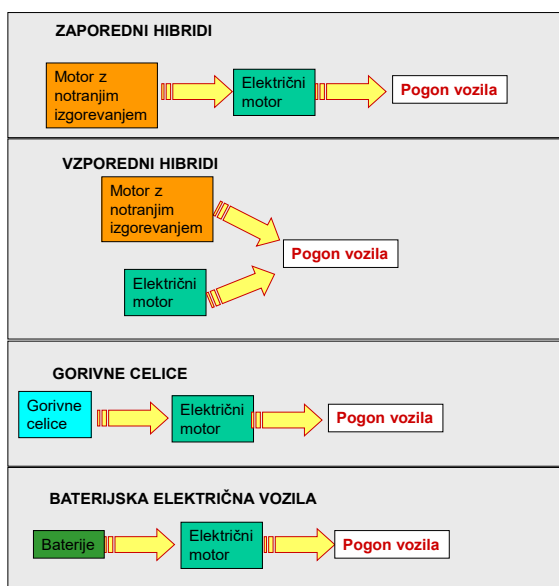
Zmotno je prepričanje, da gre v primeru električnih avtomobilov za novost, ki so jo omogočila šele zadnja znanstvena odkritja. Električni avtomobili imajo praktično povsem enako dolgo zgodovino kot avtomobili na bencinski motor. Prvi praktično uporaben električni avtomobil je izdelal Thomas Parker leta 1884, prvi bencinski avtomobil pa Carl Benz v letih 1885/86 (Guarnieri, 2012; *Owning an electric car*, 2010-11; Daimler, b. d.). V začetnem obdobju razvoja avtomobilizma so bili električni avtomobili popolnoma konkurenčni avtomobilom z bencinskim motorjem. V ZDA so tako npr. prodali največ električnih avtomobilov leta 1912. Po letu 1920, to je ravno v obdobju, ko se je začel razvoj množičnega avtomobilizma v Severni Ameriki, pa so začeli prevladovati avtomobili z bencinskimi motorji in približno v obdobju 10 let praktično popolnoma prevladali. Za prevlado bencinskih motorjev so bile odločilne razne tehnične izboljšave, kot sta električni vžig motorja in izpopolnjeni menjalniki (Guarnieri, 2012). Pomemben vpliv so imele tudi čedalje boljše cestne povezave, ki so povečale aktualnost daljših medmestnih voženj. S tem je prišla do izraza tudi glavna prednost bencinskih avtomobilov, to je daljši doseg vožnje. Nato so električni avtomobili vse do konca dvajsetega stoletja imeli praktično povsem obrobno vlogo in se uporabljali le v razne posebne namene (*Owning an electric car*, 2011–12). Šele po letu 1990 pa so predvsem iz okoljevarstvenih razlogov postali električni avtomobili spet aktualni. Vsekakor pa je na ponoven vzpon električnih avtomobilov imel pomemben vpliv razvoj novih, precej zmogljivejših litijevih baterij (Battery University, 2021).

3.3 Vrste električnih avtomobilov

Med električne avtomobile sodijo vsi avtomobili, ki jih poganja električni motor. Obstajajo različne izvedbe – hibridni avtomobili imajo dva motorja – poleg električnega motorja še motor z notranjim izgorevanjem (običajno bencinski motor). Ločimo vzporedne ali paralelne hibridne avtomobile, kjer praviloma poganja vozilo le eden izmed obeh motorjev, le kadar je potrebna velika moč, se lahko vklopita hkrati oba motorja. Obstajajo pa tudi zaporedni ali serijski hibridi, kjer kolesa vozila poganja izključno elektromotor, motor z notranjim izgorevanjem pa služi le kot agregat za pridobivanje elektrike.

Pri vzporednih hibridih obstajajo izvedbe, ki imajo le šibek električen motor in ta predstavlja samo malenkostno podporo motorju z notranjim izgorevanjem; po drugi strani pa tudi vozila, kjer sta zmogljivosti obeh motorjev zelo podobni. Mnogi hibridni avtomobili imajo danes možnost polnjenja baterij iz zunanjšega vira – tako imenovani priključni hibridi (plug-in hybrid electric vehicles – PHEV)(U.S. Department of Energy, b.d. a; EVgo, 2022).

Med električne avtomobile načeloma sodijo tudi avtomobili na gorivne celice (FCEV – fuel cell electric vehicles), saj tudi njih poganja elektromotor. Gorivne celice delujejo kot galvanski člen, saj omogočajo pretvorbo kemične energije v električno. Za razliko od baterij pa oba reaktanta vstopata od zunaj, vodik iz rezervoarja za gorivo, kisik pa iz zraka (U. S. Department of Energy, b. d. b; EVgo, 2022).



Slika 3: Različne izvedbe električnih avtomobilov

Vir: <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/>

V ožjem smislu pa kot električne avtomobile smatramo baterijske električne avtomobile (BEV – battery electric vehicles). Ta vozila poganja le elektromotor, kot edini vir električne energije pa služi baterija (U. S. Department of Energy, b. d. c; EVgo, 2022).

Različne variante električnih avtomobilov predstavlja slika 3.

3.4 Vrste baterij

Glavna slabost električnih avtomobilov v primerjavi z bencinskimi in dizelskimi avtomobili je kratek doseg vožnje z enim polnjenjem baterije, dodatne komplikacije pa ob tem povzročajo še dolg čas polnjenja baterije. Medtem ko avtomobili z bencinskim motorjem brez težav prevozijo z enim rezervoarjem goriva okrog 500 km, pri najbolj varčnih dizelskih motorjih se lahko doseg podaljša preko 1000 km, pa je ta doseg pri električnih avtomobilih precej manjši. Poleg tega pa se tudi za razliko od posode za gorivo, ki se napolni v nekaj minutah, baterija polni več ur. Težavo predstavlja omejena energijska gostota baterij. Zaradi tega se pojavlja dokaj težko rešljiv problem, kako v baterijo sprejemljivo maso shraniti dovolj energije, ki bo vozilu omogočala sprejemljiv doseg vožnje. Vrsto desetletij so prevladovali svinčene baterije, ki pa imajo relativno nizko energijsko gostoto. Tovrstne baterije so se sicer izkazale kot zelo dobra rešitev za vir električne energije pri avtomobilih z bencinskim ali dizelskim motorjem. Tam baterije zagotavljajo električno energijo, potrebno npr. za vžig, razsvetljavo ali pa za delovanje posameznih električnih naprav, kot so ventilatorji, brisalci ipd. Niso pa se svinčeve baterije najbolje obnesle v električnih avtomobilih, kjer mora baterija zagotoviti tudi energijo za pogon motorja, saj je bil doseg vožnje zelo skromen. To pa je vrsto let predstavljalo tudi glavno oviro za večjo razširjenost uporabe električnih avtomobilov.

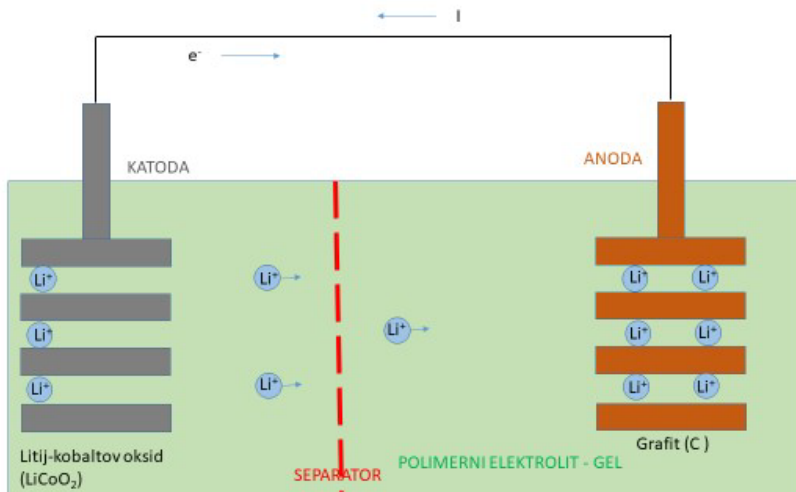
Da so se električni avtomobili spet uveljavili kot realna alternativa avtomobilom z bencinskim ali dizelskim motorjem, je predvsem zasluga razvoja novih, zmogljivih baterij. Precejšen napredek glede energijske gostote so v primerjavi s svinčeno baterijo pokazale že različne izvedbe nikljevih baterij (nikelj-kadmijeva in nikelj kovinsko-hidridna baterija), kot najbolj perspektivne pa so se izkazale litij-ionske baterije. Tehnične značilnosti posameznih vrst baterij so prikazane v tabeli 1 (EPEC, 2021).

Tabela 1: Tehnične značilnosti posameznih vrst baterij

	Svinčeva baterija	Nikelj-kadmijeva baterija	Nikljeva kovinsko-hidridna baterija	Litij-ionska baterija (kobaltat)	Litij-ionska baterija (manganat)
Energijska gostota / Wh kg ⁻¹	30–50	45–80	60–120	150–190	100–135
Število polnjenj (80 % razelektritev)	200–300	1000	300–500	500–1000	500–1000
Napetost člena / V	2,0	1,2	1,2	3,6	3,8
Čas hitrega polnjenja / h	8-16	1	2–4	2–4	1

Vir: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

V zadnjem obdobju so se najbolj uveljavile litij-ionske baterije, predvsem izvedba z litij-kobaltovim oksidom, kjer je katoda iz litij-kobaltovega oksida, anoda pa iz grafitu. Shematsko je ta oblika litij-ionske baterije prikazana na sliki 4 (Panasonic Industries, b. d.).



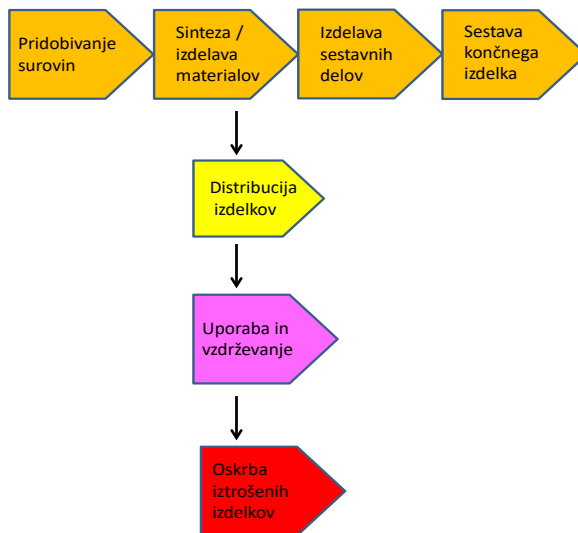
Slika 4: Shematski prikaz litij-ionske baterije

Vir: <https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/lithium-ion>

3.5 Ocena emisij iz življenjskega cikla izdelka (LCA)

Električni avtomobili predstavljajo zanimivo alternativo avtomobilom, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem, ker omogočajo pomembno zmanjšanje obremenjevanja ozračja med uporabo, še posebej, če je za polnjenje baterij uporabljena električna energija iz brezogljicnih virov. Vendar pa je pri okoljskih vplivih vsakega izdelka treba upoštevati celoten življenjski cikel izdelka, ne le uporabo, ampak vse faze: od pridobivanja surovin do oskrbe iztrošenega izdelka. Treba je pripraviti oceno celotnega življenjskega kroga (life-cycle assessment – LCA). V vseh fazah prihaja tudi do manjših ali večjih vplivov na okolje, kot skuša shematsko prikazati slika 5 (Ricoh, b. d.).

Pogosto so prisotne dileme glede pozitivnih učinkov električnih avtomobilov na okolje. Velikokrat se pojavlja vprašanje, ali niso morda obremenitve okolja pri proizvodnji in pri oskrbi odpadkov tolikšne, da izničijo ugoden okolijski učinek med fazo uporabe vozila.



Slika 5: Shematski prikaz faz življenjskega cikla izdelka

Vir: https://www.ricoh.com/technology/tech/063_lca

Pri tem velja omeniti, da so električni avtomobili, če odštejemo baterije, v bistvu bolj enostavni in cenejši tako za izdelavo kot za vzdrževanje. Elektromotor ima manj sestavnih delov od bencinskega ali dizelskega motorja. Potrebuje manj vzdrževalnih posegov, kot so servisne storitve, dolivanje motornih olj ipd. To pomeni tudi manj vplivov na okolje. Največji problem – tako s cenovnega kot tudi z okoljskega vidika – predstavljajo predvsem baterije.

Ocenjeno je, da v procesu izdelave električnega avtomobila z vsemi njegovimi komponentami (vključno z baterijami) nastane več emisij toplogrednih plinov kot pri proizvodnji avtomobilov, ki jih poganja motor z notranjim izgorevanjem. Največ k višjim emisijam prispeva izdelava baterije. Po nekaterih ocenah lahko samo izdelava litijeve baterije z maso 500 kg prispeva 74 % več emisij ogljikovega dioksida kot celoten proces izdelave avtomobila, ki ima motor z notranjim izgorevanjem (Rolander idr., 2018). Vendar pa so nato emisije med uporabo vozila pri električnem avtomobilu toliko manjše, da je skupna količina emitiranih toplogrednih plinov v celotnem ciklu vseeno nižja kot pri bencinskem ali dizelskem avtomobilu. Hale in Lutsey (2018) tako ocenjujeta, da v povprečju električni avto v Evropi v celotnem življenjskem ciklu emitira okrog 50 % manj toplogrednih plinov kot pa avtomobil, ki ga poganja motor z notranjim izgorevanjem. Ob tem predpostavljata, da je življenjska doba (obdobje uporabe) vozila 150.000 km in da originalna baterija zdrži celotno življenjsko dobo vozila. Znižanje emisij je odvisno od načina proizvodnje električne energije in se giblje med 28 in 72 % (Hale in Lutsey, 2018). Predpostavljeno je, da se baterija polni z električno energijo iz javnega omrežja. Tako so emisije ogljikovega dioksida odvisne od nacionalne strukture proizvodnje električne energije, kjer pa obstajajo med evropskimi državami velike razlike. Emisijska intenzivnost toplogrednih plinov pri proizvodnji električne energije – izražena v gramih ekvivalenta ogljikovega dioksida na proizvedeno kilovatno uro električne energije (g CO₂/kWh) – se tako po podatkih za leto 2020 giblje med 9 g CO₂/kWh za Švedsko in 710 g CO₂/kWh za Poljsko. Emisijsko povprečje za Evropsko unijo (EU-27) je 231 g CO₂/kWh, se pa je od leta 1990, ko je znašalo 501 g CO₂/kWh, znižalo na manj kot polovico (EEA, 2021).

Kot poudarjata Hale in Lutsey (2018), je tudi pri proizvodnji baterij pomembno, iz katerih virov je pridobljena uporabljena električna energija. Večina litij-ionskih baterij, ki jih uporabljajo evropski proizvajalci električnih avtomobilov, je proizvedena v Južni Koreji in na Japonskem, kjer je med 25 in 40 % električne

energije proizvedene v termoelektrarnah na premog. Bilo je opravljeno večje število raziskav s ciljem ocene povzročenih emisij toplogrednih plinov pri proizvodnji baterij. Kot je razvidno iz tabele 2, se ocene emisij precej razlikujejo, saj se gibljejo med 30 in 500 kg CO₂ na kWh kapacitete baterije. Metodološki pristopi pri oceni emisij so zelo različni, očitno pa je v ocenah še precej nezanesljivosti. Večina študij kaže, da je tudi v procesu proizvodnje baterij največ emisij ogljikovega dioksida povezanih s pridobivanjem električne energije (Rolander idr., 2018).

Pričakovano je, da bo pri nadaljnjem razvoju proizvodnje baterij precej naporov vloženih v znižanje porabe energije ter tudi v večji delež električne energije iz brezogljivičnih virov, kar bo prispevalo k znižanju emisij ogljikovega dioksida (Hale in Lutsey, 2018).

Tabela 2: Ocena emisij toplogrednih plinov, povzročenih pri proizvodnji litij-ionskih baterij

Avtorji	Emisije (kg CO ₂ / kWh)
Mesagle (2017)	56
Hao in sod. (2017)	96–127
Romare in Dahlöf (2017)	150–200
Wolfram in Wiedmann (2017)	106
Ambrose in Kendall (2016)	194–494
Dunn in sod. (2016)	30–50
Elingsen in sod. (2016)	157
Kim in sod. (2016)	140
Peters in sod. (2016)	110
Nealer in sod. (2015)	73
Mejeau-Bettez in sod. (2011)	200–500

Vir: Hale in Lutsey, 2018

Treba je upoštevati, da problematični vplivi proizvodnje baterij na okolje nikakor niso povezani samo z emisijami toplogrednih plinov, ampak tudi z drugimi težavami. Tako se večina (70 %) litija v naravi nahaja v slanih jezerih, preostanek pa v kamninah. V glavnem so svetovne zaloge litija omejene na nekaj držav (Argentina, Avstralija, Bolivija, Čile in Kitajska). V Južni Ameriki za pridobivanje 1 t litija porabijo 750 t slaničnice. Postopek je ne samo energijsko potraten, ampak povzroča tudi veliko porabo vode. To je še posebno problematično, ker so nahajališča litija pretežno v zelo suhih območjih. Pogoji dela pri pridobivanju litija so tudi škodljivi za zdravje delavcev (Green Car Congress, 2020).

V letu 2019 je bilo 54 % svetovne proizvodnje litija uporabljeno za polnjenje baterij. Cena litija znaša le okrog 1 % cene baterij in zato s stroškovnega vidika ne predstavlja težav, čeprav lahko v prihodnjih letih zaradi naraščajočega povpraševanja pride do sprememb cen (Battery University, 2021).

Poleg litija je v litij-ionskih baterijah največkrat pomembna surovina tudi kobalt, katerega pridobivanje je prav tako problematično. Kobalt pogosto pridobivajo kot stranski izdelek pri proizvodnji bakra in niklja. Za industrijsko pridobivanje kobalta v Avstraliji so pri sistematični oceni učinkov iz celotnega življenjskega cikla (cradle-to-gate) ugotovili, da sta najbolj obremenjujoča za okolje poraba električne energije in posledično povzročene emisije toplogrednih plinov ter razstreljevanje in pri tem nastali kovinski trdni delci. V Avstraliji je proces ekstrakcije kobalta skrbno nadzorovan (Farjana idr., 2019; Nogrady, 2020).

Treba je poudariti, da okrog 60 % svetovne proizvodnje kobalta izvira iz Demokratične republike Kongo. Tudi tam večina (okrog 80 %) proizvodnje poteka v večjih rudnikih na industrijski način in predvidoma nastajajo podobne obremenitve okolja kot v Avstraliji, le da je na razpolago zelo malo podatkov. Okrog 20 % kobalta pa v DR Kongu izkopljejo v majhnih rudnikih, kjer opravljajo delavke, delavci in celo otroci veliko ročnega dela brez ustrezne zaščite in so zato izpostavljeni zelo velikemu zdravstvenemu tveganju (Nogrady, 2020).

Indikativni so rezultati raziskav, opravljenih na območju Katange v DR Kongu, najpomembnejšem svetovnem nahajališču kobalta. Čeprav so bili v biomonitoring vključeni ljudje, ki se poklicno ne ukvarjajo s pridobivanjem kobalta, so raziskave pokazale, da so koncentracije kobalta v urinu tamkajšnje populacije pri odraslih 4,5-krat in pri otrocih 6,6-krat višje kot pri kontrolni skupini ljudi iz neobremenjenega območja. V vzorcih iz okolja so bile koncentracije kobalta od 6- do 40-krat višje kot v vzorcih iz kontrolnega območja. Odrasle osebe so večino kobalta vnesle s hrano (zelenjava, žitarice in ribe), otroci pa z zaužitjem prahu. Podrobni učinki zaužitega kobalta na zdravje še niso znani (Cheyns idr., 2014).

Čeprav je tako iz okoljevarstvenega kot tudi cenovnega vidika pri električnih avtomobilih izpostavljena predvsem proizvodnja baterij, pa ta ne predstavlja edinega problema. Tako iz cenovnega, strateškega kot okolijskega vidika precej skrbi povzročča izdelava permanentnih magnetov (Battery University, 2021). Za tovrstne

magnete se uporabljata kovini iz skupine lantanidov: neodim in disprozij. Velika večina nahajališč teh dveh kovin je na Kitajskem. Ta država z nadziranjem izvoza tudi diktira cene – tako je bil zabeležen velik skok cen tako neodima kot disprozija v letih 2011 in 2012. Poleg tega je pridobivanje zelo problematično za okolje in zdravje delavcev. Pri separaciji lantanidov se izloči precej radioaktivnega torija, nastane pa tudi precej drugih nevarnih odpadkov. Ocenjeno je, da se pri pridobivanju 1 tone lantanidov proizvede kar 2000 ton strupenih odpadkov (Edmondson, 2020).

Nekateri proizvajalci skušajo zato nadomestiti permanentne magnete z rotorskimi navitji. Vendar pa je zaradi boljše učinkovitosti permanentnih magnetov kljub temu v obdobju od 2015 do 2019 delež motorjev s permanentnimi magneti celo nekoliko narasel (z 79 % na 82 %)(Edmondson, 2020). Predvsem so se kot zelo energijsko učinkoviti izkazali magneti iz sintranega neodima, železa in bora (Widmer idr., 2015).

Aktualno je tudi recikliranje litij-ionskih baterij. Načeloma je litij možno reciklirati v neomejenem obsegu, a do sedaj razvite tehnologije recikliranja ne omogočajo pridobivanja dovolj čistega litija za ponovno uporabo v baterijah. Po nekaterih ocenah je tudi z recikliranjem dobljeni litij lahko dražji od litija iz primarnih virov (Battery University, 2021). Z namenom izboljšanja učinkovitosti recikliranja litij-ionskih baterij potekajo sistematično zasnovani raziskovalni projekti tako v ZDA, Veliki Britaniji kot na Japonskem (Nogrady, 2020; Suzuki, 2019; Kunz , 2019; ReLiB, b. d.). Pri tem želijo z recikliranjem katod dobiti sestavine, ki bodo neposredno uporabne za izdelavo novih baterij, tj. brez cenovno zahtevne ponovne predelave. Pri raziskavah bodo pridobili spoznanja, ki bodo omogočila izboljšave konstrukcije baterij v prihodnosti, da jih bo lažje reciklirati (Kunz, 2019). Japonska družba Sumitomo metal mining je razvila proces recikliranja kobalta iz odpadnih baterij, saj gre za precej redko kovino. Pri tem tudi ocenjujejo, da vsaj do leta 2025 še ne bo na razpolago velikih količin odpadnih baterij za recikliranje (Suzuki, 2019).

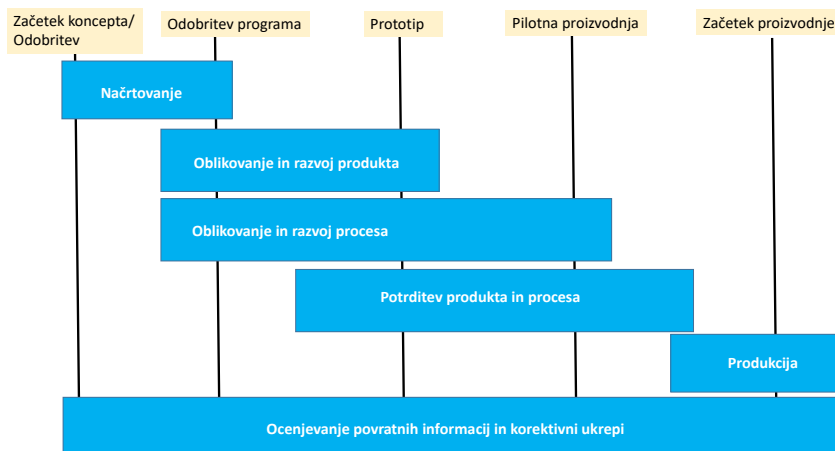
4 Načrtovanje razvoja izdelka

Kot pri drugih izdelkih je tudi pri avtomobilih bistvenega pomena, da izdelek v čim večji meri izpolni pričakovanja kupca. Ena od pomembnih izpostavljenih lastnosti električnih avtomobilov je manjši vpliv na okolje, kot ga povzročajo avtomobili z bencinskimi ali dizelskimi motorji. To je tudi eden izmed ključnih motivov, da se

uporabniki odločijo za električni avtomobil. Zato je seveda v procesu razvoja avtomobila in njegovih komponent pomembno upoštevati okoljske vidike.

Kot strukturiran pristop pri razvoju izdelkov in procesov se je ravno najbolj v avtomobilski industriji uveljavil APQP (Advanced Product Quality Planning). APQP, ki je shematsko prikazan na sliki 6, posveča veliko pozornosti odkrivanju napak ali pomanjkljivosti v zgodnjih fazah razvoja izdelka. Če so napake odkrite v začetnem obdobju, se bistveno zmanjša tveganje in znižajo stroški. Predvsem je problem, če se napake pojavijo šele v fazi, ko je izdelek že na tržišču (Quality-One, 2021). Tako je tudi v razvoju proizvodov poleg stroškovnih vidikov pomembno predvideti tudi vplive na okolje. Tako je smiselno izdelke že v zasnovi oblikovati tako, da jih bo lažje reciklirati, kar je npr. cilj raziskovalnih projektov na področju izboljšanja reciklabilnosti litij-ionskih baterij (Kunz, 2019).

Poleg tega je tudi procese v proizvodnji možno zasnovati s čim manjšimi vplivi na okolje, kot je izogibanje uporabe okoljsko problematičnih materialov – npr. uporaba indukcijskih motorjev namesto motorjev s permanentnimi magneti (Edmondson, 2020) in pa uporaba električne energije iz brezogljčnih virov (Hale in Lutsey, 2018).



Slika 6: Shematski prikaz APQP (Advanced Product Quality Planning)

Vir: Ahmed idr., 2021.

5 Uporaba funkcionalne analize

Funkcionalna analiza (Extended Functional Analyses - XFA) je odlično orodje za široko izvajanje raziskovanja, na osnovi katerega je možno priti do zaključkov glede določitve indikatorjev, ki so potrebni za verifikacijo hipotez in predpostavk (Butler, 1987; Weaver, 2001; Johnson, 2007; Karlson, 2007).

Glavno orodje razširjene funkcionalne analize (XFA) (Butler, 1987) zajemajo enostavne matrike, ki jih sestavlja nabor glavnih sestavnih delov in modulov izdelka ter neodvisne funkcije. Preseke med sestavnim delom strukture izdelka in določeno specifično funkcijo izdelka pa predstavljajo posamezne celice.

Pri uporabi XFA je potrebno razvrstiti sestavne sklope, elemente, module ter analizirane funkcije po hierarhiji (Breiing, 1989; Podinovski, 2000), in sicer na način, da je na levi strani podan seznam glavnih sestavnih modulov oziroma sestavnih delov, na vrhu matrike pa je nabor neodvisnih funkcij izdelka. Neodvisne funkcije se določajo glede na agregirano strukturo izdelka. Velika prednost in dodana vrednost takšnega pristopa je predvsem, da imamo lahko ves čas pregled nad izdelkom in tudi ves čas lahko analiziramo razvoj izdelka in ne šele v zaključni fazi, ko je izdelek v celoti koncipiran in končan, sicer bi morali razvoj izdelka predčasno končati, potem pa ponoviti razvojni proces in celotno analizo od začetka.

Dodana vrednost in prednost razširjene funkcionalne analize je v tem, da v začetnih razvojnih fazah ni potrebna zelo velika natančnost: kar pomeni, da niso potrebne natančne specifikacije sestavnih delov, ne potrebujemo podatkov o njihovih lastnostih, niti niso bistvene informacije o vrednostih posameznih sklopov. Tu izvedemo tako imenovano 'front to end' analizo (Butler, 1987; Blanchard, 1986). V začetni fazi, ko analiziramo koncept nekega izdelka, je zelo pomembno, kako določimo robne pogoje le-tega.

Prikaz uporabe te metode bo izveden na konkretnem primeru električnega osebnega vozila. Torej:

- 1) Osnovno vozilo je vozilo na električni pogon.
- 2) Izvedba je osebni avto.

- 3) Omejitev najvišje nabavne cene sestavnih sklopov in sistemov na cca. 10.000 EUR,
- 4) Struktura vozila se bo analizirala na osnovi kategorij ABC, ki so razdeljene na 8 ključnih funkcij:

A Vozne lastnosti

- A1** – Doseg vožnje
- A2** – Hitrostne lastnosti
- A3** – Pospeški
- A4** – Zavorne lastnosti

B Udobnost vožnje

- B1** – Upravlјivost
- B2** – Udobnost

C Energetske lastnosti

- C1** – Ekonomičnost
- C2** – Hitrost polnjenja

- 5) Pomembnost funkcij je ovrednotena od 1 do 10, pri čemer pomeni 1 najnižjo prioriteto, 10 pa najvišjo prioriteto.

5.1 Izhodišča

Za uspešno uporabo metode XFA ne potrebujemo velikega števila informacij, in sicer zadostujejo podatki o uporabi vozila (podatki o eksploataciji), razvojni podatki, podatki, pridobljeni med testiranjem vozila, in tudi podatki o poteku proizvodnje vozila. Pravzaprav je tak pristop pri procesu oblikovanja koncepta vozila običajen, saj je povsem neodvisen od vrste ali namena vozila. Bistven problem pri tem pa predstavlja dejstvo, da so tovrstni podatki nesistemizirani, nestrukturirani in kot taki tudi v veliki meri tudi nezanesljivi. Vsa ta dejstva pa bistveno vplivajo na njihovo uporabnost in tudi na kvaliteto analiz.

Praktična uporabnost metode XFA v fazi razvoja glede na zanesljivost posameznih komponent in posredno tudi vzdrževanja vozila oziroma stroškov, ki pri tem nastanejo, je bila implementirana na primeru električnega avtomobila.

Osnovni podatki so pridobljeni na vzorcu enakih avtomobilov ($N=10000$) v časovnem obdobju $T=3$ let, ki so v uporabi na območju EU. Skupno število okvar n znaša 810. Pri tej analizi se predpostavlja eksponentna razporeditev slučajnosti okvar za vozilo kot celoto, identično pa velja tudi za vse ključne sisteme in komponente, ki sestavljajo vozilo.

Iz tabele 3 so razvidni: nabor podatkov za ključne sisteme in komponente vozila, pogostost okvar (λ), zanesljivost sestavnih delov in sistemov (R) in pa čas (MTTR-Mean Time to Repair), ki je povprečno potreben za popravilo posameznega sestavnega dela ali sistema.

Tabela 3: Osnovni podatki

Glavni sklopi vozila	Okvare v (%)	Število okvar (n)	Pogostost okvar $\lambda \times (10E-6)/h$	Zanesljivost (R)	MTTR (h)
Šasija	8.0	81	1.771	0.859	1.91
Kolesa	2.0	32	0.410	0.968	1.52
Elektromotor	17.0	173	2.592	0.797	2.62
Pogonski sklop	13.2	110	2.289	0.816	3.13
Krmilni sistem	4.0	57	0.837	0.933	2.24
Elektronika	6.0	43	0.618	0.945	2.85
Zavorni sistem	16.8	13	2.269	0.812	1.40
Baterija	7.0	76	1.059	0.915	2.08
Krmilna elektronika	16.0	161	2.890	0.796	1.17
Asistenčni sistemi	10.0	64	1.051	0.915	2.49
Σ	100.0	810			

5.2 Definicija začetne matrike in matrike vrednosti

5.2.1 Osnovne predpostavke ter vrednostna analiza

Začetna matrika se oblikuje s tem, da definiramo korelacije med posameznimi sklopi in sistemi z najpomembnejšimi karakterističnimi funkcijami vozila. Pri tem gre za precej grobo definiranje korelacij, kajti večja natančnost bi povzročila samo večjo nepreglednost in težave, rezultat pa bi bil, da ne bi dosegli namena analize.

Črka "x" v matriki 1 predstavlja korelacije med posameznimi sklopi in sistemi z najpomembnejšimi funkcijami vozila.

Začetna matrika daje razvojniku – konstruktorju in pa nabavnikom in logistom zelo jasno sliko o strukturi vozila. To omogoča nabavni službi, ki skrbi za upravljanje oskrbovalnih verig, da s tem dobi okvirno predstavo o relativni pomembnosti vsakega posameznega sklopa in sistema glede na določeno funkcijo. Z drugimi besedami, s tem dobimo zelo pomembno informacijo glede stopnje kritičnosti vsakega elementa v strukturi vozila in tudi takojšna informacijo glede izbora sestavnih delov, ki so bistveni za določeno funkcijo, in tudi to, katera funkcija je v dani strukturi vozila najbolj kompleksna.

Elektromotor, krmilno elektroniko, baterijo ter programsko opremo smo v matriki strukture ovrednotili kot najpomembnejše elemente ter jim dali pomembnost (1), najnižjo pomembnost (5) pa smo dodelili krmilnemu sistemu (volanu itd.). Poudariti pa je potrebno, da četudi smo mu podelili najnižjo pomembnost, to nikakor ne pomeni, da je nepomemben.

Prednost začetne matrike (tabela 4) je, da nam omogoča paralelno analizo do 100 korelacij med funkcijami vozila (10) ter sklopi in sistemi strukture vozila (10). Oceno izvedemo na način, da variramo s strukturo vozila. Pri izbiri raznih opcij pa zasledujemo cilj v smislu, da pridemo do tiste strukture najpomembnejših sklopov in sistemov (elektromotor, baterija, zavorni sistem, krmilna elektronika ...), ki zadostijo kriterijem glede želenih karakteristik vozila. Začetna matrika, ki smo jo definirali na omenjeni način, nam sicer podaja relativno omejeno informacijsko vsebino, odpre pa nam možnost, da vsaki funkciji iz skupin A,B,C dodelimo indeks relativne pomembnosti in s tem razširimo funkcionalno analizo v obliko matrike vrednosti.

5.3 Matrika strukture: začetna matrika

Matrika relativnih vrednosti nam podaja bistveno boljšo informacijsko vsebino, kot jo ima začetna matrika. Kot taka nam daje tudi bolj informativno sliko. Vsota indeksa pomembnosti po vrsticah predstavlja indeks relativne pomembnosti sklopov in sistemov. Indeks relativne pomembnosti sklopov in sistemov omogoča razvojnemu

inženirju – konstruktorju, tj. tistemu, ki odloča o nabavi, da določi strukturo dobave, dobavitelje in način dobave.

Tabela 4: Začetna matrika – matrika strukture

STRUKTURNE KOMPONENTE VOZILA	FUNK.		A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2	ΣF	Stopnja pomn.
			Deseg	Hitrost	Pospeski	Zavorne lastnosti	Upravljalnost	Udob	Ekono.	Hitr. Polnj.		
Šasija			X	X	X	X	X	X	-		6	4
Kolesa			X	X	X	X	X	X	-	-	6	2
Elektromotor			X	X	X	X	X	X	-	-	6	1
Pogonski sklop			X	X	X	-	X	-	X	X	6	3
Krmilni sistem				-	-	-	X	X	-	-	2	5
Programska oprema			X	X	X	-	-	-	X	X	5	1
Zavorni sistem				-	-	X	X	-	-	X	3	2
Baterija			X	-	X	-	-	-	X	X	4	1
Krmilna elektronika			X	X	X	X			X	X	6	1
Asistenčni sistemi				-	-	-	X	X	X	-	3	3
Σ KOMPONENT			7	6	7	6	6	4	5	4		

Ne glede na to, da se je stopnja pomembnosti spremenila, ostaja vrstni red najpomembnejših sklopov in sistemov še vedno nespremenjen.

Definicija faktorjev težavnosti oziroma indeksa pomembnosti funkcij je precej subjektivna, saj bazira na hevrističnih metodah in izkušnjah. Prednost le-te je, da v analizi, kjer je osnovni namen pridobiti grobo oceno, vpliv teh indeksov ni prevladujoč. Zanimivo je, da tudi v primeru, da bi vse funkcije A, B, C imele enake vrednosti indeksa pomembnosti, to ne bi imelo nobenega vpliva na njihovo razporeditev v matriki vrednosti (tabela 5).

Tabela 5: Matrika vrednosti

STRUKTURNE KOMPONENTE VOZILA	FUNK.	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2		Stopnja
		Doseg	Hitrost	Pospeški	Zavorne lastnosti	Upravljalnost	Udob	Ekono.	Hitr. Polnj.	ΣF	pombn.
Šasija		4	8	3	2	2	7	-	-	26	5
Kolesa		7	7	9	8	5	7	-	-	43	2
Elektromotor		7	7	9	7	5	4	-	-	39	3
Pogonski sklop		8	7	9	-	7	-	5	7	43	2
Krmilni sistem		-	-	-	-	7	7	-	-	14	7
Programska oprema		7	7	9	-	-	-	5	7	35	4
Zavorni sistem		-	-	-	9	8	-	-	-	17	6
Baterija		9	-	8	-	-	-	9	9	35	4
Krmilna elektronika		7	8	9	8	-	-	8	9	49	1
Asistenčni sistemi		-	-	-	-	8	9	9	-	26	5
Σ KOMPONENT		7	6	7	6	6	4	5	4		

5.4 Stroškovna (Cost/Benefit) analiza

Z uporabo XFA metode pridemo do matrike, prikazane v tabeli 6, ki nam omogoča primerjavo med indeksom pomembnosti posameznih funkcij in relativnimi stroški. Bistveno je, da za izvedbo primerjave potrebujemo bistveno več podatkov. Poleg indeksa pomembnosti posamezne funkcije je treba vsem ključnim sklopom in sistemom določiti tudi ceno.

Iz cost/benefit matrike (tabela 6) razberemo, da so razvidne cene ključnih sklopov in sistemov vozila in tako lahko grobo ocenimo vsako funkcijo (**Σ KOMPONENT**). S tem dobimo tudi orientacijo o cenovnih okvirih posamezne funkcije. Ta je potem tudi odlično orodje za oddelek nabave, ki s tem dobi smernice za nadaljnjo optimizacijo funkcij vozila. Razmerje med sredstvi, ki smo jih investirali (stroški), in dobičkom (koristi) oziroma tako imenovano 'cost/benefit – razmerje' dobimo tako, da izračunamo kvocient vrednosti vsakega sklopa z indeksom pomembnosti le-tega.

Stolpec (ΣIP) predstavlja ponovljene vrednosti indeksov pomembnosti sklopov in sistemov vozila A, B, C, naslednji stolpec pa predstavlja kumulativno 'cost/benefit razmerje' posameznih sklopov in sistemov. Manjša kot je vrednost, večja je korist posameznih sklopov in sistemov za posamezno funkcijo vozila.

Tabela 6 : Matrika analize med stroški in koristmi (cost/ benefit matrika)

	FUN.	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2		Stroški / Koristi	Stopnja Pomemb.
STRUKTURNE KOMPONENTE VOZILA	Index Cena EUR	DOSEG	HITROST	POSPESEK	ZAV. L.	UPORA V.	UDOB.	EKONO.	HITROST	ΣF		
Šasija	1200	122	81	154	213	509	319	-	-	26	46,2	7
Kolesa	600	20	110	120	150	120	90	-	-	43	13,9	1
Elektromotor	750	160	70	80	60	30	70	-	-	39	19,2	3
Pogonski sklop	630	80	70	190	-	70	-	105	70	43	14,6	2
Krmilni sistem	320	-	-	-	-	100	120	-	-	14	22,8	5
Programska oprema	1000	157	70	120	-	-	-	150	170	35	28,5	1
Zavorni sistem	700	-	-	-	290	80	-	-	-	17	41,2	6
Baterija	2200	1100	-	120	-	-	-	230	350	35	62,8	9
Krmilna elektronika	1100	270	140	140	110	-	-	210	340	49	22,4	4
Asistenčni sistemi	1500	-	-	-	-	270	178	320	-	26	57,7	8
Σ KOMPONENT	10000	7400	6300	7400	4350	5700	4370	6430	4930			
Stroški funkcije		1909	541	924	823	1179	777	1015	930			
Stopnja pomemb.		7	2	4	1	8	3	6	5			

XFA metoda nam omogoča sledenje spremembam strukture in funkcij vozila. Iz matrike 3 (tabela 6) in matrike 2 (tabela 5) lahko razberemo stopnjo pomembnosti posameznih sklopov in sistemov vozila (baterije, elektromotorja, krmilne elektronike, programske opreme – 1, zavornega sistema in pogonskega sklopa – 2). Tu so bistvene le izbrane funkcije ter spremljajoči sklopi in sistemi vozila. Matrika 3 (tabela 5) podaja informacijo o cenah sklopov in sistemov vozila. Na tej osnovi se izračuna indeks med stroški in koristmi (cost/benefit index) posameznih sklopov glede na funkcijo, ki pa osvetli zadevo s povsem drugega vidika. Iz tega prikaza je razvidno, da imajo kolesa najboljši 'cost benefit indeks' 13,7 in stopnjo pomembnosti 1, baterija pa 'cost benefit index' 62,8 in stopnjo pomembnosti 9 itd.

Če pa analiziramo še vse funkcije v matriki 3 (tabela 5), pridemo do zaključka, da sta funkciji **A1 – doseg** in **B1 – upravljalnost vozila** najdražji. To pa je tudi izhodišče za koncipiranje oskrbovalne verige, saj je osnova za optimizacijo stroškov v smislu optimiranja – oskrbovalnih, proizvodnih stroškov uporabe za funkcijo **B1 – upravljalnost vozila**, in tako dokaj enostavno pridemo do ugotovitve, da ima najmanjše cost/benefit razmerje in je istočasno tudi najdražja funkcija. Ta informacija nam je vodilo, da je tu potrebna optimizacija oskrbovalne verige, torej so nujno potrebne spremembe v smislu zmanjšanja stroškov – z drugimi besedami: iskanje alternativnih dobaviteljev in logističnih poti za sklope in sisteme, ki bistveno vplivajo na to funkcijo, oziroma nujno je treba izboljšati cost/benefit indeks.

5.5 Uporaba metode XFA pri vzdrževanju

Dejstvo je, da je vzdrževanje vozila zelo pomemben faktor pri eksploataciji vozil in je tudi eden najbolj odločilnih faktorjev pri odločitvi o nakupu določenega tipa vozila. Metoda XFA oziroma metoda razširjene funkcionalne analize nam predstavlja odlično orodje za analizo vzdrževanja, posredno pa tudi daje sliko o kritičnih sklopih in sistemih vozila, saj nam omogoča analizo porazdelitve povprečnega časa korektivnega vzdrževanja komponent in sistemov vozila MCMH (Mean Corrective Maintenance Hours). Ta analiza nam posredno daje informacijo o ustreznosti obstoječih oskrbovalnih verig. Osnovni element te analize je izdelek med pogostostjo okvar (λ) in povprečnim časom za odpravo napak (MCMH) ter indeksa pomembnosti posamezne funkcije vozila. Dobljen rezultat predstavlja informacijo o stopnji težavnosti vzdrževanja vozila. Če imajo določeni sklopi ali sistemi visoke vrednosti tega indeksa, je to jasen signal konstrukterju – projektantu in nabavni službi, da morajo zadevo optimirati, iskati ustrežnejše rešitve pri vzdrževanju oziroma iskati možnosti pri alternativnih dobaviteljih, ki bodo zmožni zagotavljati dovolj zanesljive sestavne sklope in sisteme vozila. Informacija o težavnosti vzdrževanja (ΣR) nam pove, kakšno je stanje sklopov in sistemov glede na vzdrževanje, in predstavlja pogostost okvar oziroma število okvar na milijon ur obratovanja, kar je razvidno iz tabele 3.

Tabela 7: MCMH – Matrika analize časa popravila

	FUNKC.	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2	Mera	Renta
STRUKTURNE	Index	8	5	4	9	8	7	5	8	težav.	bilnost
KOMPONENTE VOZILA	(MCMH)x (10E-6)/h	λ Doseg	Hitr. ost	Pospeš. ki	Zavorn. e lastnos ti	Upravl. jvost	Udob.	Ekono.	Hitr. Polnj.	vzdrž. ΣR	ΣR/C
Šasija	1.91 x 1.77	30	25	14	60	20	27	-	-	176	0.01283
Kolesa	1.52 x 0.41	6	5	7	6	3	5	-	-	32	0.02000
Elektromotor	2.62 x 2.59	54	54	67	67	40	54	-	-	336	0.01535
Pogonski sklop	3.13 x 2.28	57	57	42	-	52	-	43	57	308	0.01783
Krmilni sistem	2.24 x 0.82	-	-	-	-	14	14	-	-	28	0.02400
Elektronika	2.85 x 0.62	14	14	17	-	-	-	10	14	59	0.01037
Zavorni sistem	1.40 x 2.26	-	-	-	34	36	-	-	-	70	0.01050
Baterija	2.08 x 1.06	23	-	30	-	-	-	23	23	99	0.01260
Krmilna elektronika	1.17 x 2.89	38	32	33	25	-	-	21	45	194	0.00233
Asistenčni sistemi	2.49 x 1.05	-	-	-	-	18	26	34	-	78	0.02800
MTTR		15.7	11.5	10.5	11.3	10.7	14.5	12.6	10		
Zmanjšanje vrednosti funkcij po okvarah		31,4	100	105	92,7	68,2	116	75,6	60		
Stopnja pomembnosti		1	5	6	4	1	8	2	3		

Iz tabele 7 lahko razberemo, da imata baterija (2,08) in šasija (1,91) skoraj enak MCMH, pri čemer pa je težavnost vzdrževanja za baterijo 99, za šasijo pa znaša 167, torej je skoraj 2-x višja.

Informacija o vrednosti težavnosti vzdrževanja je osnova za potrebne spremembe v oskrbovalni verigi, ki direktno vplivajo na izboljšanje koncepta vzdrževanja vozila. Pri tem pa stroški sklopov in sistemov predstavljajo indeks stroškov, ki so rezultat modifikacij in izboljšav koncepta vozila. Glede na zanesljivost in vzdrževanje so vsekakor bistveno bolj primerni tisti sklopi in sistemi, katerih koeficient $\Sigma R/C$ je čim manjši. Podani podatki nam omogočajo tudi podrobno analizo, kakšna je težavnost vzdrževanja posameznih funkcij. Časi, ki so potrebni za vzdrževanje, so prikazani v tabeli 3. Najbolj primerne so tiste opcije, kjer se vrednost funkcije minimalno zniža, kot je razvidno iz tabele 7. V našem primeru je to funkcija **A1 – dosegi**, ki ima razred 1.

5.6 Logistika, dostopnost sklopov in sistemov – indeks oskrbe

Matriko vrednosti lahko uporabimo pri analizi indeksa podpore oskrbe v relaciji s posameznimi funkcijami vozila. Ta indeks izračunamo tako, da pomnožimo časovno pogostost okvar sklopov in sistemov ter njihovo nabavno ceno. Čim večja je vrednost indeksa, tem dražja je oskrba.

Tabela 8: Matrika indeksa oskrbe

	FUNKCIJ E	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2	
STRUKTURNE	Ind. Pomebn.	8	5	4	9	8	7	5	8	Index.
KOMPONENTE VOZILA	Ind. oskrbe ($\lambda \times C$)	Doseg	Hitr.	Posp.	Zavor. Lastn.	Uprav.	Udob.	Ekon.	Hitr. Polnj.	kum. podpore
Šasija	0.01061	0.006	0.006	0.008	0.007	0.005	0.006	-	-	0.038
Kolesa	0.000797	0.007	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	-	-	0.040
Elektromotor	0.07251	0.531	0.580	0.720	0.652	0.438	0.579	-	-	3.500
Pogonski sklop	0.02760	0.220	0.220	0.341	-	0.261	-	0.165	0.220	1.427
Krmilni sistem	0.00164	-	-	-	-	0.234	0.130	-	-	0.364
Elektronika	0.00489	0.039	0.039	0.049	-	-	-	0.029	0.039	0.195
Zavorni sistem	0.0183	-	-	-	0.028	0.147	-	-	-	0.175
Baterija	0.00316	-	-	-	-	-	-	0.623	0.745	1.368
Krmilna elektronika	0.0868	0.694	0.761	0.112	0.213	-	-	0.520	0.543	2.843
Asistenčni sistemi	0.0015	-	-	-	-	0.006	0.245	0.031	-	0.282
OSKRBA		1.497	1.612	1.239	0.907	1.069	0.966	1.368	1.547	

Indeks podpore v relaciji s funkcijami vozila podaja informacijo o vplivu logistike in nabave na sklope in sisteme. To pa nam daje možnost, da že v zelo zgodnji fazi, ko projektiramo, konstruiramo ter koncipiramo posamezne funkcije vozila in z njimi povezane sklope in sisteme, definiramo tudi strukturo oskrbovalne verige. V primeru, da pri tem upoštevamo še indeks pomembnosti posamezne funkcije, dobimo odlično orodje za oceno kritičnosti posamezne funkcije vozila glede na željene karakteristike le-tega. Iz tabele 8 je razviden indeks oskrbe, ki predstavlja vsoto vrednosti vsake vrstice. S pomočjo tega pridemo do ugotovitve, da so glede zanesljivosti in vzdrževanja najbolj problematični elektromotor, krmilna elektronika in baterija. To je bilo tudi pričakovano. Pri funkcijah pa se največji problemi pojavljajo pri hitrosti polnjenja baterije, dosegu in hitrosti.

Vrednost indeksa podpore podaja informacijo o zalogah sklopov in sistemov delov in korelacijo med njihovimi cenami ter stroški odkrivanja odpovedi in napak funkcij vozila s pomočjo definiranih diagnostičnih postopkov.

6 Zaključek

Osnovni namen je bil prikazati uporabo metode razširjene funkcionalne analize kot orodje, ki nam daje možnost pozitivnega vplivanja na odločitve in zaključke glede definiranja načina konstruiranja, vzdrževanja ter koncipiranja oskrbovalne verige in s tem obvladovanja stroškov v že zelo zgodnjih fazah projektiranja in oblikovanja koncepta novega ali spremenjenega izdelka. Medsebojna korelacija faktorjev analiziranih funkcij nam daje sliko o potencialnih težavah in problemih ter možnost, da le-te minimiziramo z ustrežno selekcijo strukture sklopov in sistemov, njihovih dobaviteljev in pa koncepta upravljanja oskrbovalnih verig. Uporabljena metoda razširjene funkcionalne analize je torej odlična osnova za strateške odločitve, za odločitve glede optimiranja koncepta oskrbovalnih verig, stroškovne analize in tudi za odločitev glede marketinškega pristopa.

Literatura

- Ahmed, M. B., Majeed, F., Sanin, C. in Szczerbicki, E. (2021). Experience –Based Product Inspection Planning for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, Vol. 52, str. 296–312. doi/full/10.1080/01969722.2020.1871222
- Ambrose, H. in Kendall, A. (2016). Effects of battery chemistry and performance on the life cycle greenhouse gas intensity of electric mobility. *Transportation Research Part D* 47, str. 182–194.
- ARSO (2020). Naše okolje, Bilten Agencije RS za okolje – januar - november 2021.
- Battery University (2021). BU-308: Availability of lithium. Pridobljeno 5. 1. 2022 na <https://batteryuniversity.com/article/bu-308-availability-of-lithium>
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A.; Diez-Roux, A. V., Holguin, F. Hong, Y., Luepker, R. V. Mittleman, M. A., Peters, A., PhD; Siscovick, D., Smith, S. C. Jr, Whitsel, L., Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease – An update to the scientific statement of the American Heart Association. *Circulation*, Vol. 121, pp. 2331–2378.
- Butler, R. (1987). *Extended Functional Analysis, Logistics Engineering*, Institute of Industrial Systems Engineering, Novi Sad and Institute of Nuclear Sciences "Boris Kidrič" - Beograd-Vinča, Dubrovnik
- Blanchard, B. (1986). *Logistics Engineering and Management*, Third Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs
- Breiting, A. Flemming, M. (1989). *Theorie und Methoden des Konstruierens*, Springer-Verlag, Berlin, New York, Tokio.
- Brawn, A. C. (2014). "Article: The Smiling Curve". Digital Signage Experts Group.
- Cheyns, K., Lubaba Nkulu, C. B., Kabamba Ngombe, L., Ngoy Asosa, J., Haufroid, V., De Putter, T., Nawrot, T., Muleka Kimpanga, C., Luboya Numbi, O., Kabyla Ilunga, B., Nemery, B. in

- Smolders, E. (2014). Pathways of human exposure to cobalt in Katanga, a mining area of D.R. Congo. *Science of the Total Environment*, Vol. 490, str. 313–321.
- Curry Brown, A. (2013). Health Effects of particulates and black carbon. Transport and clean air seminar, U.S. EPA, December 2013. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/health-effects.pdf>
- Daimler (2022). 1885–1886: The first automobile: Daimler Company, Company History. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>
- Duclos, L. K., Vokurka, R. J., Lummus, R. R. A conceptual model of supply chain flexibility, *Industrial Management & Data Systems*, 2003, 103 (6), 446–456.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., Gallagher, K. G. (2016) Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithium-Ion Battery Production and Recycling. In: Kirchain R.E. et al. (eds). REWAS 2016. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48768-7_11
- Edmondson, J. (2020). Will Rare Earths be Eliminated in Electric Vehicle Motors? IDTechEx, Nov 02, 2020. Pridobljeno 10. 1. 2022 na <https://www.idtechex.com/en/research-article/will-rare-earths-be-eliminated-in-electric-vehicle-motors/21972>
- EEA (2021). Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. Pridobljeno 5.1. 2022 na: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>
- Elingsen, L. A.-W., Singh, B. in Stromman, A. H. (2016). The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environ.Res.Lett*, 11, 054010.
- EPEC (2021). Battery cell comparison. Epec Engineered Technologies. Pridobljeno 30. 12. 2021 na <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- EVgo (2022). Types of Electric Vehicles. EVgo Fast Charging. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/>
- Farjana, S. H., Huda, N. in Mahmud, M. A. P. (2019). Life cycle assessment of cobalt extraction process. *Journal of Sustainable Mining*, Vol. 18(3), str. 150–161.
- Guarnieri, M. (2012) "Looking back to electric cars". Proc. HISTELCON 2012 – 3rd Region-8 IEEE HISTORY of Electro – Technology Conference: The Origins of Electrotechnologies: #6487583. doi:10.1109/HISTELCON.2012.6487583. ISBN 978-1-4673-3078-7.
- Green Car Congress (2020). Roskill sees recovery in lithium industry buoyed by demand from rechargeable battery applications. 25 November 2020. Green Car Congress. Pridobljeno 9.1. 2022 na <https://www.greencarcongress.com/2020/11/20201125-roskill.html>
- Hale, D. in Lutsey, N. (2018). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. ICCT (The International Council on Clean Transportation), February 2018. Pridobljeno 5. 1. 2021 na https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- Hao, H., Mu, Z., Jiang, S., Liu, Z., Zhao, F. (2017). GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China. *Sustainability*, 9(4), 504.
- Kim, H. C., Wallington, T. J., Arsenaault, R., Bae, C., Ahn, S. in Lee, J. (2016). Cradle-to-Gate Emissions from Commercial Electric Vehicle Li-ion Battery: A Comparative Analysis. *Environ.Sci.Technol.* 50(14), str. 7715–7722.
- Johnson, P., Lagerstrom, R., Narman, P., Simonsson, M. :System Quality Analysis with Extended Influence Diagram, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2007
- Karlson, U.: Service Based Manufacturing Strategies Implication for Product Development, Production and Service Operations in Global Companies, West Hartford, 2007
- Kunz, T. (2019). DOE launches its first lithium-ion battery recycling R&D center: ReCell. Argonne National Laboratory. Pridobljeno 12.1. 2022 na <https://www.anl.gov/article/doe-launches-its-first-lithium-ion-battery-recycling-rd-center-recell>
- Kraljič, P. (1983). Processing must become supply management. *Operations Strategy*. Harvard Business review.

- Majeau-Bettez, G., Hawkins, T. R. in Stromman, A. H. (2011). Life CyCLE Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Supporting Information. *Environ.Sci.Technol.* 45(10), str. 4548–4554.
- Message, M. (2017). Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles, Transport & Environment. Pridobljeno 5. 1. 2022 na <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/TE%20-%20draft%20report%20v04.pdf>
- Nealer, R., Reichmuth, D. in Anair, D. (2015). Cleaner cars from cradle to grave – How electric cars beat gasoline cars on lifetime global warming emissions. Union of Concerned Scientists, November 2015. Pridobljeno 27. 1. 2020 na <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/11/Cleaner-Cars-from-Cradle-to-Grave-full-report.pdf>
- Nogrady, B. (2020). Cobalt is critical to the renewable energy transition. How can we minimize its social and environmental cost. May, 14, 2020. *Ensie.* Pridobljeno 10. 1. 2022 na <https://ensia.com/features/cobalt-sustainability-batteries/>
- Owning an electric car (2010–11). *Electric Car History.* Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://web.archive.org/web/20140105043545/http://www.owningelectriccar.com/electric-car-history.html>
- Panasonic Industry (b. d.) Lithium Ion Batteries. Panasonic Industry: Industrial Devices & Solutions. Pridobljeno 30. 12. 2021 na <https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/lithium-ion>
- Peters, J.F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J. in Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-ion batteries and the role of key parameters – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, str. 491–506.
- Podinovski, V. V. (2000). An Extended maximin Approach for Decision Analysis with Uncontrollable Factors, University of Warwick, UK, *Journal of the Operational Research Society*, pages: 720–728.
- Quality-One (2021), Advanced Product Quality Planning (APQP), Q-1, Quality-One, International Discover the Value, Pridobljeno 13. 1. 2022 na: <https://quality-one.com/apqp/>
- ReLiB (n. d.). Reuse & Recycling of Lithium-ion Batteries. The ReLiB Project – Our Vision. The Faraday Institution. Pridobljeno 12. 1. 2022 na <https://relib.org.uk/>
- Ricoh (b. d.) Product Life-cycle Environmental Impact Assessment Technology. Ricoh –imagine-change. Pridobljeno 30. 12. 2021 na https://www.ricoh.com/technology/tech/063_1ca
- Rolander, N., Starn, J., Behrmann, E. (2018). Lithium Batteries' Dirty Secret: Manufacturing Them Leaves Massive Carbon Footprint. *Industry Week*, Blomberg, Oct. 16, 2018. Pridobljeno 7. 1. 2020 na <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22026518/lithium-batteries-dirty-secret-manufacturing-them-leaves-massive-carbon-footprint>
- Romare, M. in Dahlöf, L. (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. © IVL Swedish Environmental Research 2017. Pridobljeno 22. 1. 2020 na <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/transporter/c243-the-life-cycle-energy-consumption-and-co2-emissions-from-lithium-ion-batteries-.pdf>
- Shin, N., Kraemer, K. L., Dedrick, J. (2012). Value Capture in the Global Electronics Industry: Empirical Evidence for the “Smiling Curve” Concept. *Industry and Innovation*, 19(2), 89–107.
- Suzuki, T. (2019). Milestone reached in the recycle of cobalt from spent EV batteries. *Nikkei Asia.* Pridobljeno 12. 1. 2022 na <https://asia.nikkei.com/Business/Markets/Commodities/Milestone-reached-in-the-recycle-of-cobalt-from-spent-EV-batteries>
- U. S. Department of Energy (b. d. a). Plug-in hybrids. www.fueleconomy.gov – the official U.S. government source for fuel economy information. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://www.fueleconomy.gov/feg/phevtech.shtml>
- U.S. Department of Energy. How Do All-Electric Cars Work? Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>

- U.S. Department of Energy (b.d. b). How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen? Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. Pridobljeno 17. 1. 2022 na <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
- Widmer, J. D., Marin, R. in Kimiabeigi, M. (2015). Electric vehicle traction motors without rare earth magnets. *Sustainable Materials and Technologies*, Vol. 3, str. 7–13.
- Wolfram, P. in Wiedmann, T. (2017). Electrifying Australian transport: Hybrid life cycle analysis of a transition to electric light-duty vehicles and renewable electricity. *Applied Energy*, 206, str. 531–540.
- Weaver, B. A., Westphal, A. J.(2001). Extended Analysis of the Trek Ultraheavy Collector, Space Science Laboratory, University of California, Berkley.
- Zhang, J., Wei, Y. in Fang, Z. (2019). Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. *Front.Immunol.* <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02518>

SPREMINJANJE OBSEGA STANDARDIZACIJE NA PODROČJU RAZVOJA NOVIH PRODUKTOV

BENJAMIN URH, DUŠAN MEŽNAR

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
benjamin.urh@um.si, dusan.meznar@guest.um.si

Sinopsis Nagel družbeni razvoj na področju poslovanja ter vse ostrejše ekološke in zdravstvene zahteve od proizvajalcev tudi na področju razvoja novih produktov zahtevajo dodatne prilagoditve in spremembe. Na področju razvoja novih produktov so te zahteve še dodatno podkrepljene z izpolnjevanjem minimalnih standardov in odredb, ki so s strani različnih svetovnih združenj določene za posamezno poslovno področje. Za proizvajalce sta tako med zahtevnejšimi nalogami, ki jim pogosto povzročata velike težave, sledenje in izpolnjevanje spreminjajočih zahtev po obvladovanju podatkov in informacij o posameznih produktih skozi njihov celotni življenjski cikel. V nadaljevanju se osredotočimo na proces razvoja novih produktov skozi vidik zaostrovanja zahtev po obvladovanju tega s pomočjo standardizacije v zadnjih nekaj desetletjih. Hkrati pa predstavimo tudi odziv proizvajalcev na spremenjene zahteve z oblikovanjem internih standardov, priporočil, smernic in referenčnih modelov, s pomočjo katerih na učinkovit način izpolnjujejo zahteve po prilagojenosti produktov spremenjenim potrebam.

Ključne besede:

management,
proces razvoja,
novi produkti,
obvladovanje
informacij,
standardizacija

CHANGING STANDARDIZATION SCOPE IN THE FIELD OF NEW PRODUCT

BENJAMIN URH, DUŠAN MEŽNAR

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
benjamin.urh@um.si, dusan.meznar@guest.um.si

Abstract Rapid social development in the field of business and increasingly stringent environmental and health requirements from manufacturers also require additional adjustments and changes in new product development. In the field of new product development, these requirements are further supported by the fulfilment of minimum standards and regulations set by various global associations for each business area. For manufacturers, tracking and meeting the changing requirements for managing data and information about individual products throughout their entire life cycle is one of the most demanding tasks, which often causes them significant problems. In the following, we focus on the new product developing process by tightening the requirements for managing it through standardization in the last few decades. At the same time, we also present manufacturers' responses to changed requirements by creating internal standards, recommendations, guidelines, and reference models with the help of which they effectively meet the requirements for adapting products to changing needs.

Keywords:
management,
development
process,
new products,
information
management,
standardization

1 Uvod

Razvoj novih produktov je ključnega pomena za ohranjanje konkurenčne prednosti podjetja. Kljub temu velika večina začetih projektov razvoja novih produktov¹ ne privede do uspešnega rezultata (Barczak idr., 2009). V želji po opredelitvi pogojev za uspešno izvedbo razvoja novih produktov se vse od zgodnjih osemdesetih let prejšnjega stoletja raziskave na tem področju nenehno povečujejo. Vendar zaradi razdrobljenosti in obširnosti tega raziskovalnega področja vse do danes ni podane nedvoumne in celovite rešitve o tem, kako izgleda izvedba uspešnega razvoja novega produkta (Müller-Stewens in Möller, 2017).

Raziskave običajno obravnavajo posamezne sklope področja razvoja novih produktov, kot na primer zunanji in notranji dejavniki podjetja, medsebojno sodelovanje, zahtevano strokovno znanje ali proces razvoja novih produktov. Številne raziskave kažejo, da je uspešnost razvoja novega produkta povezana s številnimi dejavniki, kot so razvojna strategija podjetja, organizacijska kultura podjetja, razpoložljivi viri in izbran referenčni model² razvoja novih produktov (Pienaar idr., 2019).

Vendar si tudi glede uporabe referenčnih modelov raziskovalci niso enotni, saj nekateri trdijo, da je formalni proces razvoja novih produktov primeren le za postopne izboljšave produktov (Griffin idr., 2014), drugi trdijo, da je sledenje formalnemu procesu ena glavnih najboljših praks, ki jih uporabljajo vrhunski podjetja (Carter, 2015). Najbolj uspešna podjetja se na koncu razlikujejo po tem, da se učijo od drugih, prilagajajo prakse lastnim potrebam in iščejo nenehne izboljšave. Vprašanje torej ni, kateri referenčni model procesa razvoja produktov je najboljši, ampak kakšna kombinacija praks najbolj ustreza podjetju (Anderson, 2016).

Poleg izbire najprimernejšega procesa razvoja novega produkta je za uspešnost podjetja pomembno tudi, kako pogosto na trgu ponudi nov produkt. Globalizacija trga in vedno nove zahteve (varnostne, ekološke, kakovostne ...) pa proizvajalcem postavljajo čedalje ostrejša zahteve, ne samo glede skrajševanja časa razvoja produkta do ponudbe na trgu, ampak tudi glede znižanja stroškov, povečanja produktivnosti

¹ Projekt oziroma proces razvoja novih produktov razumemo kot proces od konceptualizacije ideje do trženja novega ali posodobljenega izdelka ali storitve.

² Referenčni modeli razvoja novih produktov so orodja, ki upravljajo in igrajo osrednjo vlogo v procesu razvoja produkta (Loitto, 2012).

in izboljšanja kakovosti produktov (Barrett idr., 2009). Da podjetje preživi v teh ekonomsko zahtevnih časih, mora z viri, potrebnimi za razvoj novih produktov, ustrezno strateško in taktično upravljati glede na portfelj produktov (Cooper in Edgett, 2012). Posledično se v procesih razvoja novih produktov vse več podjetij odloči za vzpostavitev ustrezne strategije standardizacije, ki ima pomembno vlogo pri prenosu znanja tako na vhodni kakor tudi na izhodni strani podjetja (Großmann idr., 2016).

Standardizacijske dejavnosti lahko v grobem razdelimo na podjetniško oziroma notranjo in zunanjo standardizacijo (de Vries idr., 2006). Prva je rezultat notranjih standardizacijskih aktivnosti različnih akterjev v podjetju ali v tesnem odnosu z dobavitelji, predvsem za gospodarsko korist tega podjetja. Zunanja standardizacija pa vključuje razvoj standardov³, ki izhajajo iz sestankov tehničnih strokovnih komisij (Großmann idr., 2016). Te odbore organizirajo bodisi formalne organizacije za razvoj standardov, kot je mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO - International Organization for Standardization), bodisi neformalno v konzorcijih, kot so posebne interesne skupine (npr. delovna skupina, sestavljena iz proizvajalcev originalne opreme v nemški avtomobilski industriji).

Pobude tako za notranjo kakor tudi zunanjo standardizacijo imajo lahko različne namene, kot so racionalizacija procesov, avtomatizacija procesov ali izboljšanje izdelkov ali storitev. Uspeh standardizacije je odvisen od različnih dejavnikov, kot so obstoječa informacijska tehnologija zmogljivosti, standardnih okvirov, razmere na trgu, narava in strukturiranost procesov ter izdelkov in storitev. Osnovni namen tega poglavja je predstaviti kompleksno naravo in relativni vpliv notranjih in zunanjih dejavnikov, pomembnih za standardizacijo procesov pri razvoju novih kompleksnih izdelkov in storitev, opozoriti na kritične dejavnike ter predstaviti model vpliva standardizacije na razvoj novih produktov.

³ Standard je soglasje različnih agentov, da izvajajo določene dejavnosti v skladu z dogovorjenimi pravili (Narayanan in Chen, 2012).

2 Standardizacija razvoja novih produktov

V nadaljevanju predstavljamo teoretično razumevanje strategij standardizacije ter analiziramo njihovo izvajanje v praksi. Standardizacijo lahko razumemo tudi kot prenos znanja tako na vhodni kakor tudi na izhodni strani v procesu razvoja novih produktov (Großmann idr., 2016).

V literaturi za zunanjo standardizacijo je pogosto uporabljen izraz odprta standardizacija, ki obravnava vhode (prilive) in izhode (odlive) znanja (Chesbrough in Crowther, 2006; Dahlander in Gann, 2010). Standardizacijske dejavnosti tako omogočajo strateško pridobivanje in razkrivanje znanja za inovacije v procesu razvoja novih produktov (Lerner in Tirole, 2014). Vhodno standardizacijo razumemo kot proces iskanja in pridobivanja znanja (podjetje s prevzemom določenega standarda potrjuje, da ima določeno znanje). Izhodno standardizacijo pa razumemo kot proces razkrivanja in prodaje znanja (podjetje svoje znanje v obliki standarda preda svojim partnerjem – znan primer tega načina dela je avtomobilska industrija) (Dahlander in Gann, 2010).

Na podlagi preučениh raziskav ugotavljamo, da standardi in postopek oblikovanja standardov zagotavljajo repozitorij eksplicitnega in tehnološkega znanja za podjetje, tako notranjega kot zunanjega (Lerner in Tirole, 2014). Strateški pristop do teh elementov je pomemben za razvoj novih produktov, saj morajo podjetja pozorno spremljati svoje okolje, da se zavedajo izumov in nastajajočih tehnologij (Trott, 2005). Takšna strategija bi izboljšala proces razvoja novih produktov. V podjetjih standardizacijski procesi pogosto niso niti formalno vključeni v proces razvoja novih produktov niti podjetja ne sledijo strategiji za vključevanje znanja iz standardov ali standardizacijskih procesov. To lahko predstavlja potencialno škodo za podjetje, zlasti kadar postane pomemben razvoj v drugih industrijskih sektorjih, kot je vse pogostejši pojav medsebojno povezanih produktov iz različnih panog (Großmann idr., 2016).

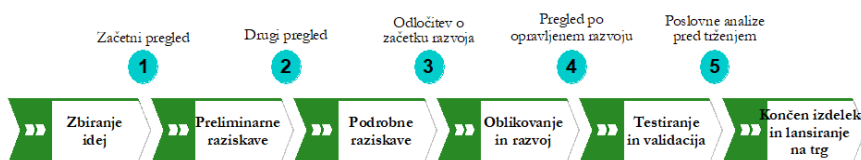
2.1 Zunanja standardizacija

Organizacije za razvoj standardov (SDO – Standard Development Organizations) združujejo deležnike za standardizacijo objektov, ki jih lahko razumemo kot skrajno obliko sodelovanja, saj zagotavlja platformo za izrecno soglasje med konkurenti (Chiesa idr., 2002). Medtem ko je cilj uradnih organizacij za standardizacijo soglasje

in zagotavljanje preglednosti za širšo javnost, so konzorciji zgrajeni tako, da izpolnjujejo interese zaprte skupine udeležencev. Standarde je mogoče ustvariti z združevanjem trenutnih tehnologij, dodajanjem inovativnih tehnologij v obstoječe procese ter ustvarjanjem, ponujanjem in uporabo inovativnih dodatnih tehnologij (Jiang idr., 2012).

Poleg zagotavljanja znanja in obvladovanja kakovosti je lahko pridobitev nekega standarda dragoceno marketinško orodje za povečanje zaupanja strank. Formalno standardi tvorijo priznano osnovo za predhodno združljivost posameznih izdelkov s tistimi, ki so na voljo na trgu, in kot osnovo za kasnejšo širjenje na trgu (Iversen idr., 2004). Hkrati pa zagotavljajo uveljavljeno in potrjeno znanje o najsodobnejši tehnologiji (Noel in Schankerman, 2013).

Podjetja, ki ostanejo izključena iz zunanje standardizacije, bodo morda morala kasneje porabiti veliko sredstev za premostitev vrzeli v znanju v primerjavi z vodilnimi podjetji na trgu (Chiesa idr., 2002). Sam proces standardizacije namreč razkrije znanje, ki je zapisano v standardu. Standardi podjetja lahko upravljajo pretok informacij od ene do druge stopnje v oskrbovalni verigi (Sturgeon idr., 2008), na primer z zagotavljanjem znanja o zahtevah strank.



Slika 1: Primer procesa razvoja novega produkta

(prirejeno po Cooper in Kleinschmidt, 1991)

Na sliki 1 predstavljamo primer procesa razvoja novega produkta z njegovimi zaporednimi fazami, ki jih vizualizirajo puščice, in ustrezne točke odločanja, ki jih predstavljajo krogi (Cooper in Kleinschmidt, 1991). V zgodnjih fazah procesa razvoja novega produkta, to je v fazi ideje in fazi preliminarne raziskave, lahko pregled predlaganih postopkov določanja standardov na tehnološkem področju zagotovi ideje o najnovejšem razvoju, ne le na tem posebnem področju, ampak tudi za morebitno pridobitev zunanjih tehnologij kot nadomestkov za razvoj novih. Razkritje znanja udeležencev standardizacijskega procesa omogoča pridobivanje znanja za razvoj lastnih izdelkov podjetja in zagotavljanje informacij o razvoju novih

standardov podjetja. Obstoječi standardi namreč dajejo znanje o stanju določenega tehnološkega področja; te je treba upoštevati v začetnih fazah razvoja novih produktov, zlasti kadar namerava nov produkt vstopiti na „nova ozemlja“. Proces standardizacije ponuja možnosti za razkrivanje znanja in tehnologij na trgu in njihovo uveljavitev kot prevladujoče zasnove. Hkrati pa je produkt ali tehnologija, ki je prestala fazo testiranja in validacije procesa razvoja novega produkta, bolj izoblikovana za implementacijo v standard podjetja.

Razvoj standarda podjetja, nasprotno, lahko zagotovi razvojno področje, na katerem se lahko tehnologije, ki imajo potencial, kasneje razvijejo v industrijski standard. Standard podjetja se najprej razširja interno, nato pa se lahko širi na področje dobaviteljev in sodelujočih partnerjev.

2.2 Notranja standardizacija

Ena od ključnih funkcij standardizacije podjetja je pridobivanje informacij iz zunanjih in notranjih virov za zmanjšanje stroškov in vložnega dela. Standardi podjetja tako dokumentirajo trenutno stanje produktov, tehnologij in procesov, ki so osrednjega pomena za podjetje, ki niso na voljo iz zunanjih virov za ponavljajočo se uporabo (de Vries idr., 2006). Ti se pogosto distribuirajo samo znotraj meja podjetja, lahko pa se distribuirajo tudi zunanjim virom, kot so dobavitelji ali sodelujoči partnerji (Großmann idr., 2016), s čimer se v obliki standarda podjetja prenaša njegovo znanje.

Čeprav je vključitev lastne intelektualne lastnine v standard pomemben dejavnik, je pred širitvijo le-tega tudi zunanjim virom potrebno razmisliti tudi o strategiji patentiranja (Lerner in Tirole, 2014). Ko je znanje (izdelek ali tehnologija) enkrat na trgu, ga namreč ni več mogoče zaščititi s patentom. Zato bi morali v podjetju strategijo v zvezi s patentiranjem in standardizacijo skrbno pretehtati, v kateri fazi razvoja novega produkta uporabiti vhodno in izhodno znanje. Razkrivanje lastnega znanja v procesu standardizacije bi moralo slediti le zagotovitvi, da je ključna intelektualna lastnina že zaščitena. Razkritje lastne tehnologije morda ne bo koristno, če je ključno znanje prosto dostopno drugim podjetjem. Strategija standardizacije mora zato vedno upoštevati prednost patentiranja pred razkritjem notranjega znanja v procesu standardizacije.

3 Pristopi k standardizaciji razvoja novih produktov v praksi

V praksi podjetja v želji po ohranitvi ali izboljšanju konkurenčnosti svojih produktov izrabijo vse možnosti, ki jih imajo na voljo, da izpolnijo pričakovanja odjemalcev svojih produktov. Pogosto se dogaja, da morajo podjetja, ki so s svojimi produkti vključena v določeno oskrbovalno verigo, privzeti standarde (zunanji standardi), ki veljajo v panogi, v kateri delujejo. Šele nato pa lahko "kot nadgradnjo" na to osnovno standardizacijo uporabijo standarde (notranji standardi), ki so jih izoblikovali znotraj podjetja v želji po čim večji učinkovitosti proizvodnje in trženja svojih izdelkov.

3.1 Standardizacija procesa razvoja novih produktov (zunanja standardizacija)

V posamezni panogi ali oskrbovalni verigi je podjetjem, ki so v le-to vključena, ta standardizacija predpisana kot minimalna zahteva za sodelovanje. Najpogosteje je ta lahko podana v obliki standardov, referenčnih modelov ali uredb, ki določajo zahtevane faze, mejnike, dokumente, ki morajo biti izvedeni v procesu razvoja novega produkta. V nadaljevanju bomo zato na kratko predstavili zahteve referenčnega okvirja APQP – Advanced Product Quality Planning (slo.: napredno načrtovanje kakovosti izdelkov), ki je pogosto v uporabi na področju avtomobilske industrije in standarda ISO 13485:2016, ki se uporablja na področju medicinskih pripomočkov.

3.1.1 Napredno načrtovanje kakovosti izdelkov (APQP)

Referenčni model APQP je mogoče opredeliti kot strukturirano metodo definiranja in vzpostavitve potrebnih korakov za zagotavljanje zadovoljstva strank z izdelki. Njegov glavni cilj je zagotoviti ustrezno komuniciranje in sodelovanje med posameznimi razvojnimi aktivnostmi. V proces razvoja novega izdelka vključuje medfunkcijski tim, ki vključuje posamezne člane vsaj s področij trženja, oblikovanja in razvoja izdelkov, nabave, proizvodnje in distribucije.

APQP referenčni model je osredotočen na vnaprejšnje načrtovanje kakovosti in ugotavljanje zadovoljstva strank preko ocenjevanja rezultatov in vzpodbujanja nenehnega izboljševanja. Na ta način je omogočeno zgodnje prepoznavanje tako namernih kot naključnih odstopanj od zastavljenih ciljev. Neustrezno obvladovanje takih odstopanj namreč vodi do nezadovoljstva strank. S tega stališča je tu poudarek

na uporabi orodij in metod za zmanjševanje tveganj, povezanih s spremembami novega izdelka ali procesa.

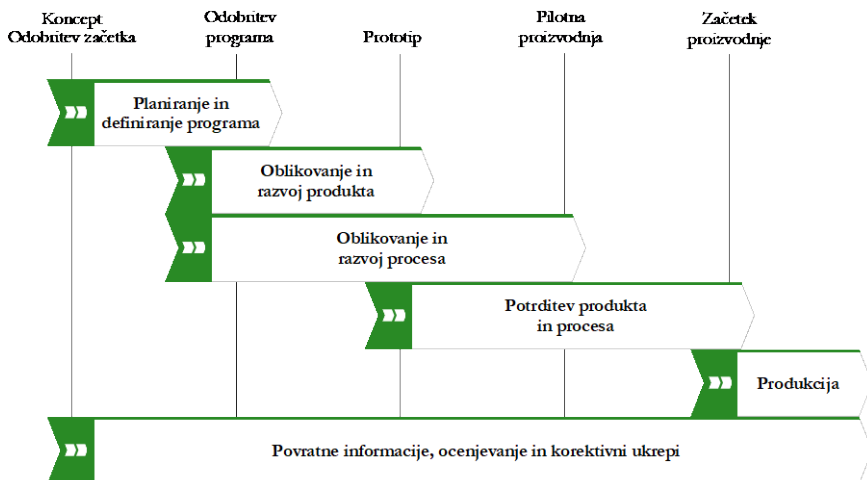
Referenčni model lahko uporabimo v dveh primerih (Krausch, 2008):

- podpora pri razvoju oz. uvedbi novega izdelka: V tem primeru vpliva na zmanjšanje napak s predhodnim ovrednotenjem tveganj, saj vključuje uporabo orodij, ki oblikovalce usmerjajo na vse vidike razvoja in oblikovanja izdelka (načrtovanje izdelkov in procesov, storitev, nadzor kakovosti procesov, pakiranje in nenehno izboljševanje);
- pri spremembi izdelka ali procesa, ki je že na trgu: Omogoča sledenje spremembi izdelka ali procesa zunaj procesa razvoja izdelka in zagotavlja, da je tveganje spremembe uspešno obvladovano s preprečevanjem težav, ki bi jih sprememba lahko povzročila.

Za uspešen razvoj in proizvodnjo izdelkov APQP referenčni model (skladno s standardi) predlaga uporabo petfaznega procesa:

- planiranje izdelka in definiranje programa kakovosti,
- oblikovanje in razvoj produkta,
- oblikovanje in razvoj procesa,
- potrjevanje produkta in procesa in
- zagon proizvodnje ter ocenjevanje in izboljševanje.

Planiranje izdelka in definiranje programa kakovosti: Ta faza je osredotočena na razumevanje potreb kupcev in pričakovanj glede izdelka, ko bo na trg predan nov izdelek, in ali je potrebno trenutni izdelek obnoviti. Aktivnosti planiranja vključujejo zbiranje potrebnih podatkov za definiranje, kaj stranka želi, in uporabo informacij za načrtovanje značilnosti izdelka. Na podlagi tega je definiran program kakovosti, ki je potreben za izdelavo izdelka. Rezultati te faze vključujejo jasno definirane zahteve glede oblikovanja, zanesljivosti in kakovosti izdelka. Z oblikovanim planom razvoja je zagotovljeno, da bo rezultat te faze zadovoljiva kakovost izdelka. Opravljeno je planiranje virov, osnutek procesa in izdelka. Določen je seznam preliminarnih posebnih značilnosti izdelka.



Slika 2: Faze uporabe referenčnega modela APQP

(prirejeno po Chiliban idr., 2013)

Oblikovanje in razvoj produkta: V tej fazi se določijo vse oblikovalske in konstrukcijske značilnosti izdelka, vsi detajli, tolerance in izpolnjevanje vseh posebnih značilnosti. Vse te karakteristike morajo biti potrjene z uradnim pregledom oblikovanja. Del te faze je tudi preverjanje oblikovanja z izdelavo prototipa in testiranjem le-tega.

Oblikovanje in razvoj procesa: Ta faza je osredotočena na oblikovanje proizvodnega procesa, v katerem se bo proizvajal nov ali izboljššan izdelek. Cilj je oblikovati in razviti proizvodni proces, pri čemer bodo upoštevane specifikacije izdelka, kakovost izdelka in proizvodni stroški. Oblikovani proces mora biti učinkovit in hkrati omogočati proizvodnjo pričakovane količine izdelkov, da bo lahko sledil zahtevam potrošnikov.

Potrjevanje produkta in procesa: V tej fazi se predstavijo rezultati statističnega spremljanja procesa, analize merilnih sistemov in študije zmogljivosti procesa. Pripravljen je proces odobritve sestavnih delov izdelka in po odobritvi se lahko začne proizvodnja izdelka. Izvedena je poskusna proizvodnja, proizvedene izdelke pa se testira, da se potrdi učinkovitost uporabljenega proizvodnega postopka. Opravijo in uskladijo se vse potrebne prilagoditve pred prehodom na naslednjo fazo.

Zagon proizvodnje ter pridobivanje povratnih informacij, ocenjevanje in korektivni ukrepi: V tej fazi se izvede zagon proizvodnje s poudarkom na sprotnem ocenjevanju in izboljšanju procesov. Temelj so aktivnosti, kot so zmanjševanje odstopanj v procesu, prepoznavanje težav in začetek korektivnih ukrepov za podporo nenehnim izboljšavam. V tej fazi je pomembno tudi zbiranje in ocenjevanje povratnih informacij strank ter zbiranje podatkov o učinkovitosti procesov in načrtovanju kakovosti.

V nadaljevanju v tabeli 1 prikazujemo dokumente, ki jih referenčni model APQP predpisuje kot del potrebnega rezultata uspešno izvedene posamezne faze razvoja novega izdelka.

Tabela 1: Pregled izhodnih dokumentov po fazah (povzeto po Krausch, 2008)

Faza	Dokumenti
Planiranje izdelka in definiranje programa kakovosti (faza 1)	Oblikovalske zahteve, Zahtevana zanesljivost izdelka/procesa, Zahtevana kakovost, Preliminarna kosovnica izdelka, Preliminarni proizvodni postopek, Preliminarni seznam posebnih lastnosti izdelka in/ali procesa, Posebni okoljevarstveni in varnostni predpisi, ki zadevajo izdelek in/ali proces, Plan izvedbe razvoja izdelka, Odobritev faze.
Oblikovanje in razvoj produkta (faza 2)	FMEA analiza za oblikovanje izdelka, FMEA analiza oblikovanja za proizvodnjo in montažo, Potrditev oblikovanja, Pregled oblikovanja, Plan kontrole prototipa, Konstrukcijska dokumentacija, Konstrukcijske specifikacije, Kontrola in odobritev konstrukcijskih sprememb, Potrebe po novi opremi, orodjih in prostoru, Definirane posebne karakteristike izdelka ali/in procesa, Merilne naprave/Zahteve glede opreme za testiranje, Potrditev izvedljivosti s strani tima, Odobritev faze.
Oblikovanje in razvoj procesa (faza 3)	Standard pakiranja in specifikacije, Pregled sistema zagotavljanja kakovosti, Diagram delotoka procesa, Tloris (layout) procesa, Matrika karakteristik (QFD), FMEA analiza procesa, Plan kontrole (pred predajo v proizvodnjo), Navodila za delo, Plan analiziranja merilnih sistemov,

Faza	Dokumenti
	Preliminarna študija kapacitet procesa, Odobritev faze.
Potrjevanje produkta in procesa (faza 4)	Poskusno obratovanje proizvodnje, Rezultati analiziranja merilnih sistemov, Študija kapacitet procesa, Odobritev proizvodnje sestavnih delov, Testiranje potrjevanja proizvodnje, Ocena primernosti pakiranja, Plan kontrole proizvodnje, Končni plan kontrole kakovosti, Odobritev faze.
Zagon proizvodnje ter pridobivanje povratnih informacij, ocenjevanje in korektivni ukrepi (faza 5)	Zmanjšanje odstopanja, Izboljšanje zadovoljstva strank, Izboljšana uspešnost dobav, Uspešna uporaba dobre prakse.

V referenčnem modelu APQP je zagotavljanje izpolnjevanja pogojev za dokončanje posamezne faze v razvoju novega izdelka zagotovljeno s spremljanjem spreminjanja statusov izhodnih dokumentov, ki jih referenčni model definira (tabela 1).

3.1.2 Sistem obvladovanja kakovosti medicinskih pripomočkov ISO 13485:2016

S tem standardom so določene zahteve za sistem obvladovanja kakovosti, ki ga lahko uporabljajo podjetja, vključena v eno ali več faz življenjskega cikla medicinskega pripomočka. Med zahteve za posamezne aktivnosti vključuje tudi zahteve glede oblikovanja in razvoja izdelka. Standard poudarja zahteve sistema obvladovanja kakovosti, ki dopolnjujejo tehnične zahteve izdelka, ki so potrebne za izpolnjevanje kupčevih in veljavnih zakonskih zahtev glede varnosti in učinkovitosti izdelka.

Standard je namenjen tako proizvajalcem kakor tudi dobaviteljem in zunanjim partnerjem podjetij (v oskrbovalni verigi), ki zagotavljajo izdelke ali/in storitve, povezane s sistemom obvladovanja kakovosti izdelka. Podjetje mora izpolnjevati navedene zahteve ne glede na velikost in ne glede na obliko poslovnega subjekta. Če so za medicinske pripomočke v standardu določene zahteve, se morajo le-te enako upoštevati tudi za z izdelkom povezane storitve, ki jih podjetje zagotavlja.

Nadzor procesa oblikovanja in razvoja novega izdelka (medicinskega pripomočka) standard poda po posameznih sklopih. Spremljanje procesa oblikovanja in razvoja novega izdelka razčleni na naslednje sklope oz. faze:

- planiranje oblikovanja in razvoja,
- vhodi v oblikovanje in razvoj,
- izhodi iz oblikovanja in razvoja,
- pregled oblikovanja in razvoja,
- verifikacija oblikovanja in razvoja,
- validacija oblikovanja in razvoja,
- prenos oblikovanja in razvoja,
- nadzor sprememb oblikovanja in razvoja,
- dokumentiranje oblikovanja in razvoja.

PROCES RAZVOJA NOVEGA PRODUKTA



AKTIVNOSTI SPREMLJANJA PROCESA



Slika 3: Faze nadzora v procesu oblikovanja in razvoja produkta

Vir: lasten.

Planiranje oblikovanja in razvoja: Podjetje mora planirati in nadzorovati proces oblikovanja in razvoja izdelka. Če je potrebno, je treba dokumente planiranja oblikovanja in razvoja izdelka tudi posodabljati. V fazi planiranja je potrebno dokumentirati faze oblikovanja in razvoja izdelka, potrebne preglede, preverjanja in potrditve ob posamezni fazi razvoja, odgovornosti in pristojnosti za oblikovanje in razvoj, metode za zagotavljanje sledljivosti izhodov in vhodov v proces razvoja ter potrebne vire skupaj s potrebnimi kompetencami teh virov.

Vhodi v oblikovanje in razvoj: Določeni in obvladovani morajo biti podatki o vhodih, povezanih z izdelkom. Ti podatki morajo vključevati zahteve o funkcionalnosti, učinkovitosti, uporabnosti in varnosti glede na njegovo uporabo, uporabljene predpise, zahteve in standarde, pričakovana tveganja glede rezultatov in druge zahteve, ključne za oblikovanje in razvoj izdelka in procesa.

Izhodi iz oblikovanja in razvoja: Izhodi oz. rezultati procesa oblikovanja in razvoja morajo izpolnjevati vhodne zahteve oblikovanja in razvoja, zagotoviti primerne informacije za nabavo, proizvodnjo in zagotavljanje storitev, kriterije sprejemljivosti izdelkov in seznam lastnosti izdelka, ki so ključne za njegovo varno in pravilno uporabo. Izhodi oz. rezultati morajo biti primerno oblikovani, da omogočajo potrditev (glede na vhodne zahteve) pred odobritvijo.

Pregled oblikovanja in razvoja: V posameznih fazah se izvedejo sistematični pregledi oblikovanja in razvoja skladno s planiranimi in dokumentiranimi dogovori za ocenjevanje primernosti rezultatov oblikovanja in razvoja glede na podane zahteve ter za ugotavljanje in predlaganje potrebnih ukrepov. V izvedbo pregleda so vključeni predstavniki področij, ki so vključeni v izvedbo faze oblikovanja in razvoja izdelka, ki se pregleduje, ter drugo strokovno osebje.

Verifikacija oblikovanja in razvoja: Podjetje mora verifikacijo oblikovanja in razvoja izvajati v skladu s planiranim in dokumentiranim dogovorom, da na ta način zagotovi, da so rezultati oblikovanja in razvoja ustrezni glede na vhodne zahteve. Dokumentirati mora plane verificiranja, ki vključujejo metode, kriterije sprejemljivosti in statistične tehnike glede na velikost vzorca, če je potrebno. Če uporaba izdelka predvideva neposredno povezavo izdelka (medicinskega pripomočka) z drugim izdelkom ali povezavo preko vmesnika, mora verifikacija vključevati potrditev, da izhodi oblikovanja ustrezajo vhodom oblikovanja povezanega izdelka.

Validacija oblikovanja in razvoja: Validacija oblikovanja in razvoja se mora izvesti skladno s planiranim in dokumentiranim dogovorom, da na ta način zagotovi, da nastali izdelek izpolnjuje zahteve za določeno uporabo ali predvideno rabo. Organizacija mora dokumentirati plane validacije, ki vključujejo metode, kriterije sprejemljivosti in statistične tehnike glede na velikost vzorca, če je potrebno. Validacija oblikovanja se izvede na reprezentativnem izdelku. Reprezentativni izdelek vključuje podatke o izhodiščni proizvodni enoti in seriji ali njihove

ekvivalente. Kot del validacije oblikovanja in razvoja mora podjetje izvesti klinično ocenjevanje ali oceno delovanja medicinskega pripomočka v skladu s predpisanimi zahtevami. Validacijo je treba zaključiti pred sprostitvijo izdelka v uporabo.

Prenos oblikovanja in razvoja: Podjetje mora dokumentirati postopke za prenos rezultatov oblikovanja in razvoja v proizvodnjo. S temi postopki je zagotovljeno, da so rezultati oblikovanja in razvoja primerni za proizvodnjo in da zmogljivost proizvodnje ustreza zahtevam izdelka.

Nadzor sprememb oblikovanja in razvoja: Postopke za nadzor sprememb v procesu oblikovanja in razvoja izdelka mora podjetje dokumentirati. Podjetje ugotavlja pomembnost vpliva sprememb na funkcionalnost, delovanje, uporabnost, varnost in način uporabe izdelka. Predlagane spremembe morajo pred uvedbo skozi štiristopenjski postopek, in sicer: pregled, preverjanje, potrditev in odobritev.

Dokumentiranje oblikovanja in razvoja: Podjetje mora obvladovati dokumentacijo oblikovanja in razvoja vsakega izdelka (medicinskega pripomočka) ali skupine izdelkov. Dokumentacija mora vključevati referenčne zapise o skladnosti z zahtevami za oblikovanje in razvoj izdelka in tudi zapise o spremembah v tem postopku.

3.2 Standardizacija v procesu razvoja novih produktov (notranja standardizacija)

Poleg standardizacije samega procesa razvoja novega produkta je za zagotavljanje učinkovite in uspešne proizvodnje novo razvitih izdelkov tekom razvoja potrebno razmisliti tudi o možnostih standardizacije na nivoju samega izdelka – bodisi z vključevanjem standardizacije na nivoju procesa proizvodnje izdelka (proizvodnega postopka) ali na nivoju samega izdelka (njegovih sestavnih delov). K standardizaciji procesa proizvodnje in samega izdelka je tako možno pristopiti na več načinov (Swaminathan, 2001), in sicer v obliki:

- standardizacije delov,
- standardizacije procesa,
- standardizacije izdelkov,
- standardizacije nabave.

3.2.1 Delna standardizacija

Pri delni standardizaciji se v izdelkih uporabijo univerzalni deli s ciljem zmanjšati zaloge ter stroške zaradi ekonomije obsega. Slaba stran delne standardizacije je, da prekomerna univerzalnost zmanjša diferenciacijo izdelkov in da morajo biti proizvodne linije ali družine izdelkov prilagojene uporabi univerzalnih delov.

3.2.2 Standardizacija procesa

Bistvo standardizacije procesov je, da se izvede standardizacija vseh procesov v čim večjem obsegu; začne se z generičnim izdelkom ali izdelkom določene družine, pri čemer pa je glavni cilj, da pride do prilagajanja izdelkov čim pozneje oziroma se odločitve o strukturi določenega izdelku odložijo, dokler je proizvodnja še v teku. Pride do tako imenovanega »odloga odločitve o diferenciaciji izdelka«.

Odložena diferenciacija nam omogoča:

- koncipiranje novih izdelkov, prilagojenih za odloženo diferenciacijo,
- preureditev proizvodnega procesa, tako da se spremeni vrstni red korakov izdelave izdelka, pri čemer sprememba operacij povzroči diferenciacijo posameznih elementov (Mohamad idr., 2013).

3.2.3 Standardizacija izdelkov

Pri standardizaciji izdelkov gre za celoten postopek standardizacije, ki se ne nanaša samo na tehnične karakteristike izdelka, temveč vključuje razvojne aktivnosti ter tudi standardizacijo marketinških aktivnosti. Glavni cilj je izboljšati izdelek ter razširiti njegovo uporabo, poenostaviti servisiranje in nasploh doseči ustrezne pozitivne ekonomske učinke.

Princip je naslednji: najprej se koncipira neka osnovna (referenčna) verzija izdelka, nato se o strukturi in lastnostih tega izdelka seznanijo kupci. Pomembno pa je predvsem to, da se na osnovi povratnih informacij s trga izdelke sproti dograjuje z večjim naborom funkcij in prilagaja zahtevam kupcev. Sledi še strukturiranje in oblikovanje marketinško-prodajnega koncepta, ki je namenjen predvsem temu, da določa strukturo ponudbe izdelkov.

3.2.4 Standardizacija naročil

Pri standardizaciji naročil se bistveno zmanjša tveganje naložb v napačno opremo z združevanjem povpraševanja po različnih izdelkih.

3.3 Izbira strategije za standardizacijo

Ko izbiramo način pristopa ali operativno strategijo za standardizacijo, je izbira odvisna predvsem od narave izdelka in procesa, kot je prikazano na sliki 4, in sicer:

- če bodo proces in izdelki modularni, bo standardizacija procesa pripomogla k čim večji učinkovitosti natančnosti napovedi in zmanjšanju stroškov zalog,
- če je izdelek modularen, postopek pa ni, ni mogoče zakasniti diferenciacije. Vendar pa je zelo verjetno, da bo tudi delna standardizacija učinkovita,
- če je postopek modularen, izdelek pa ni, standardizacija nabave zmanjša stroške opreme.

		Proces	
		<i>Nemodularen</i>	<i>Modularen</i>
Proizvod	<i>Modularen</i>	Standardizacija delov	Standardizacija procesa
	<i>Nemodularen</i>	Standardizacija proizvoda	Standardizacija nabave

Slika 4: Operativne strategije pri uvajanju standardizacije

Vir: lasten.

3.4 Standardizacija izdelkov

Standardizacija izdelkov se nanaša na postopek ohranjanja enotnosti in doslednosti med različnimi iteracijami določenega izdelka ali storitve, ki so na voljo na različnih trgih. Gre v bistvu za trženje izdelka ali storitve, kjer ostanejo značilnosti izdelka ali

storitve enake. Izdelek je izdelan iz enakih materialov in z enakimi postopki, ima enako embalažo in se trži pod enakim imenom. Če se izdelek spremeni, se spremeni le površinsko.

Strategija standardizacije izdelkov zahteva, da se upoštevajo smernice, ki so splošno sprejete in so osnova za postopke pri proizvodnji izdelkov ali opravljanju storitev, da bi se ohranila doslednost narave, videza in kakovosti izdelka. Smernice se lahko nanašajo na eno podjetje ali eno panogo in se lahko uporabljajo na nacionalni ali mednarodni ravni.

Izdelki so lahko standardizirani ali prilagojeni ciljni skupini potrošnikov, saj obstajajo splošni standardi, ki jih mora izdelek izpolnjevati. Standardizirani izdelki in storitve spodbujajo udobje uporabe za potrošnika in privabljajo potrošnike na podlagi stalne kakovosti in tipičnih lastnosti nekega izdelka ali storitve. Standardizacija izdelkov temelji na uporabi iste osnovne platforme na vseh trgih. Lastnosti izdelka so čim bolj identične, kar pa je včasih precej težko doseči, sploh če se izdelek trži na mednarodnih trgih.

Rezultat standardizacije izdelkov in storitev je, da lahko potrošniki izbirajo med vrsto izdelkov in storitev, ki se med seboj razlikujejo, vendar nudijo enake splošne koristi in so enake splošne kakovosti. Po drugi strani pa standardizacija izdelkov zmanjšuje razpoložljivo raznolikost izdelkov, ki služijo podobnemu namenu. Bistvena prednost standardizacije je, da enotnost in doslednost izdelkov povečujeta učinkovitost proizvodnje ter stroškovno uspešnost nekega izdelka ali storitve.

3.4.1 Ekonomski in marketinški vidiki standardizacije produktov

Standardizacija produktov je koristna iz več razlogov. Z upoštevanjem standardov pri proizvodnji izdelkov in storitev izboljšamo stopnjo inoviranja, zmanjšamo stroške in racionaliziramo proizvodni sistem.

- **Zmanjšanje stroškov:** Standardizacija produktov zmanjšuje stroške proizvodnje. Če se za proizvodnjo enakih izdelkov ali storitev upoštevajo določene smernice, ki jih določajo standardi, se stroški surovin znižajo, saj standardi določijo, da morajo biti surovine, embalaža ter tehnike trženja enake. To posledično zmanjša stroške

proizvodnje in tudi vzdrževanja. Istočasno pa se tudi poenostavi proces razvoja izdelka ali storitve, saj ni potrebno za vsako iteracijo razvojne stopnje izdelka ponavljati vseh prejšnjih razvojnih stopenj. Gre pravzaprav za nekakšno naravno evolucijo izdelka ali storitve, kar pa bistveno pripomore pri zmanjšanju stroškov.

- **Učinkovitost proizvodnje:** Proizvodni proces postane bistveno učinkovitejši, če je končni cilj ohraniti enotnost izdelkov. Prav tako je lažje avtomatizirati vsaj del proizvodnega procesa. Isti postopek za proizvodnjo enakega izdelka ali opravljanje enakih storitev se lahko uporablja v različnih podjetjih. Dejstvo, da ni potrebno za vsako novejšo verzijo inovirati izdelka, povečuje učinkovitost (Mohamad idr., 2013). Potrošnik ne pričakuje, da se bo izdelek poslabšal, vendar tudi ne pričakuje, da se bo korenito spremenil. Obstaja ustaljen postopek, ki racionalizira in pospešuje proizvodnjo, kar pa veliko pripomore k boljši ekonomiki proizvodnje.
- **Vzpostavitev in krepitev blagovne znamke:** Ko je določen izdelek na voljo na različnih trgih, v enaki obliki in z enotnimi značilnostmi, postane blagovna znamka, ki jo potrošniki prepoznajo in ji zaupajo (Pollard idr., 2011). Ne glede na geografsko lokacijo se potrošniku dostavi popolnoma enak izdelek ali storitev, pri čemer se kakovost ne spremeni. To krepi blagovno znamko izdelka. Da določen prepoznaven izdelek izberejo potrošniki, ki so ga uporabili v preteklosti in ga želijo ponovno uporabiti zaradi njegove kakovosti, predstavlja za podjetje, ki ta izdelek trži, zelo veliko dodano vrednost.
- **Prednost za potrošnike:** Standardizacija izdelkov je za potrošnike priročna, ko gre za izdelke, kot so tehnološki izdelki, gradbeni materiali ali avtomobili. Upoštevanje specifikacij zagotavlja, da bodo potrošniki lahko našli določen izdelek za zadovoljitev določene potrebe, ne glede na to, kje se nahajajo. Standardizacija tehnologije ohranja združljivost tehnoloških naprav po vsem svetu in zboljšuje učinkovitost.
- **Standard kakovosti:** Standardizacija izdelkov zagotavlja, da vsi izdelki ustrezajo določenemu standardu kakovosti. Posamezni izdelek mora biti v vseh pogledih enoten, kar pa pomeni, da je odkrivanje napak v procesu proizvodnje ali trženja zelo preprosto in hitro.

3.4.2 Prednosti standardizacije produktov

Standardizacija produktov ima kar precej prednosti v primerjavi z možnostjo prilagajanja izdelkov ali storitev pri:

- **inoviranju izdelkov:** razpoložljivost osnovnega (standardiziranega) produkta povečuje možnost inovacij. Podjetja v določeni panogi, ki ponujajo standardizirane izdelke in storitve, gradijo na standardiziranem produktu s ciljem, da bi proizvedle drugačen izdelek ali storitev, ki je skladen s standardi panoge, vendar je pa bistveno izboljššan. Dejstvo je, da če obstaja standardiziran produkt, na katerem se delajo izboljšave, namesto da bi ga inovirali od začetka, s tem zmanjšujemo stroške in povečujemo učinkovitost razvoja produkta. Posledica je učinkovita uporaba časa in virov za nadgradnjo standardiziranega produkta;
- **koristih za potrošnika:** standardizacija produktov zmanjšuje število razpoložljivih produktov, ki služijo določenemu namenu. Potrošnik lažje izbere produkt, ki ga želi kupiti, saj se tako zmanjšuje zmedenost potrošnikov pri odločanju. Določena dobrina je enaka v vseh svojih ponovitvah in potrošnik se zaveda njene kakovosti, kar pa je tudi osnova za nakup. V primeru, da produkt ne izpolnjuje standardov, potrošnik to ve in se mu lahko izogne. Standardizacija produktov je zelo pomemben element, ki zagotavlja varnost potrošnikov;
- **pri mednarodnem trženju:** globalizacija je s preseганjem geografskih in kulturnih mej povzročila vse večjo podobnost zahtev ljudi. Standardizacija produktov na nacionalnih in mednarodnih trgih zagotavlja, da je potrošnikom na voljo enak produkt, ki je skladen v vseh svojih vidikih, ne da bi bilo treba upoštevati njegovo dejansko lokacijo. Sprememba države ne povzroči spremembe kakovosti. Ljudje lahko v tujini kupijo enak produkt, kot ga uporabljajo doma. Ljudje, ki so slišali za določen produkt, ki izvira iz določene države, ga lahko kupijo, ne da bi jim bilo treba potovati v to državo, hkrati pa imajo zagotovilo, da se kakovost produkta ne bo poslabšala;
- **izogibanje stroškom prilagajanja:** prilagajanje določenega izdelka ali storitve določeni skupini potrošnikov je lahko zelo drago. Za prilagoditev produkta je potrebno zbrati podatke, izvesti obsežno

testiranje, uvesti različne tehnike trženja glede na ciljne skupine potrošnikov itd. S proizvodnjo enotnega, enakega izdelka ne glede na trg se ekonomika nekega izdelka bistveno izboljša, saj so lahko stroški prilagoditve izdelka glede na velikost in vrsto trga previsoki.

3.4.3 Slabosti standardizacije produktov

Žal pa standardizacija ne prinaša samo prednosti, ampak tudi negativne posledice:

- **Stagnacija:** pri standardizaciji produktov vedno obstaja možnost stagnacije. Inovacij morda ne bo lahko doseči, če so enotni, enaki izdelki postali norma. Rezultat tega je zmanjšanje konkurenčnosti. Prevelik poudarek na doslednosti (standardiziranju) produktov lahko postane ovira za ustvarjalnost, zaradi česar ni možno prilagajanje spreminjajočim se zahtevam potrošnikov, kar pa je lahko usodno.
- **Neuspešno komuniciranje:** če se zahteve potrošnikov spreminjajo, podjetje pa je preveč zavezano ohranjanju doslednosti produktov, da bi se tega zavedalo in ustrezno odzvalo, bodo potrošniki prenehali kupovati produkte, proizvajalec pa ne bo mogel ustvariti novega produkta, ki bi ustrezal spreminjajočim se zahtevam. Posledica tega je, da bodo imeli konkurenti, ki so bolj v stiku s potrošniki in njihovimi željami, veliko boljši tržni položaj.
- **Normativne in zakonodajne razlike:** nekateri produkti so lahko standardizirani na različnih trgih brez upoštevanja geografskih meja, vendar imajo različne države različne normative in zakonodajo. V tem primeru se izdelki lahko sicer proizvajajo v skladu s standardiziranimi specifikacijami, vendar jih ni mogoče uporabljati v vseh državah.
- **Kulturne razlike:** tudi v dobi globalizacije obstajajo zelo velike kulturne razlike. Neupoštevanje posebnosti lokalnega trga in neustrezna prilagoditev produktov pomenita neuspeh plasmaja nekega izdelka ali storitve.

Standardizacija produktov je zelo uporabna strategija, ki prinaša številne prednosti. Vendar pa tudi to ni brez pasti. Idealen poslovni model je takšen, ki upošteva pomanjkljivosti, uporablja prednosti in na koncu uporablja kombinacijo standardizacije in prilagajanja.

3.5 Vpliv standardizacije in modularizacije na razvoj novih produktov

Standardizacija in modularizacija sta orodji za izboljšanje predvidljivosti in učinkovitosti pri načrtovanju razvoja novih produktov. Glavni izziv pri standardizaciji in modularizaciji produktov je upravljanje informacij s trga, ki odražajo potrebe kupcev (Sako in Murray, 1999). To pa je osnova za opredelitev kritičnih procesov pri razvoju novih produktov.

Pri razvoju novih produktov, podprtih s standardizacijo, sta bistvena dva faktorja, in sicer: uskladitev zunanje raznolikosti novega produkta z modulariziranimi in standardiziranimi sistemi (notranja raznolikost) in uskladitev modularizacije in standardizacije glede na vrednote strank (Baldwin in Clark, 2006). Predpostavlja se namreč, da je vključevanje končnih kupcev in razvojnih ekip ter upravljanje njihovega znanja in izkušenj zelo pomemben faktor, ki bistveno vpliva na povečanje uspešnosti in učinkovitosti standardizacije in modularizacije pri razvoju novih produktov.

Standardizacija je smiselna predvsem pri produktih, ki predstavljajo kompleksne sisteme, ne le zaradi velike medsebojne odvisnosti v samem produktu, temveč tudi zaradi soodvisnosti z drugimi produkti. Standardizacija in modularizacija sta se izkazali za učinkoviti orodji za zmanjšanje zapletenosti teh izdelkov z zmanjšanjem števila komponent.

Opredelitev modularizacije je odvisna od njenega cilja, in sicer pri načrtovanju, proizvodnji ali uporabi (Baldwin in Clark, 2006). Standardizacija je "obsežna uporaba sestavnih delov, metod ali procesov, pri katerih je prisotna rednost, ponavljanje ter uspešna praksa in predvidljivost" (Gibb, 2001). Čeprav so prednosti modularizacije in standardizacije v proizvodnji velike, je velikokrat razlog za omejeno uporabo verjetno ta, da modularizacija in standardizacija bistveno spreminjata način pri koncipiranju, razvoju in proizvodnji novih produktov. Treba je povečati učinkovitost in uspešnost z vključevanjem vseh zainteresiranih strani ter prestrukturirati delo razvoja, da bi izboljšali prizadevanja za povezovanje načrtovanja

produktov in procesov pri uporabi modularizacije in standardizacije. V nadaljevanju je predstavljen model izvedbe standardizacije in modularizacije ter posredno tudi, kako sprememba standardizacije vpliva na razvoj novih produktov.

3.5.1 Vrste modularnosti

Cilj modularnosti vpliva na način, kako so moduli strukturirani (Baldwin in Clark, 2006). Glede na cilj lahko razlikujemo tri vrste modularnosti:

- modularnost pri dizajniranju novega izdelka,
- modularnost pri proizvodnji,
- modularnost pri uporabi.

Modularnost pri dizajniranju novega izdelka: pri dizajniranju novega izdelka je struktura "modularno zasnovana, če (in samo če) je mogoče postopek njegovega načrtovanja razdeliti in porazdeliti po posameznih modulih" (Baldwin in Clark, 2006).

Modularnost v proizvodnji (modularnost procesa): Za doseganje modularnosti v proizvodnji je bistvena specifikacija sestavnih delov in njihovih funkcionalnosti. Modularnost v proizvodnji podpira množično prilagajanje in jo je mogoče opredeliti kot modularnost procesa (Mohamad idr., 2013). Modularnost v proizvodnji nekega izdelka še ne pomeni, da je zasnova nekega izdelka modularna. Modularnost v proizvodnji olajša izdelavo izdelkov z razdelitvijo proizvodnega procesa na procesne module ali celice. Procesni moduli so lahko velika proizvodna celica ali delovna postaja. Za proizvodno modularnost je torej pomemben "razvoj modulov izdelkov z minimalno odvisnostjo od drugih sestavnih delov izdelka glede na proizvodni postopek" (Denmark, Ulrich in Tung, 1991).

Modularnost pri uporabi pa je opredeljena kot: "Sistem izdelka je modularen pri uporabi, če potrošniki lahko zamenjujejo in usklajujejo elemente ter tako ustvarijo končni izdelek, ki ustreza njihovem okusu in potrebi" (Gershenson in Prasad, 1997).

Modularna zasnova izdelka je najboljši način za doseganje raznolikosti izdelkov in hkrati skrajšanja časa proizvodnje. Modularizacija tako poenostavlja proizvodnjo in izdelavo zaradi manjšega števila sestavnih delov in skupnih vmesnikov. Modularnost je relativna lastnost, ki je odvisna od podobnosti med fizično in funkcionalno arhitekturo zasnove in zmanjšanjem naključnih povezav med fizičnimi komponentami (Denmark, Ulrich in Tung, 1991). Posledica tega pa je, da večja modularizacija podpira in olajša standardizacijo in zamenljivost komponent.

3.5.2 Metodologija načrtovanja modularizacije in standardizacije novih produktov

Osnovni namen modularizacije je strukturirati produkte ali njihove sestavne dele v dele, imenovane moduli, standardizacija pa je namenjena združevanju podobnih modulov v enovit modul, pri tem pa tudi poskusiti bolj zmanjšati različne vrste modulov. Modularizacija in zmanjšanje števila vrst modulov povzročita spremembe v zasnovi. Spreminjanje zasnove vključuje rekonfiguracijo in preoblikovanje podsistemov ali komponent. Uporaba modularizacije in standardizacije v procesu načrtovanja novega produkta vključuje številne izzive. Eden glavnih izzivov je iskanje ponovljivih podsistemov v strukturi in prilagajanje zunanje raznolikosti izdelka z modulariziranimi in standardiziranimi sistemi (notranja raznolikost). Ravnovesje med zunanjo in notranjo raznolikostjo, med največjo možno standardizacijo in fleksibilnostjo je razlog za težave pri uporabi standardizacije v procesu načrtovanja novega produkta (Gibb, 2001). Dodaten izziv je uskladitev modularizacije in standardizacije z vrednotami strank. Ta uskladitev vključuje upoštevanje kakovosti končnega produkta in tudi zahteve proizvodnega procesa.

3.5.3 Vrednote kupcev

Standardizacija in modularizacija močno vplivata na vrednote strank, tako na vrednote končnega kupca kot tudi na sam proizvodni proces. Vrednote so za posamezne udeležence tega procesa povsem drugačne. Po drugi strani je proces standardizacije in modularizacije v bistvu neprekinjen razvojni proces, ki je odvisen od življenjskega cikla posameznega izdelka. Uporaba modularizacije in standardizacije povzroči spremembo konfiguracije novih produktov, izgleda ali dimenzij, ki pa so podvržene presoji in povratnim informacijam s tržišča (MCutcheon idr., 1994). Pričakuje se, da bosta standardizacija in modularizacija uspeli povečati vrednost novega produkta za končnega kupca, zato so pri tem

procesu zelo koristne informacije s tržišča in analize strukturiranega pristopa za učinkovito integracijo zasnove produkta in procesa.

3.6 Razvoj novih produktov in standardizacija

Uporaba standardizacije in modularizacije v procesu načrtovanja in razvoja novih produktov zahteva uporabo novih meril pri ocenjevanju možnosti načrtovanja in razvoja. Standardizacija in modularizacija se začneta že v zelo zgodnjih fazah razvoja. To močno poveča prilagodljivost za razvoj modulariziranih in standardiziranih produktov.

Metodologija načrtovanja opredeljuje »nov produkt« v tristopenjski hierarhiji:

- definicija produkta,
- struktura produkta,
- konfiguracije in sestavni deli.

Razvrstitev v tristopenjsko hierarhijo temelji na njihovih učinkih na standardizacijo in modularizacijo ter na razvojni proces produkta.

3.6.1 Definicija produkta (faza 1)

Vsak produkt ima svoje referenčne karakteristike, zato je le-te potrebno analizirati kot osnovo za razvoj modulov in za olajšanje procesa standardizacije med njimi. Produkt naj bi bil koncipiran na način, da omogoča maksimalno standardizacijo in modularizacijo.

3.6.2 Postopek modularizacije (faza 2)

Potrebno je preveriti funkcijo vsakega modula ter morebitno podvajanje funkcij modulov. S tem ugotovimo, kako lahko kar najbolj povečamo stopnjo standardizacije modulov, in sicer z:

- določitvijo elementov, ki jih je treba spremeniti, da bi dobili modularni produkt,
- ugotavljanjem vzrokov za nemodularizirano strukturo produkta,

- analizo možnosti za modularizacijo strukture produkta,
- izvedbo sprememb.

Proces modularizacije je iteracijski proces, zato je zelo pomembno pridobivanje in upoštevanje informacij uporabnikov tega produkta. Proces modularizacije lahko opredelimo kot: povečevanje modularnosti produkta ob upoštevanju omejitev glede uporabnosti in karakteristik produkta.

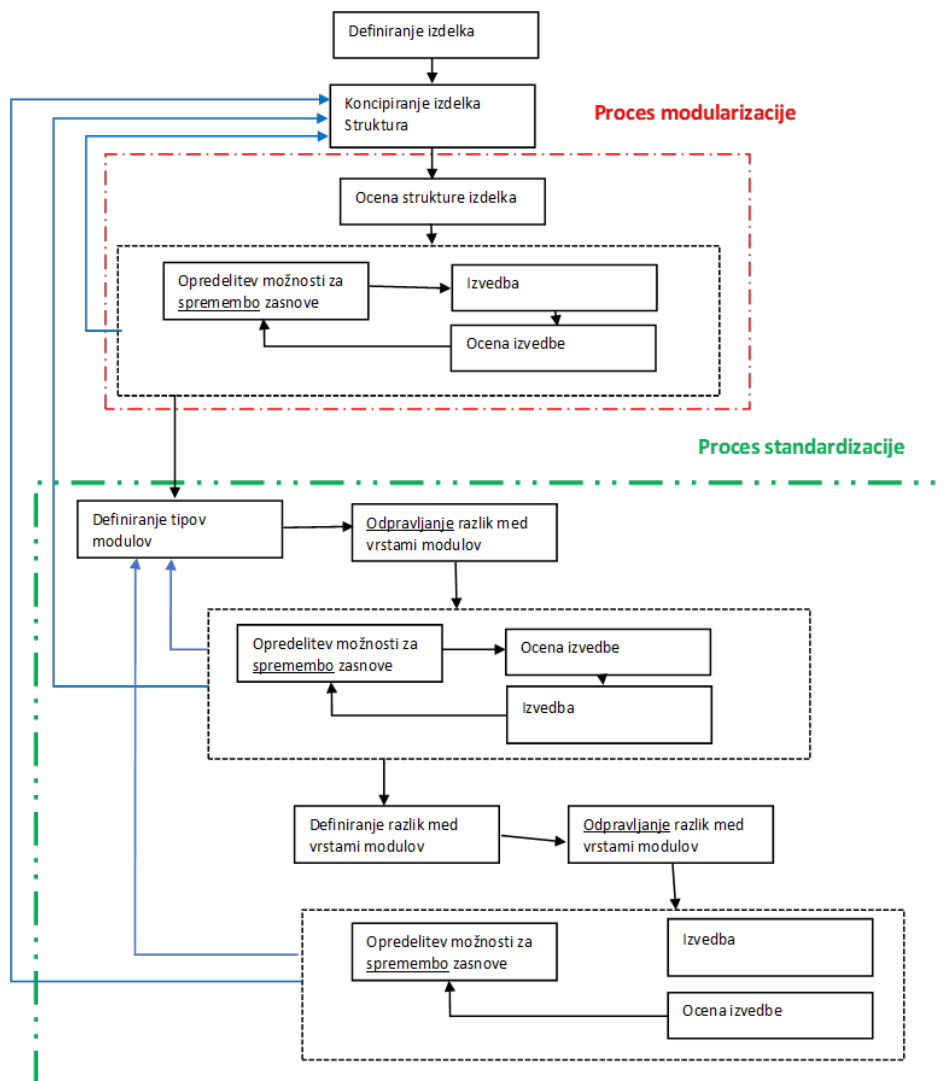
3.6.3 Postopki standardizacije (faza 3)

Postopek standardizacije je sestavljen iz dveh korakov:

- odprava razlik znotraj ene vrste modulov z uskladitvijo strukture funkcij, ki pripadajo isti vrsti modulov, z majhnimi spremembami karakteristik;
- zmanjšanje vrst modulov z zmanjšanjem števila razlik med različnimi vrstami modulov.

Postopek standardizacije je v veliki meri odvisen od izkušenj razvojnega kadra in je ponavljajoč se proces. Naloga je ugotoviti razlike med vrstami modulov in analizirati možnosti za odpravo ali zmanjšanje teh razlik brez zmanjševanja kakovosti in uporabnosti produktov.

Vpliv in prikaz korelacij med standardizacijo in razvojem novih produktov je podan na sliki 5, kjer sta jasno razvidna hierarhija posameznih procesov in pa vpliv povratnih povezav na postopek in proces razvoja novih produktov.



Slika 5: Model procesa razvoja novih produktov v odvisnosti od standardizacije

Vir: Lasten.

4 Diskusija

Großmann (2016) s svojimi sodelavci ugotavlja, da podjetja pogosto nimajo določene posebne strategije standardizacije, ampak se pogosteje parcialno osredotočajo na standardizacijske aktivnosti. Poleg tega ugotavlja, da se podjetja poslužujejo zunanje standardizacije v želji po doseganju čim boljše kakovosti

produktov, medtem ko notranjo standardizacijo uporabljajo predvsem v želji po zniževanju cen.

Podjetja skušajo posamezne standarde z analizo njihovega potencialnega vpliva aktivno uporabiti sebi v prid (von Hippel in Krogh, 2006). Poleg tega z oblikovanjem notranjih standardov podjetja omogočajo širjenje lastno razvitih tehnologij, ki hkrati predstavlja način "učenja" iz preteklih primerov. Hkrati pa morajo podjetja v vseh fazah razvoja novega izdelka neprestano opazovati razvoj zunanje standardizacije, ki bi lahko postala pomembna za notranji razvoj novih produktov (Pohlmann idr., 2015).

Smernice, ki se nanašajo na odgovornost, zahtevajo od podjetij upoštevanje obstoječih standardov tudi na področju razvoja novih produktov, kjer je s tem do neke mere določena formalizacija razvoja produkta. Ugotovljeno je, da razvijalci pri razvoju novega produkta pogosto zgolj po lastni želji upoštevajo standarde, ki so bili upoštevani pri prejšnji različici produkta (Großmann idr., 2016). S postopkom dokumentiranja obstoječih standardov (ki jih izpolnjuje določen produkt) bi tako lahko zmanjšali stroške iskanja, izboljšali izmenjavo informacij med razvojnimi inženirji in preprečili zanemarjanje pomembnih obstoječih standardov. Ažuren popis zahtevanih in veljavnih standardov bi vplival na izboljšanje vseh faz procesa razvoja novega produkta.

Ko proces razvoja izdelka preide fazo idejne zasnove, so določeni standardi produkta, ki jih mora le-ta izpolnjevati, vendar je standarde potrebno nenehno prilagajati in dopolnjevati, ko razvoj produkta napreduje skozi posamezne faze. Poleg tega je priporočeno, da razvoj oblikuje nabor notranjih standardov, ki jih je smiselno uporabiti pri razvoju novega produkta. Iz tega nabora razvijalci vključujejo pristope standardizacije ves čas razvoja novega produkta, dokler se ne zaključi faza testiranja in validacije.

Z upoštevanjem zunanje in notranje standardizacije si podjetja zagotovijo, da se primerno odzovejo tako na zunanje pogojene spremembe kakor tudi na notranje potrebne spremembe. Za izpeljavo učinkovite standardizacije je treba poskrbeti za ustrezno usposobljenost razvijalcev in produktivnih managerjev, kar pomeni dodatne stroške. Čeprav nastanejo stroški, povezani z izvajanjem standardizacijskih pristopov, pa predvidene koristi pri zmanjševanju raznolikosti komponent in tudi

pri zmanjšanju tveganja spregledanih zahtev razvijajočih standardov upravičijo stroške uvedbe celovitega nadzora standardizacije.

5 Zaključek

Teoretična izhodišča, predstavljena v tem prispevku, so pokazala, kako je standardizacija povezana z upravljanjem možnosti za izboljšanje kakovosti in znižanje stroškov na področju razvoja novih produktov. Prikazali smo, kako se razlikujejo posamezne aktivnosti standardizacije posameznih zunanjih in notranjih pristopov. Posamezni pristopi standardizacije imajo prav tako velik potencial za upravljanje in prenos znanja na vhodni in izhodni strani razvoja novih produktov.

Stalno spremljanje informacij o standardih in standardizacijske aktivnosti morajo podjetja vključiti v proces razvoja novega produkta, saj je to pomembno – podobno kot raziskava trga. Priporočeno je, da podjetja oblikujejo strateški pogled na standardizacijo, ki bo skladen z njihovo splošno strategijo. Ustrezna strategija standardizacije namreč lahko zagotovi mehanizem prenosa znanja za uresničitev strateških priložnosti v okviru razvoja novih produktov (Großmann idr., 2016).

Čeprav smo pristope standardizacije prikazali na primeru iz oskrbovalne verige avtomobilske industrije in izdelave medicinskih pripomočkov, je bistvo tega področja relevantno tudi za druge panoge.

Literatura

- Anderson, A. (2016). The latest research on product innovation. pp. 1-53. Accessed on: 25 March 2017. Available: http://www.tcsafea.org.cn/imageserver/file/20160419/20160419161731_904.pdf.
- Baldwin, C. Y., and Clark, K. B., (2006). "Modularity in the design of complex engineering systems". In *Understanding Complex Systems*, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 175–205.
- Barczak, G., Griffin, A., and Kahn, K. B. (2009). Perspective: Trends and drivers of success in NPD practices: Results of the 2003 PDMA best practices study. *Journal of product innovation management*, 26(1), 3–23.
- Barrett, C. W., Musso, C. S., and Padhi, A. (2009). Upgrading R&D in a downturn. Accessed on: 25 March 2017. Available: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/upgrading-r-and-d-in-a-downturn>.
- Carter, M. P. (2015). Creation and validation of a best practice new product development process assessment tool for industrial practitioners. Doctoral thesis. College of Technology, Indiana State University, Terre Haute, Indiana.
- Chesbrough, H., and Crowther, A. K. (2006). Beyond high tech: early adopters of open innovation in other industries. *R&D Management*, 36, 3, 229–236.

- Chiesa, V., Manzini, R., and Toletti, G. (2002). Standardsetting processes: evidence from two case studies. *R&D Management*, 32, 5, 431–450.
- Chiliban, B., Chiliban, M., and Inǎ, M. (2013). Advanced Product Quality Planning Reference Model in Automotive Industry. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 371, pp. 802–806). Trans Tech Publications Ltd.
- Cooper, R. G., and Edgett, S. J. (2012). Overcoming the current crunch in NPD resources. In *Product Innovation Best Practices Series*, 17, Stage-Gate International, pp. 1-19. Accessed on: 27 March 2017. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/1886/7b8c5f41b2f28a9262e66b14618676845618.pdf>.
- Cooper, R. G., and Kleinschmidt, E. J. (1991). New product processes at leading industrial firms. *Industrial Marketing Management*, 20, 2, 137–147.
- Dahlander, L., and Gann, D. M. (2010) How open is innovation? *Research Policy*, 39, 6, 699–709.
- Ulrich, K. T., and Tung, K. (1991). "Fundamentals of Product Modularity." MIT Working Paper #3335-91-MSA, Sept, 14 pp.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J. (1997). Modularity in product design for manufacturability. *International Journal of Agile Manufacturing*, 1(1), 99–110.
- Gibb, A. G. (2001). Standardization and pre-assembly-distinguishing myth from reality using case study research. *Construction Management & Economics*, 19(3), 307–315.
- Griffin, A., Price, R. L., Vojak, B. A. & Hoffman, N. (2014). Serial innovators' processes: How they overcome barriers to creating radical innovations. *Industrial Marketing Management*, 43(8), pp. 1362-1371.
- Großmann, A. M., Filipović, E., & Lazina, L. (2016). The strategic use of patents and standards for new product development knowledge transfer. *R&D Management*, 46(2), 312-325.
- von Hippel, E., and von Krogh, G. (2006). Free revealing and the private-collective model for innovation incentives. *R&D Management*, 36, 3, 295–306.
- Iversen, E. J., Oversjoen, E., and Lie, H. T. (2004). Standardization, innovation and IPR. *Teletronikk*, 2, 65–79.
- Jiang, H., Zhao, S., Zhang, Y., and Chen, Y. (2012). The cooperative effect between technology standardization and industrial technology innovation based on Newtonian mechanics. *Information Technology and Management*, 13, 4, 251–262.
- Krausch, D. L. (2008). *Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan – Second Edition. Detroit: ALAG.*
- Lerner, J., and Tirole, J. (2014). A better route to tech standards. *Science*, 343, 6174, 972–973.
- Loitto, S. (2012). *Agile in waterfall: Improving the flexibility of product development. Master's degree in Industrial Management. Helsinki: Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.*
- MCutcheon, D. M., Raturi, A. S., and Meridith, J. R. (1994). "The customizaton responsiveness squeeze". *Sloan management review*, vol. 35 No. 2, pp. 89–99.
- Mohamad, A., Hickethier, G., Hovestadt, V., and Gehbauer, F. (2013). "Use of modularization and standardization as a strategy to reduce component variety in On-off Projects" *Proceedings of 21th International Group for Lean Construction Conference., Fortaleza, Brazil*, 289–298.
- Müller-Stewens, B., and Möller, K. (2017). Performance in new product development: a comprehensive framework, current trends, and research directions. *Journal of Management Control*, 28(2), 157–201.
- Narayanan, V. K., and Chen, T. (2012). Research on technology standards: accomplishment and challenges. *Research Policy*, 41, 1375–1406.
- Noel, M., and Schankerman, M. (2013). Strategic patenting and software innovation. *The Journal of Industrial Economics*, 61, 3, 481–520.
- Pienaar, C., Van der Lingen, E., and Preis, E. (2019). A framework for successful new product development. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(3), 199–209.
- Pohlmann, T., Neuhäusler, P., and Blind, K. (2015). Standard essential patents to boost financial returns. *R&D Management*, doi:10.1111/radm.12137.
- Pollard, D., Chuo, S., and Lee, B. (2011). Strategies for mass customization. *Journal of Business & Economics Research*, Vol 6 No. 7, pp. 77–86.

- Sako, M., Murray, F. (1999). Modules in design, production and use: implications for the global auto industry. In IMVP Annual Sponsors Meeting , Cambridge, MA, pp.1–32 Shamsuzzoha, A. H. M., Helo, P. T. (2012). Development of modular product architecture through information management. VINE, 42(2), 172–190.
- Sturgeon, T., van Biesebroeck, J., and Gereffi, G. (2008). Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry. *Journal of Economic Geography*, 8, 3, 297–321.
- Swaminathan, J. M. (2001). Enabling customization using standardized operations. *California Management Review*, 43 (3), pp. 125–135.
- Trott, P. (2005). *Innovation Management and New Product Development*. Harlow, England: Pearson Education Limited.
- de Vries, H., Slob, F., and van Gansewinkel, Z. (2006). Best practice in company standardization. *International Journal of IT Standards and Standardization Research*, 4, 1, 62–85.

VPLIV FORMALIZACIJE V RAZVOJNIH PROCESIH NA PROFITABILNOST PODJETJA

MAJA ZAJEC,¹ MATJAŽ ROBLEK²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija

maja.zajec@um.si

² Domel, Železniki, Slovenija

matjaz.roblek@domel.si

Sinopsis Pojem formalizacije v razvojnih procesih postaja vedno bolj aktualen prav zaradi neprestanih sprememb, katerim se podjetja morajo prilagoditi. Formalizacija predpisuje postopke, dokumentacijo ter komunikacijo med procesnimi udeleženci in tudi med ostalimi deležniki. Ključno vprašanje, s katerim se podjetja ukvarjajo, je, v kolikšni meri formalizirati ključna področja, da se doseže čim večjo korist. Ali višja stopnja formalizacije vedno prinese pozitivne učinke z ozirom na profitabilnost? Proučili bomo najpomembnejše raziskave na tem področju ter analizirali vpliv formalizacije na profitabilnost v malih in srednje velikih podjetjih ter izsledke raziskave primerjali z velikimi podjetji. Na podlagi ugotovitev bomo predlagali smernice, ki bodo pripomogle k odkrivanju potenciala rasti profitabilnosti.

Ključne besede:

razvojni procesi,
formalizacija,
mala in srednje
velika podjetja,
velika podjetja,
profitabilnost

THE IMPACT OF FORMALIZATION ON PROFITABILITY IN DEVELOPMENT PROCESSES

MAJA ZAJEC,¹ MATJAŽ ROBLEK²

¹ University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
maja.zajec@um.si

² Domel, Železniki, Slovenia
matjaz.roblek@domel.si

Abstract Formalization in development processes is gaining increasing interest due to ongoing changes to which the organization has to adapt. Formalization defines procedures, documentation and communications between process participants and other stakeholders. The key question for any organization is how much formalization should be used in key business areas to gain highest benefit. Does higher formalization always positively impacts profitability? We will make a state-of-the-art literature review and analyze the impact that formalization has on profitability in small- and medium- sized enterprises and compare these results with large organizations. Based on findings we will propose guidelines that will enable organizations to develop higher potential in profitability.

Keywords:
development
processes,
formalization,
small- and
medium- sized
enterprises
(SMEs),
large organizations,
profitability

1 Uvod

Podjetje mora poleg procesne učinkovitosti izkazovati tudi svojo inovativnost, da ohranja svojo pozicijo na trgu (Birkinshaw in Gibson, 2004; Carrillo, 2005; Geroski et al., 1993; Leiponen, 2000) ter pričakuje višjo profitabilnost (Cho in Pucik, 2005). Z namenom doseganja konsistentnosti in produktivnosti mnogo podjetij uporablja standardizacijo, avtomatizacijo ter kontrolne mehanizme, kar pripomore k večji strukturiranosti in predvidljivosti procesov (Hall in Johnson, 2009; Isik et al., 2012). Po drugi strani pa lahko ravno take odločitve pripomorejo k razvoju določenih mentalnih vzorcev (npr. Utterback, 1971; Clark in Fujimoto, 1991; Wheelwright in Clark, 1992), ki zaposlene ovirajo pri razvijanju novih idej (De Jong in Vermeulen, 2003; Chowdhury et al., 2014).

Da bi podjetja odkrila njihov inovacijski potencial, je potrebno razrešiti določene nejasnosti, ki se nanašajo na koordinacijo razvojnih procesov (Pesch et al., 2021). Sem nedvomno spada tudi formalizacija, ki pa se v mnogih raziskavah pojavlja v dveh kontrastnih pogledih. Prvi pogled na formalizacijo je t. i. birokratski pogled, ki na formalizacijo gleda kot na ogrodje, ki zagotavlja stabilnost in pripomore k učinkoviti koordinaciji tako, da natančno definira pravila, postopke, vloge, odločitvene procese ipd. (Adler in Borys, 1996; Briscoe, 2007; Teller et al., 2012). Drugi pogled na formalizacijo, t. i. post-birokratski pogled, pa poudarja predvsem mehko, prehodno, *ad hoc* koordinacijo (Bourgoin et al., 2020; Kellogg et al., 2006). Ravno zaradi teh različnih perspektiv na formalizacijo, managerji ne vedo, kako oblikovati in koordinirati svoje projekte. Ne razumejo jasno, ali formalizacija spodbuja ali ovira inovativnost in posledično profitabilnost podjetja. V skladu s temi ugotovitvami je bil glavni namen te raziskave odgovoriti na raziskovalno vprašanje: »Ali višja stopnja formalizacije pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja?«. Pri definiranju oz. merjenju formalizacije smo vzeli t. i. dualno logiko, kjer obstaja medsebojna odvisnost med formalizacijo in fleksibilizacijo (Farjoun, 2010). To pomeni, da lahko birokratski in postbirokratski pogled na formalizacijo delujeta komplementarno tako, da izboljšata koordinacijo razvojnega projekta.

V okviru te raziskave smo analizirali razvojne procese v malih in srednje velikih podjetjih ($N = 106$) ter v enem velikem podjetju, ker je še posebej v razvojnih procesih napetost med različnimi pristopi za obvladovanje procesov očitna (Wheelwright in Clark, 1992; Cooper, 2008; Unger in Eppinger, 2011) – pristopi se raztezajo od visoko formaliziranih do neformaliziranih, in se spreminjajo tudi glede

na različne tipe inovacij in stopnje negotovosti. Kljub široki uporabi najboljših praks, ki temeljijo na formaliziranem in dobro strukturiranem razvojnem procesu (Barczak et al., 2009; Kahn et al., 2006; Cooper et al., 2004), naj bi mala in srednje velika podjetja le redko uporabljala formalizirane in visoko strukturirane procese (cf. Leifer et al., 2000; March-Chordà et al., 2002; Scozzi et al., 2005; Berends et al., 2014). Pri definiranju velikosti podjetja smo sledili najpogostejši praksi, tj. določanju na podlagi števila zaposlenih (Kalleberg in Van Buren, 1996). Malo in srednje veliko podjetje naj bi zaposlovalo manj kot 250 in več kot 10 zaposlenih (European Commission, 2012). Za mala in srednje velika podjetja so značilne tudi sploščene hierarhične strukture ter posledično krajše komunikacijske poti (Ledwith et al., 2006; Georgsdottir in Getz, 2004). Prav tako imajo omejene možnosti z vidika resursov, kapacitet, tržne moči (Drnevich in Kriauciunas, 2011) ter manj časa za realizacijo visoko tveganih inovacijskih projektov (Millward in Lewis, 2005; Laforet in Tann, 2006), kar posledično pomeni, da so tudi bolj občutljiva na spremembe v okolju (Wade in Hulland, 2004). Velika podjetja pa smo definirali kot tista podjetja, ki se ne uvrščajo med mikro, mala ali srednje velika podjetja (European Commission, 2012).

Raziskava v večih pogledih prispeva k razvoju znanosti. Prvič, pokazali smo razširjen pogled na analizo formalizacije, ki vključuje tudi elemente fleksibilizacije ter ocenjuje njen vpliv s procesnega vidika ter z vidika komunikacij in dokumentacije. Drugič, v raziskavi smo z uporabo regresijske metode potrdili, da formalizacija v malih in srednje velikih podjetjih statistično pomembno vpliva na profitabilnost podjetja v zadnjih 2 letih glede na njihove konkurente. Tretjič, z uporabo korelacijskih koeficientov smo potrdili pozitivne povezave med dominantno tržno percepcijo podjetja in tipom industrije; dominantno tržno percepcijo podjetja ter inovativnostjo razvitega produkta; dominantno tržno percepcijo podjetja in profitom ter med procesno formalizacijo in formalizacijo komunikacij in dokumentacije. Četrtoč, v velikem podjetju smo z uporabo korelacijskih koeficientov potrdili povezanost med nivojem zaposlitve ter vplivom formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja. Petič, ugotovili smo povezanost med vplivom formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja ter med vplivom formalizacije v dokumentaciji na profitabilnost podjetja. Šestič, z uporabo T-testa za neodvisne vzorce smo potrdili, da se zaposleni, ki delajo v oddelku, ki *posredno* vpliva na profitabilnost podjetja, bolj strinjajo s trditvijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji vpliva na profitabilnost podjetja, kot pa zaposleni, ki menijo, da njihov oddelek v podjetju *neposredno* vpliva na profitabilnost podjetja.

Preostanek tega prispevka je strukturiran sledeče. Najprej opisujemo teoretična izhodišča, ki se nanašajo na formalizacijo, na njeno vlogo v razvojnih procesih ter kakšno vlogo ima pri vsem tem inovativnost. Obravnavamo le podjetja, ki že imajo vpeljana določena stopnja formalizacije (značilno za države v razvitem svetu). V tretjem poglavju predstavimo metodologijo raziskave ter rezultate tako za mala in srednje velika podjetja kot tudi za veliko podjetje. Prispevek zaključimo z diskusijo ter izpostavitvijo nekaterih omejitev raziskave ter predočimo nadaljnje možnosti raziskave.

2 Teoretična izhodišča

2.1 Različnost pogledov na formalizacijo

Na podlagi Weberjevega (1947) opisa idealnega birokratskega tipa podjetja bi formalizacijo lahko definirali kot stopnjo zapisanih pravil, postopkov, navodil ter tudi komunikacije (Khandwalla, 1977: 512), kjer se specifični procesi ponavljajo z namenom doseganja večje racionalizacije, koordinacije ter nadzora rezultata specifične procesne aktivnosti (Miller, 2008). Prav tako formalizacija lahko definira primerno in neprimerno obnašanje (Walsh in Dewar, 1987) in metode za doseganje željenih rezultatov (Vlaar et al., 2006). Osrednja ideja idealne birokracije je, da formalizacija lahko zmanjša ali odpravi negotovosti in nejasnosti (Weber, 1947) preko usmerjanja posameznikovih dejanj, odločitvenih procesov ter definiranja pričakovanj za posamezne procesne vloge (Adler in Borys, 1996). Brez formalizacije bi obstajala večja verjetnost za pojav nejasnosti v procesnih vlogah, prav tako pa bi se povečala stopnja zaznane negotovosti. Birokratska logika trdi, da formalizacija spodbuja učinkovito koordinacijo, inovativnost ter učinkovitost in uspešnost podjetja (Briscoe, 2007; Cardinal, 2001; Jansen et al., 2006; Juillerat, 2010; Tatikonda in Montoya-Weiss, 2001; Teller et al., 2012).

Na drugi strani je zaznati pogled na formalizacijo, ki trdi, da imajo birokratske strukture omejeno vrednost, ko se mora podjetje soočiti z nejasnimi razvojnimi procesi v hitro spreminjajočem se okolju (De Meyer et al., 2002). Na podlagi t. i. postbirokratskega pogleda formalizacija ovira inovativnost, fleksibilnost, prilagodljivost in motivacijo v nejasnih, hitro spreminjajočih se okoljih (Burns in Stalker, 1961; Damanpour, 1991; Hannan in Freeman, 1984; Mintzberg, 1994). Prav tako naj bi silila k rigidnim podreditvam dokumentaciji ter kodificiranim procesom (Mintzberg, 1994), ki naj bi ovirali avtonomijo opravljanja nalog, kreativnost,

spremembe in eksperimentiranje ter s tem pripomogli k zožanju dovoljenih vedenj (Jansen et al., 2006; March in Simon, 1958). Zagovorniki postbirokracije tako zagovarjajo organizacijske pristope, ki nasprotujejo birokratski logiki ter omogočajo večjo organizacijsko pretočnost kot odgovor na nejasnosti ter dinamiko v okolju (Dobusch et al., 2019). Organizacijska pretočnost sprejema fleksibilnost ter zavrača striktno organizacijske meje, strukture ali procese (Kellogg et al., 2006; Schreyögg in Sydow, 2010). Zagovorniki postbirokracije podpirajo radikalno decentralizacijo in samoorganizacijske sisteme kot primerna sredstva za doseganja organizacijske pretočnosti, ki podjetju pomaga pri soočanju z negotovostmi in dinamiko v okolju (Bourgoin et al., 2020). Ključni mehanizem koordinacije v postbirokraciji se nanaša na heterarhije¹, ki vključujejo medsebojno odvisnost odnosov in omejeno hierarhijo, kjer procesni udeleženci z različnimi veščinami ter znanji skupaj sodelujejo na projektih. To pomeni, da se zanašajo bolj na horizontalne odnose ter na improvizirane, fleksibilne in participativne delovne procese (Kellogg et al., 2006; Martela, 2019).

2.2 Dualnost formalizacije

Na podlagi obsežnega pregleda literature smo prepoznali razvijajočo se raziskovalno smer, ki pod vprašaj postavlja pojem popolne pretočnosti oz. fleksibilnosti (postbirokratska logika) ter se sprašuje, koliko birokracije vseeno uporabiti. Ker sprememba lahko nastane iz stabilnosti (Farjoun, 2010), je smiselno poudariti prednosti formalizacije v postbirokratskem okolju, ki vključuje negotovosti, novosti in hitre spremembe (Dönmez et al., 2016). V skladu s tem argumentom potrebujejo udeleženci v projektu stabilnost, da dosežejo spremembe, prilagoditve in inovacije v negotovem in hitro spreminjajočem se okolju (ibid., 2016). Formalizacija tako lahko zagotovi primerne stopnje usmerjanja in orientacije, kar omogoča večjo fleksibilnost in inovativnost (Dougherty in Hardy, 1996) ter tako dopolnjuje postbirokratsko koordinacijo. V tem kontekstu kodificirani in dokumentirani postopki delujejo kot avtoritativni teksti, tj. opisujejo odnose med avtoritetami in kriterije za doseganje primernosti (Kuhn, 2012). Z drugimi besedami, avtoritativni tekst je zasnovan dovolj široko, tj. kot neke vrste predstavnik celotnega podjetja, ker definira kolektivno »bit« (in kaj ne spada zraven) z namenom zagotavljanja prave identitete, smernic in dobrih

¹ Heterarhija je oblika upravljanja, kjer glede na okoliščine katerokoli enota lahko vodijo ali upravljajo drugi, pri čemer nobena enota ne prevladuje nad drugimi. Zanj je značilna prožna struktura, sestavljena iz medsebojno odvisnih enot, za razmerja med temi enotami pa je značilno več zapletenih povezav, ki ustvarjajo krožne poti in ne hierarhične. Za arhetip heterarhije velja nevronska mreža (Miura, n. d.).

praks, ki jih kolektiv lahko uporabi za doseganje željenih rezultatov v prihodnosti. Tako vpliva na samo organiziranje, saj usmerja in razjasnjuje medsebojne komunikacije (Schoeneborn et al., 2018).

Formalizacija lahko spodbudi procesne udeležence k poskusom razlage in razumevanja novega in nejasnega elementa v procesu razvoja novega produkta (Dougherty et al., 2000). Prav tako lahko izboljša fokus, posvetovanje in refleksijo ter spodbuja fleksibilne interakcije v nejasnih situacijah (Rammert, 1993). Tako strukture zagotovijo pomen, orientacijo in stabilnost na kolektivni ravni (Scott, 2008). Ko so strukture dovolj ohlapne, potem lahko služijo kot usmeritev in pripomorejo k poenostavitvi interakcij med procesnimi udeleženci (Giddens, 1984; Storper, 2007). To pomeni, da se formalni okvirji uporabljajo na določen način in se dopolnjujejo z neformalnimi mrežami (Heidenreich et al., 2008). Farjoun (2010) prav tako izpostavlja dejstvo, da je stabilnost rezultat transformacije, ter s tem pokaže na komplementarnost različnih orientacij. Končna odločitev o tem, ali slediti tem pravilom, je prepuščena procesnim udeležencem (Crozier and Friedberg, 1980). Taka perspektiva prepozna birokratsko in postbirokratsko logiko kot dualnost in ne kot ločena ali nasprotujoča si pola ter tako eksplicitno zajame obe logiki kot medsebojno se dopolnjujoči (Farjoun, 2010).

Na tej točki želimo izpostaviti vzporednico med dualnim pogledom na formalizacijo ter organizacijskim pojmom ambideksteriteta (npr. Birkinshaw in Gibson, 2004; March, 1991; He in Wong, 2004; Jansen et al., 2009). Ambideksteriteta predstavlja sposobnost podjetja, da sočasno usklajuje eksplorativnost in eksploativnost (Mattes, 2014; Jansen et al., 2009; Patel et al., 2012) ter omogoča podjetju, da simultano upošteva dve, pogosto nasprotni si strategiji (March, 1991; Enkel in Heil, 2014). Eksploatacija predstavlja pristop, ki je osredotočen bolj na stabilnost in vsebuje elemente, kot so izvajanje, učinkovitost, neprestano izboljševanje (Patel et al., 2012; March, 1991; Eriksson, 2013) in rutinsko učenje (Nooteboom et al., 2007). Temelji na pridobivanju in uporabi znanja iz dobro definiranih rešitev s trenutnimi izkušnjami in ekspertizami (March, 1991) ter na tak način okrepi trenutne strukture, procese in veščine (Levinthal in March, 1993; Jansen et al., 2006). Na drugi strani pa eksploracija predstavlja pristop, ki je osredotočen bolj na spremembe ter vodi do boljše uspešnosti in učinkovitosti podjetja (Aloini and Martini, 2013). Vsebuje elemente, kot so: iskanje, variacije, eksperimentiranje, sprejemanje tveganj, odkrivanje ter fleksibilnost (March, 1991; Patel et al., 2012; Eriksson, 2013). Tako zahteva kreiranje novega znanja ali pridobivanje in uporabo znanja na način, ki

presega trenutne izkušnje podjetja (March, 1991). Različne raziskave (npr. Jansen et al., 2009; He in Wong, 2004; Gibson in Birkinshaw, 2004; Levinthal in March, 1993) poudarjajo pomembnost ambideksteritete, saj naj bi le-ta pripomogla k večjim finančnim koristim ter večji uspešnosti in učinkovitosti podjetja. V tabeli 1 sistematično prikazujemo različnost pogledov na formalizacijo.

Tabela 1: Različnost pogledov na formalizacijo (povzeto po Pesch et al., 2021)

	Birokratska logika	Postbirokratska logika	Dualnost formalizacije
Namen	<p>Red in stabilnost</p> <p>Izogibanje samovoljnosti</p> <p>Zaposleni naj bi vedeli, kako izvajati naloge</p>	<p>Fleksibilnost in pretočnost</p> <p>Inovativnost</p> <p>Zaposleni naj bi imeli možnost uporabiti svoje znanje in ekspertizo</p>	<p>Red in stabilnost, ki omogočata fleksibilnost</p> <p>Koordinacija preko organizacijskih meja</p> <p>Zaposleni naj bi vedeli, kako koordinirati in uskladiti različne medsebojno povezane naloge</p>
Koordinacija	<p>Hiearhija, centralizirano sprejemanje odločitev</p> <p>Natančni opisi delovnih mest, ki predpisujejo, kako opraviti določeno nalogo</p> <p>Rutinizirani, formalizirani delovni procesi, ki temeljijo na pravilih</p> <p>Dosledno spoštovanje pravil; če pride do kršitev, sledijo sankcije</p>	<p>Heterarhija, decentralizirano sprejemanje odločitev, začasni delovni timi (projekti)</p> <p>Dinamika ter nejasno definirane vloge</p> <p>Improvizirani, fleksibilni, participativni delovni procesi</p>	<p>Dualnost birokratskih in postbirokratskih koordinacijskih mehanizmov</p> <p>Decentralizirano sprejemanje odločitev ter nizke, sploščene hiearhične strukture, vendar formalizacija na projektnem nivoju</p> <p>Jasne usmeritve glede medsebojnih interakcij</p>

2.3 Pogled na formalizacijo v razvojnih procesih

Ko prebiramo literaturo s področja razvojnih procesov, opazimo, da obstaja veliko zanimanje za obvladovanje le-teh. Predlagane so bile številne metode in modeli, ki naj bi izboljšali razvojni proces (Wheelwright in Clark, 1992; Unger in Eppinger, 2011; Cooper, 2008), vendar pa Letens s sodelavci (2011) ter Liker in Morgan (2011)

na drugi strani ugotavljajo, da kljub uporabi teh metod ni bilo moč doseči izrazitih izboljšav, ki naj bi veljale za vitke razvojne procese.

Kljub temu je danes široko uveljavljena najboljša praksa dobro strukturiran in formaliziran razvojni proces (Barczak et al., 2009; Cooper et al., 2004; Kahn et al., 2006). V primerjavi z neformaliziranim razvojnim procesom naj bi formaliziran razvojni proces izboljšal razvojni čas, kvaliteto, disciplino in učinkovitost v razvojnem procesu (Cooper et al., 2004). Prav preko formalizacije lahko pričakujemo izboljšanja na področju transparentnosti, dodeljevanja nalog resursom, sodelovanja z deležniki (Teller et al., 2012), večje jasnosti v odločitvenih procesih (Tatikonda and Montoya-Weiss, 2001), koordinacije med procesi, lažje učenje procesov (cf. Jang and Lee, 1998) in tudi kvalitete in hitrosti komunikacij v procesih (Garcia, 2005; Ahlemann et al., 2009). Formalizacija prav tako izpostavi trenutna znanja in veščine (jih naredi eksplicitna in dosegljiva), kar članom tima omogoča, da uskladijo njihovo terminologijo (Clarke, 1999), pospeši širjenje najboljših praks v organizacijski enoti (Jansen et al., 2006) ter zviša profitabilnost in zadovoljstvo strank (Pellicer et al., 2012).

Kern (1998) in Berends s sodelavci (2014) ugotavljajo, da formalizacija in standardizacija naraščata z velikostjo podjetja. Na drugi strani pa Chapman in Hyland (2004) ugotavljata, da podjetja uporabljajo standardizirane metodologije in protokole, če imajo visoko stopnjo kompleksnosti izdelkov ali procesov, ne glede na velikost podjetja z namenom, da bi znižala tveganja in bolje obvladovala razvojne procese. Na primer, Cooper (2008) in Cooper s sodelavci (2004) predlagajo razvojni proces, ki temelji na stopenjskem prehodnem procesu oz. procesu razvojnih faz in prehodov, kjer procesni udeleženci sledijo enakemu zaporedju aktivnosti, faz, vrat, mejnikov, aktivnosti in glavnih rezultatov (Milosevic in Patanakul, 2005). Glavni namen je zmanjšati število iteracij, saj se vnaprej predvideva celoten razvojni proces (Zhang, 2013), prav tako pa se želi zmanjšati tveganja v času razvijanja novega izdelka. Po mnenju Liu s sodelavci (2008) dobro strukturiran proces zagotavlja nadzor in predvidljivost ter preprečuje neprimerne prakse.

Če formalizacijo v razvojnih procesih gledamo še z drugega zornega kota, nam Ahlemann s sodelavci (2009) odkriva dejstvo, da je le 15 % podjetij doseglo zastavljene cilje, ko so vpeljevali standardizacijo, kar kaže na to, da dobro strukturiran in formaliziran razvojni proces ni vedno učinkovit. Glavni razlogi za tako slab rezultat so bili: višja stopnja administracije, nesprijemanje s strani

procesnih udeležencev, visoki stroški pridobivanja standarda ter nezadostna fleksibilnost ter prilagodljivost. Enako težavo je moč zaznati z močnim vplivom referenčnih modelov, ki zagotavljajo smernice za doseganje ciljev, s tem pa tudi vzpostavljajo določene mentalne vzorce, ki imajo velik vpliv na sprejemanje odločitev – četudi le implicitno (Wheelwright in Clark, 1992; Utterback, 1971; Clark in Fujimoto, 1991). Buggie (2002) trdi, da stopenjski prehodni proces ni najboljša izbira, saj ne bi bil naklonjen tveganjem. Kot odgovor na ta dognanja so bili razviti t. i. hibridni modeli, ki temeljijo na agilnem pristopu (npr. Cooper in Sommer, 2016; Tseng in Abdalla, 2006; Abrahamsson et al., 2003). Na primer, Sommer s sodelavci (2015) ter Cooper in Sommer (2016) so agilni pristop integrirali s stopenjskim prehodnim procesom in Scrum metodo ter ga poimenovali »agilna stopenjsko prehodna Scrum metoda«. V primeru razvoja fizičnih produktov ima ta hibridna metoda pozitiven vpliv na razvoj novih produktov – povečala se je produktivnost zaradi boljše komunikacije v razvojnem timu, kar je vodilo do manjšega števila nesporazumov. Člani tima so prav tako občutili izboljššan delotok, kar je bilo delno tudi zaradi zavedanja, da se bodo možni problemi lahko prediskutirali na naslednjem Scrum sestanku. Sam proces je lahko bolj učinkovit zaradi neprestanih alokacij resursov, boljšega vpogleda v potek procesa preko uporabe orodij za vizualizacijo, povečanega medsebojnega podeljevanja znanja ter komuniciranja znotraj projekta in med ostalimi projekti (Sommer et al., 2015). Prav tako so ugotovili, da večina proizvodnih podjetij uporablja to metodo le za zelo tehnične razvojne faze projekta, medtem ko se v zgodnjih razvojnih fazah zahteva mnogo prilagoditev (Sommer et al., 2015).

V okolju izdelave po naročilu predlaga Roblek s sodelavci (2013) dinamično strukturiran razvojni proces, kjer je potrebno vsak razvojni proces definirati iz standardnega nabora aktivnosti in ga prilagoditi tako, da sledi zastavljenim mejnikom razvojnega procesa. Preko uporabe takšnega dinamično strukturiranega procesa se doseže boljše ujemanje dejanskih in zahtevanih znanj zaposlenih tako, da znižamo procesno učinkovitost razvojnega procesa z vidika njegovih strukturnih indeksov. Kljub temu dejstvu se procesna učinkovitost ponovno dvigne, kar pomeni, da optimalen rezultat dosežemo tako, da procese prilagodimo ljudem in njihovim znanjem ter ne obratno (Roblek et al., 2017). Lahko bi rekli, da je uspeh moč doseči preko dobro definiranih ciljev in visoke stopnje avtonomije tima (Cooper in Sommer, 2016). V tem kontekstu lahko rečemo, da podjetja iščejo bolj fleksibilne načine za obvladovanje razvojnega procesa glede na svoje unikatne želje (Hong et

al., 2010), ne da bi se morala pri tem odpovedati znižanju učinkovitosti (Vohora et al., 2004; Tatikonda in Rosenthal, 2000).

Iskanje optimalnega razvnovesja med nadzorom in kreativno svobodo oz. med formalizacijo in fleksibilnostjo ostaja ključni problem tako v inovacijskem managementu kakor tudi v managementu poslovnih procesov (Mattes, 2014; Lempiälä in Vanharanta, 2018). Vprašanje, ki se vedno znova pojavlja, je, kako te medsebojno si nasprotujoče zahteve uskladiti, saj je optimum zelo težko doseči (Smith in Lewis, 2011). Mattesova (2010) ugotavlja, da podjetja obvladujejo to napetost tako, da uporabljajo obe strategiji, še posebej v inovativnih projektih. Torej, še vedno uporabljajo hierarhično strukturo (Clark in Fujimoto, 1991), kjer procesni udeleženci med seboj komunicirajo preko formalnih kanalov in uporabljajo večinoma eksplicitno znanje (Mattes, 2014). Na drugi strani pa bolj fleksibilni pristopi v razvojnih procesih dovoljujejo številne povratne zanke, ki se dogajajo na neformalnem nivoju komunikacije. V tem primeru procesni udeleženci večinoma uporabljajo svoje skrito (tacitno) znanje ter uporabljajo formalne postopke le kot orientacijo (navodila in pravila se lahko prilagajajo, lahko pa se jim celo izognejo ali jih ignorirajo). Na tak način poiščejo najboljšo rešitev za trenutno težavo, s katero se soočajo (Unger et al., 2015). V nadaljevanju želimo v tabeli 2 predstaviti ključne kriterije za lažje razumevanje formalizacije in fleksibilizacije v razvojnih procesih.

Tabela 2: Kriteriji formalizacije in fleksibilizacije glede na različne mehanizme zmanjševanja kompleksnosti (povzeto po Mattes, 2014; Clark in Fujimoto, 1991)

Mehanizmi zmanjševanja kompleksnosti	Formalizacija	Fleksibilizacija
Načini organizacije	Hiearhija, standardizacija, specializacija, modularizacija	Profesionalnost, cilji, neformalna koordinacija
Načini učenja	Učenje z eno zanko: referenčni okvir je fiksni in nespremenljiv; mogoče je linearni potek	Učenje z dvojno zanko: referenčni okvir je mogoče spreminjati; zahtevane so neprestane povratne zanke
Temelječi na moči	Hierarhična koordinacija Sprejemanje odločitev od zgoraj navzdol Projektni vodja kot odločevalec, vpet v hierarhično strukturo	Koordinacija na podlagi mreženja Vključujoče sprejemanje odločitev Projektni vodja kot koordinator
Temelječi na komunikaciji	Formalne komunikacijske verige	Neformalne komunikacijske mreže Dokumentacija le kot dodatek

Mehanizmi zmanjševanja kompleksnosti	Formalizacija	Fleksibilizacija
	Obširna dokumentacija kot temelj dela	
Temelječi na zaupanju	Institucionalno zaupanje (v zagotavljanju pravilnih postopkov)	Zaupanje, ki temelji na preteklih izkušnjah in podobnosti

2.3.1 Vpliv inovativnosti na formalizacijo v razvojnih procesih

Različni avtorji (npr. O'Connor in Rice, 2001; Reid in de Brentani, 2004; Song in Montoya-Weiss, 1998) ugotavljajo, da imajo podjetja različne pristope pri inoviranju v razvojnih procesih glede na različne stopnje inovativnosti produkta ter negotovosti v okolju. Tako Holahan s sodelavci (2014) ugotavlja, da se podjetja z višjo stopnjo inovativnosti vedno bolj vdajo v formaliziran razvojni proces. Na drugi strani pa obstajajo raziskave, ki nakazujejo na to, da v primeru razvijanja radikalnih inovacij podjetja ne uporabljajo formaliziranih in visoko strukturiranih procesov (Day, 1994; Srivastava et al., 2001). Leifer s sodelavci (2000) je odkril, da so podjetja za inkrementalne inovacije uporabljala standardizirane procese, medtem ko so jim bili prav taki procesi prej omejitvev kot spodbuda v primeru razvijanja radikalnih inovacij, saj struktura v teh primerih ni najbolj primerna (Robbins in O'Gorman, 2015), preveč formalizacije pa naj bi omejevalo kreativnost in druge inovativne aktivnosti (Sethi in Iqbal, 2008).

V nasprotju z velikimi podjetji naj bi mala podjetja redko uporabljala formalizirane procesne strukture (Scozzi et al., 2005; March-Chordà et al., 2002). Primeri dobrih praks (npr. Kahn et al., 2006; Barczak et al., 2009; Cooper et al., 2004) prihajajo iz konteksta velikih podjetij, ki uporabljajo vzročno logiko, tj. vnaprejšnje predvidevanje, uporaba že obstoječega znanja, ciljna usmeritev. Te dobre prakse ne upoštevajo omejitvev, s katerimi se srečujejo majhna podjetja (Rakić et al., 2021), saj le-ta puščajo odprte poti toliko časa, dokler se okoliščine ne razjasnijo in se ne pokažejo nadaljnji koraki (Berends et al., 2014). Tak način pripomore k večji fleksibilnosti sistema ter mu omogoči, da se lažje in hitreje prilagodi na spremembe. To nakazuje tudi Read s sodelavci (2009) v svoji raziskavi, ki trdi, da ima t. i. logika učinka (tj. izkoriščanje nepredvidenih dogodkov, temelječa na danih sredstvih, ki so omejena) višjo uspešnost in učinkovitost v start-up podjetjih. Scozzi s sodelavci (2005) pa ugotavlja, da mala in srednje velika podjetja razpolagajo s strukturiranimi postopki, ki sicer niso kodificirana, zato se jih lahko preprosto ignorira. Iz tega razloga ugotavlja, da so razvojni procesi v malih in srednje velikih podjetjih pogostejše

iterativni in *ad hoc* kot pa planirani in linearni. Vsekakor se je smiselno še naprej spraševati o tem, ali strukturiran način vedno pokaže boljšo procesno učinkovitost (Lemieux et al., 2015).

2.4 Vpliv inovativnosti na profitabilnost podjetja

Inovativnost lahko vpliva na uspešnost in učinkovitost podjetja na dva načina. Na eni strani inovacije lahko prinesejo tveganja za podjetja, npr. tehnične omejitve, konkurenco in prodajne strategije konkurence (Fernandes in Paunov, 2015). Ti izzivi se lahko odražajo v nepričakovanem dvigu proračuna, kar pomeni, da morajo vlagatelji zagotoviti več novih sredstev za delovanje podjetja. Ko se podjetje zaveže svoji inovaciji, potem se posledično sooči s težavo precejšnjega povišanja stroškov in to lahko škoduje profitabilnosti podjetja in pričakovanim donosom delničarjev. Na drugi strani pa Freeman (1994) ugotavlja, da se visoko uspešna podjetja rada udeležujejo v inovativnih aktivnostih. Inovacije lahko pomagajo podjetju pri pridobivanju novih kreditov ter uživajo boljšo podporo državnih programov. Inovativnost pomaga podjetjem utrditi njihov položaj na trgu in pridobiti konkurenčno prednost, spodbuja produktivnost (Greve in Taylor, 2000; Gkypali et al., 2015; Joyce et al., 1994) ter dviguje zadovoljstvo in zvestobo njihovih strank (Narver in Slater, 1990). To pomeni, da bo kupec rad kupoval njihove izdelke ter jih predstavljal svojim prijateljem, kar se bo odrazilo v višjem prihodku ter profitabilnosti podjetja. Na drugi strani pa Cefis in Marsili (2019) ugotavljata, da neinovativna podjetja izkazujejo nižji profit, opaziti je namreč tudi njihovo postopno krčenje in v končni fazi izstop iz trga.

Stopnja profitabilnosti tako torej predstavlja ključno determinanto preživetja podjetja na trgu. Z vidika raziskovanja odnosa med inovativnostjo in profitabilnostjo podjetja je bilo v več raziskavah potrjeno, da so inovativna podjetja vedno bolj profitabilna kot neinovativna podjetja, saj imajo inovatorji višje interne zmožnosti, predstavijo več inovacij v določenem času ter si pridobijo boljšo tržno pozicijo glede na konkurente (Geroski et al., 1993; Leiponen, 2000). Cho in Pucik (2005) v svoji empirični raziskavi Fortune 1000 podjetij potrjujeta, da je inovativnost podjetja pozitivno povezana z rastjo podjetja ter profitabilnostjo podjetja. Medtem ko so se te raziskave osredotočale na proizvodna podjetja, sta Salavou (2002) ter Prajogo (2006) proučevala storitvena podjetja. Izsledki raziskav so bili podobni, in sicer je bilo ugotovljeno, da je produktna inovacija predstavljala pomemben faktor pri napovedovanju rasti in profitabilnosti podjetja. Prav tako so ostali avtorji (Geroski

et al., 1993; Klette, 1996; Li in Atuahene-Gima, 2001; Wheelwright in Clark, 1992) potrdili, da imajo bolj inovativna podjetja tudi višjo stopnjo učinkovitosti in uspešnosti. Mai s sodelavci (2019) prav tako potrjujejo, da podjetja, ki se ukvarjajo z inovativnimi aktivnostmi, povečajo profitabilnost podjetja. Ta inovativna podjetja imajo višje profite in dodano vrednost kot podjetja, ki nikoli ne inovirajo. Ker inovacije prinašajo finančno vrednost podjetju, to spodbuja večjo učinkovitost in uspešnost podjetja (Howell, 2018; Rajapathirana in Hui, 2018; Spescha in Woerter, 2018).

Teoretično lahko rečemo, da produktne inovacije podjetju vsaj kratek čas prinašajo monopolne profite (Schumpeter, 1950; Lieberman in Montgomery, 1988). Ko so novi inovativni produkti predstavljeni trgu, sprva nimajo veliko neposredne konkurence in zato lahko generirajo visoke profite. Sčasoma relativno visoki profiti pritegnejo ostala podjetja, kar poveča konkurenco, čez čas pa se poslednično znižajo tudi profiti. Medtem ko imajo visoki profiti iz naslova ene inovacije prehodno naravo, se relativno visoka profitabilnost na nivoju podjetja v daljšem časovnem obdobju lahko vzpostavi le, če podjetje neprestano uspešno lansira več novih produktov (Montgomery, 1995). Prav tako znajo še posebej mala in srednje velika podjetja izkoristiti finančne vzvode, saj lahko dosežejo višje profite in rast podjetja ter povečajo konkurenčno sposobnost (Gonzalez, 2013).

Verjetnost za inoviranje je odvisna tudi od tehnološkega režima v industriji. Višja verjetnost inoviranja obstaja v nerutinskih režimih z višjo stopnjo tehnoloških priložnosti, nižja verjetnost inoviranja pa se pojavlja v rutinskih režimih, kjer so inovacije predvsem inkrementalne. Prav tako se opaža pozitiven učinek inovacij na preživetje podjetja v dobrih časih, saj v slabih časih inovacijske strategije postanejo bolj tvegane. Verjetnost inoviranja se zmanjšuje z naraščanjem starosti podjetja ali ko industrija predstavlja rutinski režim. Takoj ko podjetje vstopi v rutinski režim, se verjetnost inovacij in njihov učinek na kasnejše preživetje zmanjšata (Cefis in Marsili, 2019). Inovativnost zviša verjetnost preživetja podjetja, če je podjetje imelo nižjo začetno stopnjo inoviranja. V nasprotnem primeru (tj. ko ima podjetje že visoko stopnjo inoviranja) pa se lahko verjetnost preživetja zniža zaradi povečanih tveganj ter zmanjšane učinka ekonomije obsega (Ugur et al., 2016).

Z ozirom na dinamiko podjetja in razvoja industrije je zaslediti tri smeri teorij, in sicer: i) stopnja rasti v industriji je pozitivno povezana z inovacijami ali kreativnim kaosom; ii) mala in nova podjetja bolj pogosto zapuščajo trg (Mata in Portugal 1994; Mata et al., 1995), vendar tista podjetja, ki se uspejo obdržati na trgu, izkazujejo hitrejšo rast (Lotti et al., 2003); iii) starost in velikost podjetja imata različen učinek na profitabilnost podjetja. Medtem ko daljši čas obstoja podjetja (število let v poslu) kaže celo negativen vpliv na profitabilnost podjetja, velikost podjetja (merjeno v številu zaposlenih) izkazuje statistično zanesljivo pozitivno povezanost s profitabilnostjo podjetja (Mai et al., 2019). Prav zaradi te kompleksnosti je povezava med investicijami (tudi investicije v raziskave in razvoj) ter preživetjem podjetja dokaj nejasna, vendar pa Cefis in Marsili (2019) trdita, da imajo večjo verjetnost preživetja inovativna podjetja v obeh režimih (rutinizirani in nerutinizirani).

Kljub vsemu ugotavljamo, da je učinek inovacij na preživetje podjetja odvisen od a) stroškov, ki so odvisni od industrije ter ostalih spodbudnih struktur, ki določajo verjetnost inovacij (evolucijski modeli); b) stohastičnih rezultatov investicij v inovacije (modeli aktivnega učenja); c) obsega kreativnega kaosa (inovacijska intenziteta) v industriji (evolucijski in Schumpeterski model); d) profila tveganja in donosnosti investicij v raziskave in razvoj, ki je odvisen od intentivnosti inoviranja podjetja (Schumpeterski model) (ibid., 2019). Zanimiva je tudi raziskava (Manjón-Antolín in Arauzo-Carod, 2008), ki kaže na povezanost med preživetjem podjetja ter inovativnostjo. Ugotovili so, da a) so se procesne inovacije izkazale za boljše v primerjavi s produktnimi inovacijami, saj izkazujejo pozitivne in močne učinke; b) obstaja močan ter pozitiven učinek procesnih inovacij med velikimi podjetji, vendar šibak in nesignifikanten učinek med malimi podjetji; c) obstaja pozitiven učinek, ko inovativnost merimo z investicijami v raziskave in razvoj. Pozitiven učinek na preživetje podjetja je zabeležen tudi v primeru, ko se inovativnost meri kot produktna inovacija (Audretsch, 1991; Audretsch in Mahmood, 1995; Banbury in Mitchell, 1995; Fontana in Nesta, 2009) ali intelektualna lastnina – patenti ali blagovne znamke (Buddelmeyer et al., 2010; Helmers in Rogers, 2010; Jensen et al., 2008; Wagner in Cockburn, 2010; Mann in Sager, 2007). Kljub temu da teoretični argumenti in empirične raziskave kažejo na pomembnost patentov na preživetje podjetja, obstajajo tudi dokazi, da v določenih kontekstih patenti ne dajejo želenega učinka. Na primer, Mansfield (1986) je ugotovil, da so patenti pomembni v farmacevtski in kemični industriji, medtem ko so bili patenti relativno nepomembni v ostalih sektorjih (npr. električni produkti, kovinsko-predelovalna industrija ipd.). Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Arora, Ceccagnoli in Cohen (2003), kjer naj

bi imeli patenti pozitiven učinek le v farmacevtski industriji in biotehnologiji. MacDonald (2004) pa ugotavlja, da so pozitivni učinki patentov na preživetje podjetja v malih podjetjih težko dosegljivi. Učinek inovacij na preživetje podjetij je odvisen tudi glede na stopnjo intenzitete raziskav in razvoja (Ugur et al, 2016; Zhang in Mohnen, 2013). Razlikuje se med podjetji, ki imajo razvit le en produkt, in tistimi, ki so diverzificirani inovatorji (Colombelli et al., 2016), ter glede na tista podjetja, ki so bolj nagnjena k tveganjem (Hyytinen et al., 2015). Torej, ko stopnja inovativnosti naraste preko optimalne meje, potem se preživetje podjetja zniža, saj profitabilnost inovativnih produktov ter pričakovani donosi podjetja padejo.

3 Raziskava

Za namen tega poglavja smo izvedli dve raziskavi, in sicer v a) malih in srednje velikih podjetjih (MSP) ter v b) velikem podjetju, da bi opazovali vlogo formalizacije, ki jo ima na profitabilnost podjetja. Postavili smo raziskovalno vprašanje, in sicer:

RV: Ali višja stopnja formalizacije pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja?

Najprej bomo prikazali raziskavo ter rezultate v MSP, potem pa bo sledila raziskava z rezultati v velikem podjetju.

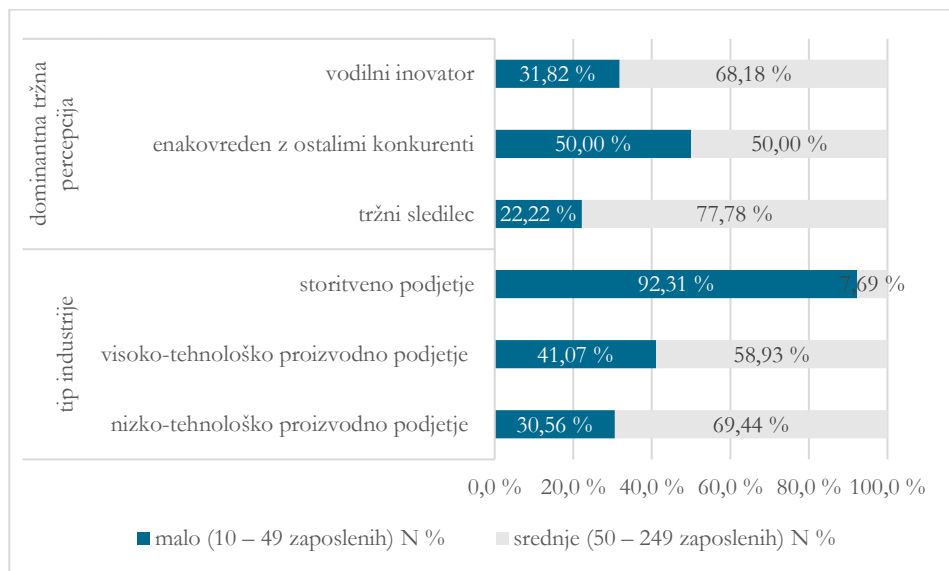
3.1 Mala in srednje velika podjetja

Po definiranju našega raziskovalnega vprašanja smo se lotili pregleda relevantne literature v različnih bazah (npr. Web of Science, Scopus, Google Scholar), pri čemer smo uporabili ključne besede, ki so povezane s formalizacijo, razvojnimi procesi, inovativnostjo ter profitabilnostjo. Osredotočili smo se predvsem na razvojne procese ter iskali vpliv formalizacije na profitabilnost podjetja med MSP. Za izvedbo naše raziskave smo MSP izbrali iz podatkovnih baz, ki nam jih je na zahtevo posredovala Agencija Republike Slovenije za javnopravne evidence in storitve (AJPES). Iz začetnega nabora podjetij (9.546 podjetij) smo po selekciji - glede na šifre standardnih klasifikacij dejavnosti, ki vključujejo razvoj izdelkov in storitev - razpolagali s 3.475 podjetji. Ker v prejeti podatkovni bazi ni bilo vseh kontaktnih podatkov oz. so bile zavedene le splošne kontaktne številke, smo vse kontaktne podatke pridobili ali jih posodobili tako, da smo pregledali spletne strani izbranih podjetij ter iskali kontakte predvsem s področja razvoja produktov. Po pregledu smo morali izločiti tudi tista podjetja, kjer iz njihovega opisa nismo razbrali usmerjenosti

v razvoj. Tako smo prišli do našega končnega vzorca, tj. 775 podjetij, ki so imela svoj lastni razvojni oddelek.

Izbranim podjetjem smo poslali spletno anketo, ki je bila sestavljena iz a) splošnih informacij o podjetju in produktu, ki ga razvijajo, b) procesne formalizacije ter c) formalizacije dokumentacije in komunikacij v razvojnih procesih, nanjo pa so odgovarjali vodje razvojnih projektov. Da smo dosegli vsebinsko ustreznost vprašanj v anketi, smo po predlogu Mullen (1995) prvotna vprašanja v slovenščini prevedli v angleščino ter nato prevedli nazaj v prvotni jezik. V času zbiranja podatkov smo podjetjem, ki še niso izpolnila anket, poslali štiri opomnike, da bi dosegli višjo stopnjo odzivnosti. Tako je naš končni vzorec sestavljalo 106 MSP iz Slovenije (13,7-% stopnja odzivnosti).

Na podlagi zbranih podatkov smo ugotovili, da je 53,8 % MSP visoko-tehnološko proizvodnih, 34 % je nizko-tehnološko proizvodnih ter 12,3 % storitvenih. Glede na velikost podjetja se jih 55,7 % deklarira kot srednje veliko podjetje (50–249 zaposlenih) in 43,3 % kot malo podjetje (10–49 zaposlenih), pri čemer jih 0,9 % ni podalo odgovora na to vprašanje. Ko smo spraševali, kakšna je dominantna percepcija njihovega podjetja glede na njihovo konkurenco, se jih je 69,8 % opredelilo kot enakovredne s konkurenti, 21,7 % kot vodilne inovatorje ter 8,5 % kot tržne sledilce. Na sliki 1 prikazujemo distribucijo podjetij po tipu industrije ter po dominantni tržni percepciji podjetja glede na velikost podjetja.

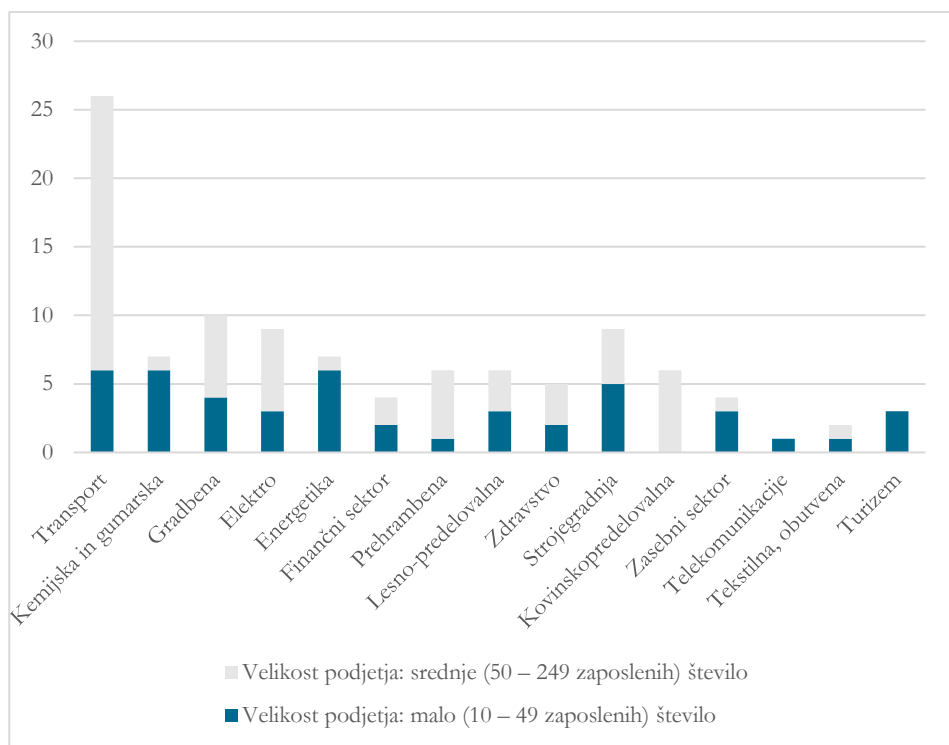


Slika 1: Dominantna tržna percepcija podjetja ter tip industrije glede na velikost podjetja (v %)

Vir: lasten.

Podjetja so razvijala svoje produkte večinoma za transportno industrijo (24,5 %), sledi gradbeništvo (9,4 %), strojogradnja (8,5 %), elektro (8,5 %), energetika (7,5 %), kemijska (6,6 %), kovinsko-predelovalna (5,7 %), prehrabena (5,7 %), lesno-predelovalna (5,7 %), zdravstvo (4,7 %), finančni sektor (3,8 %), privatni sektor (3,8 %), turizem (2,8 %), tekstilno-obutvena (1,9 %) in telekomunikacijska (0,9 %). Distribucijo podatkov glede na velikost podjetja po različnih industrijah v MSP prikazujemo na sliki 2.

Konstrukta za merjenje stopnje formalizacije (procesne ter komunikacij in dokumentacije) v razvojnih procesih smo določili na podlagi pregledane literature (Di Ciccio et al., 2015; Berends et al., 2014; Yang et al., 2017 in Mattes, 2014) ter definirali začetne trditve, ki smo jih postavili tako v trdilni kakor tudi v nikalni obliki (c.f. Williams et al., 2003). Z namenom izboljšanja vsebinskega razumevanja smo anketo poslali v pregled šestim projektnim managerjem ter štirim akademikom, katerih strokovno področje se nanaša na inovacije, razvoj in raziskave ter poslovne procese. Nato smo izvedli pilotno študijo v 30-ih MSP ter po pregledu rezultatov ponovno pregledali in dopolnili anketo, da je bila primerna za zbiranje končnega vzorca MSP.



Slika 2: Razvoj produktov za specifično industrijo glede na velikost podjetja (število)

Vir: lasten

Oba konstrukta smo merili s 7-stopenjsko Likertovo lestvico (1 – Se sploh ne strinjam, 7 – Močno se strinjam). Vprašanja v obeh konstruktih so se nanašala le na en razvojni projekt, ki je bil najbolj reprezentativen z vidika projektnega managementa in organizacije (njihovi tipični razvojni projekti, ki so se že zaključili).

Da bi ugotovili notranjo zanesljivost konstruktov, smo uporabili Cronbachov koeficient alfa, kjer vrednosti alfa nad 0,7 kažejo na zadovoljivo zanesljivost. Ker gre za nova konstrukta, smo za doseganje višje zanesljivosti izločili štiri spremenljivke (dve v procesni formalizaciji ter dve v formalizaciji komunikacij in dokumentacije) ter tako operirali z devetimi spremenljivkami, ki jih prikazujemo v tabeli 3.

Tabela 3: Prikaz konstruktov s pripadajočimi trditvami

Konstrukta	Cronbach alfa
Formalizacija: Procesi (4 trditve)	
Za dokončanje naloge smo sledili fiksnim postopkom (tj. standardni protokol).	0,729
Imeli smo konstantna preverjanja aktivnosti.	
Močno smo se zanašali na različne standardne pristope, modele, metodologije, orodja in tehnike.	
Projektnih aktivnosti nismo planirali vnaprej, temveč smo pustili odprtih več različnih poti, dokler nam okoliščine niso določile nadaljnjo pot. (<i>neg.</i>)	
Formalizacija: Komunikacije in dokumentacija (5 trditve)	
Znotraj NPD projekta dokumentacija ni bila pomembna. (<i>neg.</i>)	0,801
Znotraj tima smo imeli neformalno komunikacijo. (<i>neg.</i>)	
Imeli smo jasna pravila komuniciranja z managementom in/ali s strankami, z dobavitelji in ostalimi deležniki.	
Imeli smo dobro definirane faze in dobro definirane formalnosti, ki so nam zagotavljale primerno pisanje poročil (komunikacija poteka preko hierarhičnih kanalov in formalnih postopkov).	
Z našimi deležniki smo imeli formalno komunikacijo.	

Profitabilnost MSP smo ugotavljali z ozirom na njihove konkurente (v zadnjih dveh letih), kjer so imeli na voljo tri trditve (1 – Močno slabša, 2 – Enaka kot pri konkurentih ter 3 – Močno boljša).

3.1.1 Rezultati za MSP

Na podlagi postavljenega raziskovalnega vprašanja (str. 16) želimo preveriti sledečo hipotezo:

H1: Formalizacija v malih in srednje velikih podjetjih statistično pomembno vpliva na profitabilnost podjetja v zadnjih 2 letih glede na njihove konkurente.

Tabela 4 prikazuje rezultate deskriptivne statistike z določenim povprečjem, s standardnim odklonom ter korelacijami med spremenljivkami. Z željo, da bi hipotezo testirali bolj robustno, smo dodali sledeče kontrolne spremenljivke: tip industrije, dominantna tržna percepcija podjetja ter inovativnost razvitega produkta. Rezultati kažejo, da obstaja statistično pomembna pozitivna povezava med dominantno tržno percepcijo podjetja in tipom industrije ($r = 0,248$; $p < 0,05$), med inovativnostjo razvitega produkta in dominantno tržno percepcijo podjetja ($r = 0,272$; $p < 0,01$), med profitom in dominantno tržno percepcijo podjetja ($r = 0,326$; $p < 0,01$) ter med procesno formalizacijo in formalizacijo komunikacij in dokumentacije ($r = 0,569$; $p < 0,01$).

Tabela 4: Deskriptivna statistika s korelacijami in statističnimi testi

Spremenljivke ^{a, b}	M ^c	SD ^d	TI	DTP	IRP	PROFIT	FP
1. TI	1,78	0,65					
2. DTP	2,13	0,54	0,248*				
3. IRP	2,16	0,60	- 0,114	0,272**			
4. PROFIT	2,19	0,52	0,187	0,326**	-0,187		
5. FP	4,24	0,98	0,118	-0,126	0,139	-0,193	
6. FKD	4,21	1,20	0,135	0,058	-0,106	0,063	0,569**

Opomba. ^a n = 106 za TI, DTP, IRP, n = 103 za FP in FKD ter n = 101 za PROFIT. ^b TI – tip industrije, DTP – dominantna tržna percepcija podjetja, IRP – inovativnost razvitega produkta, PROFIT – profitabilnost podjetja v zadnjih dveh letih glede na konkurente, FP – formalizacija (proces), FKD – formalizacija (komunikacije in dokumentacija). ^c M – povprečje spremenljivk. ^d SD – standardni odklon. *p < 0,05; **p < 0,01.

Za testiranje postavljene hipoteze smo uporabili linearno regresijo, kjer formalizacija (proces) ter formalizacija (komunikacije in dokumentacija) predstavljata neodvisni spremenljivki, profitabilnost podjetja pa odvisno spremenljivko. Na podlagi izvedene analize smo ugotovili statistično pomemben vpliv formalizacije na profitabilnost ($F(1, 101) = 10,975$; $p < 0,01$). S formalizacijo pojasnimo 7,9 % variance profitabilnosti ($R^2 = 0,079$). Pearsonov koeficient korelacije je 0,282. Predvidena vrednost profitabilnosti je enaka $2,481 - 0,178 * FP + 0,109 * FKD$ stopenj, če FP in FKD merimo v stopnjah. Pri tem upoštevamo, da je ena enota enaka eni stopnji na 7-stopenjski Likertovi lestvici. Ti rezultati, ki jih prikazujemo v tabelah 5–7, kažejo na končen vpliv formalizacije na profitabilnost. S tem **potrdimo** postavljeno hipotezo, ki pravi, da formalizacija v malih in srednje velikih podjetjih statistično pomembno vpliva na profitabilnost podjetja v zadnjih 2 letih glede na njihove konkurente.

Tabela 5: Rezultati linearne regresije (model)

Model	R	R ²	Prilagojen R ²	SE ^b
1	0,282 ^a	0,079	0,061	0,508

Opomba. ^a Prediktorji: (konstanta), formalizacija (proces), formalizacija (komunikacije in dokumentacija). Odvisna spremenljivka: profitabilnost podjetja v zadnjih dveh letih glede na konkurente. Nestandardizirani koeficient Beta (95 % IZ – 95 % interval zaupanja). ^b Standardna napaka.

Tabela 6: Rezultati linearne regresije (ANOVA)

Model		SS ^b	df ^c	MS ^d	F	p
1	Regresija	9,501	1	9,501	10,975	0,001** a
	Ostanek	87,429	101	0,866		
	Skupaj	96,930	102			

Opomba. ^a Prediktorji: (konstanta), formalizacija (procesi), formalizacija (komunikacije in dokumentacija). Odvisna spremenljivka: profitabilnost podjetja v zadnjih dveh letih glede na konkurence. ^b SS – vsota kvadratov. ^c df – stopnje prostosti. ^d srednji kvadrat. **p < 0,01.

Tabela 7: Rezultati linearne regresije (koeficienti)

	Beta (95% IZ) ^a	SE ^b	t	p
Konstanta	2,481 (2,013; 2,949)	0,236	10,526	< 0,001**
Beta (FP. PROFIT) ^c	-0,178 (-0,302; -0,053)	0,063	-2,833	0,006**
Beta (FKD. PROFIT) ^d	0,109 (0,007; 0,212)	0,052	2,116	0,037*

Opomba. ^a Nestandardizirani koeficient Beta (95 % IZ – 95 % interval zaupanja). ^b Standardna napaka. ^c Formalizacija (procesi). ^d Formalizacija (komunikacije in dokumentacija). *p<0,05,**p<0,01.

3.2 Veliko podjetje

Za veliko podjetje smo si izbrali podjetje, ki ohranja vodilni razvojni položaj na trgu z izdelki za gospodinjске in industrijske naprave, prav tako pa tudi za področja prezračevanja in klimatizacije, ogrevanja, zdravstva in medicine, alternativne energije ter za avtomobilsko industrijo. Razpolagajo z lastnim razvojnim oddelkom, pri čemer si prizadevajo za trajnostni razvoj (tj. čim višji energijski izkoristek, skladnost z okoljevarstvenimi standardi, možnost recikliranja, zmanjšanje porabe energije ipd.), spodbujajo nove ideje ter ne prestando izboljšujejo načine in rezultate dela. Njihova prizadevanja gredo v smeri neprestanega izboljševanja uspešnosti in učinkovitosti poslovanja v smeri družbene odgovornosti in trajnostnega razvoja, kar se odraža tudi v več prejetih nagradah in priznanjih za inovacije, znanstveno-raziskovalne dosežke, za visok družbeni odtis ipd. S takim načinom razmišljanja kažejo na to, da želijo delovati v smeri razvoja optimalnih izdelkov ter na trgu neprestano iskati nove poslovne priložnosti ter ustvarjati dobiček.

V podjetju, kjer je zaposlenih nad 1.000 ljudi, smo preko kratke ankete vprašali 36 zaposlenih z vseh nivojev v hierarhiji podjetja, kakšno je njihovo mnenje o vplivu formalizacije na profitabilnost podjetja. Postavili smo si dve raziskovalni vprašanji, in sicer:

RV1: Ali višja stopnja *formalizacije v komunikaciji* pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja?

RV2: Ali višja stopnja *formalizacije v dokumentaciji* pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja?

Ogled deskriptivne statistike v tabeli 8 nam pokaže, da je v raziskavi sodelovalo 41,7 % izvajalcev, 30,6 % ljudi iz top managementa ter 27,8 % vodij. S tem smo pokrili vse nivoje v hierhiji izbranega podjetja. Kar 80,6 % anketirancev meni, da ima njihov oddelek *neposreden* vpliv na profitabilnost podjetja (sem spadajo službe v oskrbovalni verigi, npr. prodaja, proizvodnja, nabava), 19,4 % anketirancev pa dela v oddelkih, ki imajo na profitabilnost podjetja *posreden* vpliv (sem spadajo podporne službe, npr. informatika, računovodstvo, vzdrževanje ipd.).

Tabela 8: Rezultati deskriptivne statistike (frekvence spremenljivk: nivo zaposlitve ter vpliv oddelka na profitabilnost)

	število	%
Nivo zaposlitve v hierhiji podjetja		
Izvajalec	15	41,7
Vodja	10	27,8
Top management	11	30,6
Vpliv oddelka na profit		
Posredno	7	19,4
Neposredno	29	80,6

V tabeli 9 prikazujemo povprečne vrednosti glede na nivo zaposlitve v hierhiji podjetja ter vpliv oddelka na profitabilnost podjetja. Anketiranci so vpliv formalizacije (v komunikaciji ter v dokumentaciji) ocenjevali na 8-stopenjski Likertovi lestvici, kjer so bile stopnje definirane sledeče: 0 – »Ne vpliva«, 1 – »Močno negativno«, 2 – »Negativno«, 3 – »Šibko negativno«, 4 – »Niti niti«, 5 – »Šibko pozitivno«, 6 – »Pozitivno«, 7 – »Močno pozitivno«.

Tabela 9: Rezultati deskriptivne statistike (povprečne vrednosti glede na nivo zaposlitve ter vpliv oddelka na profitabilnost podjetja)

		Nivo zaposlitve			Vpliv oddelka na profitabilnost podjetja	
		Izvajalec	Vodja	Top management	Posredno	Neposredno
Vpliv FK na profit ^a	M ^c	4,73	4,50	5,82	5,57	4,86
	SE ^d	1,71	1,51	0,40	0,54	1,58
Vpliv FD na profit ^b	M ^c	5,47	5,70	5,82	5,86	5,59
	SE ^d	0,83	0,82	0,60	0,69	0,78

Opomba. ^a Vpliv formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja. ^b Vpliv formalizacije v dokumentaciji na profitabilnost podjetja. ^c Povprečna vrednost. ^d Standardni odklon.

3.2.1 Rezultati za veliko podjetje

Na podlagi raziskovalnih vprašanj smo postavili štiri hipoteze:

H1a: Osebe, ki so zaposlene višje v hierarhiji podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.

H1b: Osebe, ki so zaposlene višje v hierarhiji podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.

H2a: Zaposleni v oddelkih, ki posredno vplivajo na profitabilnost podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.

H2b: Zaposleni v oddelkih, ki posredno vplivajo na profitabilnost podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.

Najprej smo želeli ugotoviti, ali so naše spremenljivke medsebojno povezane in kakšna je smer povezave. Za spremenljivko »nivo zaposlitve« smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije, saj gre za dve numerični spremenljivki, medtem ko smo pri spremenljivki »Vpliv oddelka na profit« raje izbrali Spearmanov korelacijski koeficient, ker smo razpolagali le z dvema vrednostima (posredno, neposredno). Povezanost med spremenljivkami smo testirali z enostranskim testom. Rezultate prikazujemo v tabeli 10.

Tabela 10: Korelacijski koeficienti med spremenljivkami nivo zaposlitve, vpliv oddelka na profitabilnost podjetja ter vpliv formalizacije na profitabilnost podjetja

		Vpliv FK na profit ^a	Vpliv FD na profit ^b
Nivo zaposlitve	Pearson Correlation	0,299*	0,200
	Sig. (1- tailed)	0,038	0,121
Vpliv FK na profit ^a	Pearson Correlation	1	0,413**
	Sig. (1- tailed)	.	0,006
Vpliv oddelka na profit	Spearman Correlation	-0,124	-0,124
	Sig. (1- tailed)	0,236	0,235

Opomba. N = 36. ^aVpliv formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja. ^bVpliv formalizacije v dokumentaciji na profitabilnost podjetja. * p < 0,05 (1-stranski test), ** p < 0,01 (1-stranski test).

Rezultati kažejo na statistično pomembno pozitivno povezanost med nivojem zaposlitve v hierarhiji podjetja ter vplivom formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja ($r = 0,299$; p (enostranski) < 0,05). S tem **potrjujemo** hipotezo **H1a**, ki trdi, da osebe, ki so zaposlene višje v hierarhiji podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja. Povezanost med ostalimi spremenljivkami, ki jih obravnavamo v postavljenih hipotezah, ni bila statistično značilna, zato hipotezo **H1b zavrnamo**. Iz rezultatov korelacijskih koeficientov opazimo pozitivno povezanost med obema vrstama formalizacije (tj. med formalizacijo v komunikaciji in formalizacijo v dokumentaciji) z $r = 0,413$; p (enostranski) < 0,01.

Z namenom testiranja hipotez H2a in H2b smo uporabili T-test za neodvisne vzorce, saj smo želeli med seboj primerjati oddelke podjetja, ki *posredno* vplivajo na profitabilnost podjetja, ter oddelke podjetja, ki *neposredno* vplivajo na profitabilnost podjetja. Rezultate prikazujemo v tabeli 11.

Na podlagi rezultatov T-testa za neodvisne vzorce ugotovimo, da se v povprečju zaposleni, ki menijo, da njihov oddelek v podjetju *posredno* vpliva na profitabilnost podjetja, bolj strinjajo s trditvijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji vpliva na profitabilnost podjetja ($M = 5,57$; $SE = 0,535$), kot pa zaposleni, ki menijo, da njihov oddelek v podjetju *neposredno* vpliva na profitabilnost podjetja ($M = 4,86$; $SE = 1,575$). Torej med skupinama lahko **potrdimo** statistično značilno razliko ob predpostavki različnih varianc ($t(29,620) = 1,996$; $p < 0,05$) le za formalizacijo v komunikaciji (hipoteza **H2a**), ne moremo pa potrditi hipoteze H2b, ki se nanaša na formalizacijo v dokumentaciji. Torej hipotezo **H2b zavrnamo**. V tabeli 12

prikazujemo še pregledni prikaz potrjenih in zavrženih hipotez, ki smo jih testirali v okolju velikega podjetja.

Tabela 11: T-test za preverjanje razlik med oddelki, ki posredno ali neposredno vplivajo na profitabilnost podjetja

		Levenov test enakosti varianc		T-test neodvisnih vzorcev		
		F	p	t	df	p (enostr.)
Vpliv FK na profit ^a	Predpostavljene enake variance	5,915	0,020	1,164	34	0,126
	Predpostavljene različne variance			1,996	29,620	0,028*
Vpliv FD na profit ^b	Predpostavljene enake variance	0,851	0,363	0,841	34	0,203
	Predpostavljene različne variance			0,908	10,066	0,193

Opomba. ^a Vpliv formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja. ^b Vpliv formalizacije v dokumentaciji na profitabilnost podjetja. * p < 0,05 (1-stranski test).

Tabela 12: Pregled potrjenih oz. zavrženih hipotez (veliko podjetje)

Hipoteza	Rezultat
H1a: Osebe, ki so zaposlene višje v hierarhiji podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.	Potrjena
H1b: Osebe, ki so zaposlene višje v hierarhiji podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.	Zavrjnena
H2a: Zaposleni v oddelkih, ki posredno vplivajo na profitabilnost podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.	Potrjena
H2b: Zaposleni v oddelkih, ki posredno vplivajo na profitabilnost podjetja, menijo, da višja stopnja formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja.	Zavrjnena

4 Diskusija

Podjetja naj bi odločitve glede formalizacije posla sprejemala na podlagi stroškov in koristi, ki so povezane s formalizacijo (Maloney, 2004). Vendar pa smo na podlagi sistematičnega pregleda literature ugotovili, da povezava med formalizacijo (s procesnega vidika ter z vidika komunikacij in dokumentacije) ter profitabilnostjo podjetja še ni dovolj dobro raziskana. Iz tega razloga smo izvedli raziskavo v malih in srednje velikih podjetjih ter v velikem podjetju, pri čemer smo želeli odgovoriti na raziskovalno vprašanje »Ali višja stopnja formalizacije pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja?«. V našem kontekstu definicija formalizacije vključuje elemente fleksibilizacije, kjer se procesni udeleženci lahko strinjajo s postavljenimi

standardi (Rammert, 1993), strukture pa spodbujajo učenje in fleksibilnost, kjer se stabilnost in spremembe medsebojno naravno dopolnjujejo (Farjoun, 2010). Tako formalizacija z vidika pravil in postopkov ne predstavlja več ovire, tako kot so predpostavljali mnogi avtorji (cf. Sheremata, 2000; Atuahene-Gima, 2003). Pri merjenju formalizacije smo se sklicevali na idejo, da je potrebno formalizacijo razumeti kot strateško odločitev, saj vpliva na aktivnosti v podjetju ter zagotavlja preživetje podjetja (Hakala, 2011).

V 106-ih **malih in srednje velikih podjetjih** smo analizirali razvojne procese ter želeli testirati hipotezo, ali formalizacija v teh podjetjih statistično pomembno vpliva na profitabilnost podjetja v zadnjih 2 letih glede na njihove konkurente. Hipotezo smo želeli testirati bolj robustno, tako da smo dodali tip industrije, dominantno tržno percepcijo podjetja ter inovativnost razvitega produkta kot kontrolne spremenljivke. Ugotovili smo, da se je pokazala statistično pomembna pozitivna povezava med dominantno tržno percepcijo podjetja in tipom industrije ($r = 0,248$; $p < 0,05$), kar kaže na to, da imajo tržni sledilci povečini nizkotehnološka proizvodna podjetja, vodilni inovatorji pa so visoko tehnološko razviti ali pa so bolj usmerjeni v storitve. Dominantna tržna percepcija podjetja je prav tako pozitivno statistično značilno povezana z inovativnostjo razvitega produkta ($r = 0,272$; $p < 0,01$) ter s profitom ($r = 0,326$; $p < 0,01$), kar pomeni, da je pri vodilnih inovatorjih inovativnost novega izdelka večkrat radikalna, prav tako vodilni inovatorji izkazujejo višjo profitabilnost kot pa podjetja, ki so tržni sledilci ali enakovredni z ostalimi konkurenti. Ti rezultati so v skladu z raziskavami, ki potrjujejo pozitivno povezavo med inovativnostjo in profitabilnostjo podjetja. Z višanjem inovativnosti se namreč viša tudi profitabilnost podjetja, saj podjetja zavzamejo boljše tržno pozicijo (Geroski et al., 1993; Leiponen, 2000; Cho in Pucik, 2005; Salavou, 2002; Prajogo, 2006; Mai et al., 2019) ter dosežajo tudi višjo učinkovitost in uspešnost podjetja (Klette, 1996; Li in Atuahene-Gima, 2001; Wheelwright in Clark, 1992; Howell, 2018; Rajapathirana in Hui, 2018; Spescha in Woerter, 2018). Prav tako smo potrdili pozitivno povezavo med procesno formalizacijo in formalizacijo komunikacij in dokumentacije ($r = 0,569$; $p < 0,01$), kar kaže na to, da so procesi, komunikacije ter dokumentacija medsebojno zelo povezani. Ko se spremeni proces, se mora skladno s tem spremeniti dokumentacija in komunikacije. Ugotovitev podpira t. i. procesni način gledanja na formalizacijo, kjer procesno znanje postane zelo hitro zastarelo, saj mora podjetje zaradi zahtev v okolju nenehno prilagajati svoje procese (Roblek et al., 2017). Nato smo s pomočjo regresijske analize potrdili, da formalizacija v teh podjetjih statistično pomembno vpliva na profitabilnost podjetja v zadnjih 2 letih glede na njihove

konkurente ($(F(1, 101) = 10,975; p < 0,01)$). Pri tem smo formalizacijo merili s procesnega vidika ter z vidika komunikacij in dokumentacije, zato je pomembno stremeti k razvoju obeh nians formalizacije, ki skupaj napovedujeta višjo profitabilnost podjetja. Da bi podjetja ohranila svojo konkurenčno prednost ter dosegala višjo profitabilnost, morajo razvijati več strateških usmeritev, tj. več tipov formalizacije (c.f. Hakala, 2011), saj se tako doseže sinergija komplementarnih strateških usmeritev (Mu in Di Benedetto, 2011). Rezultat je prav tako v skladu z ugotovitvami empiričnih raziskav (npr. Boly, 2018; Rand in Torm, 2012), ki trdijo da imajo formalna podjetja višjo profitabilnost. Pri tem želimo izpostaviti dejstvo, da so te raziskave temeljile le na primerjavi formalnih in neformalnih podjetij, medtem ko naša raziskava vključuje le podjetja, ki so že formalna. Na podlagi obširnega teoretičnega pregleda različnih podatkovnih baz (npr. Web of Science, Emerald, IEEE Xplore, JSTOR, ProQuest Dissertations & Theses, ScienceDirect, Taylor and Francis Online, Wiley Online Library) raziskav, ki bi pokrivala neposreden učinek formalizacije (z vidika procesov ter z vidika komunikacij in dokumentacije) na profitabilnost podjetja po našem trenutnem znanju ni bilo moč najti.

Učinek formalizacije na profitabilnost smo želeli preveriti tudi v **velikem podjetju**, kjer smo s pomočjo ankete vprašali za mnenje 36 zaposlenih preko vseh nivojev v hierhiji podjetja. Zanimalo nas je, ali višja stopnja a) formalizacije v komunikaciji oziroma b) formalizacije v dokumentaciji pri poslovanju vpliva na profitabilnost podjetja. Na podlagi teh raziskovalnih vprašanj smo postavili štiri hipoteze, in sicer sta prvi dve hipotezi želeli ugotoviti, ali osebe, ki so zaposlene višje v hierhiji podjetja, menijo, da višja stopnja a) formalizacije v komunikaciji oz. b) formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja. Druge dve hipotezi pa sta želeli ugotoviti, ali zaposleni v oddelkih, ki posredno vplivajo na profitabilnost podjetja, menijo, da višja stopnja a) formalizacije v komunikaciji oz. b) formalizacije v dokumentaciji bolj vpliva na profitabilnost podjetja. Pri tem želimo spomniti, da imajo službe v oskrbovalni verigi (prodaja, proizvodnja, nabava) *neposreden* vpliv na profitabilnost podjetja, medtem ko imajo podporne službe (informatika, računovodstvo, vzdrževanje) *posreden* vpliv na profitabilnost podjetja.

Kot prvo smo z uporabo korelacijskih koeficientov (Pearsonov in Spearmanov koeficient korelacije) preverili medsebojno povezanost in smer povezanosti. Ugotovili smo, da obstaja statistično pomembna povezava med nivojem zaposlitve ter vplivom formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja ($r = 0,299; p$

(enostranski) $< 0,05$). Rezultat nakazuje na to, da višje, ko je nekdo zaposlen v hierhiji podjetja, bolj pomembna se mu zdi formalizacija v komunikaciji z ozirom na profitabilnost podjetja. Statistično značilna pozitivna povezava je bila ugotovljena tudi med vplivom formalizacije v komunikaciji na profitabilnost podjetja ter med vplivom formalizacije v dokumentaciji na profitabilnost podjetja ($r = 0,413$; p (enostranski) $< 0,01$). To kaže na dejstvo, da ko spremenimo komunikacije (jih bolj ali manj formaliziramo), morajo dokumenti slediti tej odločitvi in obratno. Ker se dokumenti nahajajo vedno znotraj procesa, kjer procesni udeleženci medsebojno komunicirajo, potem do teh sprememb pride vsakič, ko se v okolju pojavijo nove zahteve, kar je v skladu z ugotovitvami Robleka s sodelavci (2017). S tega vidika lahko potegnemo vzporednico tudi z MSP, kar pomeni, da mora tudi veliko podjetje gledati na formalizacijo celovito.

Hipotezi, s katerima smo želeli ugotoviti, ali oddelek *posredno* ali *neposredno* vpliva na profitabilnost podjetja, smo testirali s T-testom za neodvisne vzorce. Statistično pomembno razliko smo ugotovili le pri hipotezi H2a – tj. zaposleni, ki delajo v oddelku, ki *posredno* vpliva na profitabilnost podjetja, se bolj strinjajo s trditvijo, da višja stopnja formalizacije v komunikaciji vpliva na profitabilnost podjetja ($M = 5,57$; $SE = 0,535$), kot pa zaposleni, ki menijo, da njihov oddelek v podjetju *neposredno* vpliva na profitabilnost podjetja ($M = 4,86$; $SE = 1,575$). To bi lahko pomenilo, da imajo podporne službe raje višjo stopnjo formalizacije v komunikaciji, ki naj bi jim omogočala večjo varnost. Na splošno lahko rečemo, da smo v velikem podjetju ugotovili večjo pomembnost formalizacije v komunikacijah kot pa formalizacije v dokumentaciji, ki naj bi vplivala na profitabilnost podjetja.

V tej raziskavi smo poglobili razumevanje konceptualnih mehanizmov, ki se nanašajo na formalizacijo ter profitabilnost podjetja. Formalizacijo smo želeli predstaviti ne le kot dva medsebojno ločena pola, temveč kot neprestano dopolnjevanje formalizacije in fleksibilizacije, ki predstavlja predvsem strateško usmeritev podjetja. Raziskave, ki pokrivajo strukturno fleksibilnost (cf. Andersen, 2004; Schepers in Berg, 2007), kažejo na pozitivno povezanost z inovacijami v podjetju. In ker so inovacije pozitivno povezane v večjo profitabilnostjo podjetja (c.f. Cho in Pucik, 2005; Prajogo, 2006; Mai et al., 2019; Howell, 2018; Rajapathirana in Hui, 2018; Spescha in Woerter, 2018), smemo zaključiti, da ima tudi formalizacija vpliv na profitabilnost podjetja, kar smo dokazali tudi v naši raziskavi tako v MSP kakor tudi v velikem podjetju.

4.1 Omejitve ter nadaljnje možnosti raziskave

Na podlagi obširnega pregleda literature vprašanje o vplivu formalizacije (s procesnega vidika ter z vidika komunikacij in dokumentacije) na profitabilnost podjetja ni bilo obravnavano dovolj obširno. Kljub temu da ta raziskava proučuje učinke formalizacije na profitabilnost podjetja, vsebuje nekaj omejitev, ki jih podajamo v nadaljevanju. Prvič, raziskava je bila izvedena v Sloveniji, kjer smo pri MSP pokrili različne sektorje, analizirali pa smo le eno veliko podjetje, zato rezultatov, ki se nanašajo na veliko podjetje, ne moremo generalizirati na ostala velika podjetja v Sloveniji. V prihodnjih raziskavah bi bilo smiselno povezavo med formalizacijo in profitabilnostjo razširiti na večje število velikih podjetij, da bi lahko naredili primerjavo med MSP ter velikimi podjetji. Drugič, v MSP smo anketirali zgolj projektne managerje, medtem ko smo v velikem podjetju zajeli vse nivoje v hierarhiji podjetja. V nadaljnjih raziskavah bi morali vključiti še ostale procesne udeležence ter formalizacijo primerjati tako s projektnege kakor tudi s procesnega vidika. Prav tako bi bilo potrebno formalizacijo analizirati v različnih kontekstih (npr. v kritičnih okoliščinah, ko se pojavijo nepričakovane težave; status quo ipd.). Tretjič, podjetja v MSP niso uporabljala koncepta odprtega inoviranja, ki sicer v svetu pridobiva vedno večjo veljavo med takimi podjetji (Van de Vrande et al., 2009; Gassman et al., 2010). Iz tega razloga bi v prihodnjih raziskavah lahko pridobili še podjetja, ki se ukvarjajo z odprtim inoviranjem, saj Fréchet in Goy (2017) v svoji raziskavi ugotavljata, da ko malo podjetje uvede koncept odprtega inoviranja, potem formalizacija pridobi na svoji veljavi.

Z vpeljavo rezultatov te raziskave bi podjetja lahko pridobila boljšo strateško pozicijo na trgu ter višjo profitabilnost. Z ozaveščanjem pomena formalizacije bi managerji prej opazili priložnosti, ki bi sicer lahko ostale neopažene, prav tako bi lahko bolje obvladovali procese (še posebej v okviru prizadevanj vpeljave digitalne transformacije) ter izbrali primerne metode za njihovo izboljševanje. Z namenom doseganja boljše konkurenčne prednosti ter višje profitabilnosti podjetja se mora podjetje vedno prilagajati spremembam v okolju, kar se odraža tudi v uporabi formalizacije.

Literatura

Abrahamsson, P., Warsta, J., Siponen, M. T., & Ronkainen, J. (2003). New directions on agile methods: a comparative analysis. In Jacobs, A. & F. Titsworth (Eds.), *25th International Conference on*

- Software Engineering 2003 proceedings* (pp. 244–254), IEEE Computer Society. doi: 10.1109/ICSE.2003.1201204
- Ahlemann, F., Teuteberg, F., & Vogelsang, K. (2009). Project management standards - Diffusion and application in Germany and Switzerland. *International Journal of Project Management*, 27(3), 292–303. doi: 10.1016/j.ijproman.2008.01.009
- Adler, P. S., & Borys, B. (1996). Two Types of Bureaucracy: Enabling and Coercive. *Administrative Science Quarterly*, 41(1), 61–89. doi: 10.2307/2393986
- Aloini, D., & Martini, A. (2013). Exploring the exploratory search for innovation: a structural equation modelling test for practices and performance. *International Journal of Technology Management*, 61(1), 23–46. doi: 10.1504/IJTM.2013.050242
- Andersen, T. J. (2004). Integrating decentralized strategy making and strategic planning processes in dynamic environments. *Journal of Management Studies*, 41(8), 1271–1299. doi: 10.1111/j.1467-6486.2004.00475.x
- Arora, A., Ceccagnoli, M., & Cohen, W.M. (2003). R&D and the Patent Premium. National Bureau of Economic Research Working Paper Paper No. 9431.
- Atuahene-Gima, K. (2003). The effects of centrifugal and centripetal forces on product development speed and quality: How does problem solving matter?. *Academy of Management Journal*, 46(3), 359–374. doi: 10.5465/30040629
- Audretsch, D. B. (1991). New-firm Survival and the Technological Regime. *Review of Economics and Statistics*, 73(3), 441–450. doi: 10.2307/2109568
- Audretsch, D. B., & Mahmood, T. (1995). New Firm Survival: New Results Using a Hazard Function. *Review of Economics and Statistics*, 77(1), 97–103. doi: 10.2307/2109995
- Banbury, C. M., & Mitchell, W. (1995). The effect of introducing important incremental innovations on market share and business survival. *Strategic management journal*, 16(S1), 161–182. doi: 10.1002/smj.4250160922
- Barczak, G., Griffin, A., & Kahn, K. B. (2009). Perspective: Trends and drivers of success in NPD practices: Results of the 2003 PDMA best practices study. *Journal of Product Innovation Management*, 26(1), 3–23. doi: 10.1111/j.1540-5885.2009.00331.x
- Berends, H., Jelinek, M., Reymen, I., & Stultiëns, R. (2014). Product innovation processes in small firms: Combining entrepreneurial effectuation and managerial causation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(3), 616–635. doi: 10.1111/jpim.12117
- Birkinshaw, J., & Gibson, C. (2004). Building Ambidexterity into an Organisation. MIT Sloan Management Review.
- Boly, A. (2018). On the Short- and Medium-Term Effects of Formalisation: Panel Evidence from Vietnam. *Journal of Development Studies*, 54(4), 641–656. doi: 10.1080/00220388.2017.1342817
- Bourgoin, A., Bencherki, N., & Faraj, S. (2020). “And who are you?”: A performative perspective on authority in organizations. *Academy of Management Journal*, 63(4), 1134–1165. doi: 10.5465/amj.2017.1335
- Briscoe, F. (2007). From Iron Cage to Iron Shield? How Bureaucracy Enables Temporal Flexibility for Professional Service Workers. *Organization Science*, 18(2), 297–314. doi: 10.1287/orsc.1060.0226
- Buddelmeyer, H., Jensen, P. H., & Webster, E. (2010). Innovation and the determinants of company survival. *Oxford Economic Papers*, 62(2), 261–285. doi: 10.1093/oeq/gpp012
- Buggie, F. D. (2002). Set the “fuzzy front end” in concrete. *Research Technology Management*, 45(4), 11–14. doi: 10.1080/08956308.2002.11671506
- Burns, T., & Stalker, G. M. (1961). *The management of innovation*. Tavistock. London, UK.
- Cardinal, L. B. (2001). Technological innovation in the pharmaceutical industry: The use of organizational control in managing research and development. *Organization science*, 12(1), 19–36. doi: 10.1287/orsc.12.1.19.10119
- Carrillo, J. E. (2005). Industry Clockspeed in the Pace of New Product Development. *Production and Operations Management*, 14(2), 125–141. doi: 10.1111/j.1937-5956.2005.tb00014.x
- Cefis, E., & Marsili, O. (2019). Good times, bad times: innovation and survival over the business cycle. *Industrial and Corporate Change*, 28(3), 565–587. doi: 10.1093/icc/dty072

- Chapman, R., & Hyland, P. (2004). Complexity and learning behaviors in product innovation. *Technovation*, 24(7), 553–561. doi: 10.1016/S0166-4972(02)00121-9
- Cho, H. J., & Pucik, V. (2005). Relationship between innovativeness, quality, growth, profitability, and market value. *Strategic Management Journal*, 26(6), 555–575. doi:10.1002/smj.461
- Chowdhury, H., Zelenyuk, V., Laporte, A., & Wodchis, W. P. (2014). Analysis of productivity, efficiency and technological changes in hospital services in Ontario: How does case-mix matter?. *International Journal of Production Economics*, 150, 74–82. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.003
- Clark, K. B., & Fujimoto, T. (1991). *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*. Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Clarke, A. (1999). A practical use of key success factors to improve the effectiveness of project management. *International Journal of Project Management*, 17(3), 139–145. doi: 10.1016/S0263-7863(98)00031-3
- Colombelli, A., Krafft, J., & Vivarelli, M. (2016). To be born is not enough: the key role of innovative start-ups. *Small Business Economics*, 47(2), 277–291. doi: 10.1007/s11187-016-9716-y
- Cooper, R. G. (2008). Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process—Update, What’s New, and NexGen Systems. *Journal of Product Innovation Management*, 25(3), 213–232. doi: https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x
- Cooper, R. G., & Sommer, A. F. (2016). The Agile–Stage-Gate Hybrid Model: A Promising New Approach and a New Research Opportunity. *Journal of Product Innovation Management*, 33(5), 513–526. doi: 10.1111/jpim.12314
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2004). *Benchmarking best NPD practices—I, II and III*. Industrial Research Institute, Arlington, VA.
- Crozier, M., & Friedberg, E. (1980). *Actors and systems: The politics of collective action*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators. *Academy of management journal*, 34(3), 555–590. doi: doi.org/10.5465/256406
- Day, G. S. (1994). The Capabilities of Market-Driven Organizations. *Journal of Marketing*, 58(4), 37–52. doi: 10.2307/1251915
- De Jong, J.P., & Vermeulen, P.A. (2003). Organizing successful new service development: a literature review. *Management decision*, 41(9), 844–858. doi: 10.1108/00251740310491706
- De Meyer, A., Loch, C. H., & Pich, M. T. (2002). Managing project uncertainty: from variation to chaos. *MIT Sloan Management Review*, 43(2), 60.
- Di Ciccio, C., Marrella, A., & Russo, A. (2015). Knowledge-Intensive Processes: Characteristics, Requirements and Analysis of Contemporary Approaches. *Journal on Data Semantics*, 4(1), 29–57. doi: 10.1007/s13740-014-0038-4
- Dougherty, D., Borrelli, L., Munir, K., & O’Sullivan, A. (2000). Systems of organizational sensemaking for sustained product innovation. *Journal of Engineering and technology management*, 17(3), 321–355. doi: 10.1016/S0923-4748(00)00028-X
- Dougherty, D., & Hardy, C. (1996). Sustained product innovation in large, mature organizations: Overcoming innovation-to-organization problems. *Academy of management journal*, 39(5), 1120–1153. doi: 10.5465/256994
- Dönmez, D., Grote, G., & Brusoni, S. (2016). Routine interdependencies as a source of stability and flexibility. A study of agile software development teams. *Information and Organization*, 26(3), 63–83. doi: 10.1016/j.infoandorg.2016.07.001
- Drnevich, P. L., & Kriauciunas, A. P. (2011). Clarifying the conditions and limits of the contributions of ordinary and dynamic capabilities to relative firm performance. *Strategic Management Journal*, 32(3), 254–279. doi: doi.org/10.1002/smj.882
- Enkel, E., & Heil, S. (2014). Preparing for distant collaboration: Antecedents to potential absorptive capacity in cross-industry innovation. *Technovation*, 34(4), 242–260. doi: 10.1016/j.technovation.2014.01.010
- Eriksson, P. E. (2013). Exploration and exploitation in project-based organizations: Development and diffusion of knowledge at different organizational levels in construction companies. *International journal of project management*, 31(3), 333–341. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.07.005

- European Commission (2012). *Evaluation of the SME definition*. Centre for Strategy & Evaluation Services. Sevenoaks. United Kingdom.
- Farjoun, M. (2010). Beyond dualism: Stability and change as a duality. *Academy of management review*, 35(2), 202-225. doi: 10.5465/amr.35.2.zok202
- Fernandes, A. M., & Paunov, C. (2015). The risks of innovation: Are innovating firms less likely to die? *Review of Economics and Statistics*, 97(3), 638–653. doi:10.1162/REST_a_00446
- Fontana, R., & Nesta, L. (2009). Product innovation and survival in a high-tech industry. *Review of Industrial Organization*, 34(4), 287-306. doi: 10.1007/s11151-009-9210-7
- Freeman, C. (1994). Innovation and growth. In M. Dodgson and R. Rothwell (Eds.), *The Handbook of industrial innovation*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Fréchet, M., & Goy, H. (2017). Does strategy formalization foster innovation? Evidence from a French sample of small to medium-sized enterprises. *Management (France)*, 20(3), 266–286. doi: 10.3917/mana.203.0266
- García, S. (2005). How standards enable adoption of project management practice. *IEEE Software*, 22(5), 22–29. doi: 10.1109/MS.2005.122
- Gassman, O., Enkel, E., & Chesbrough, H. (2010). The future of open innovation. *R&D Management*, 40(3), 213-221. doi: 10.1111/j.1467-9310.2010.00605.x
- Georgsdottir, A. S., & Getz, I. (2004). How flexibility facilitates innovation and ways to manage it in organizations. *Creativity and Innovation Management*, 13(3), 166-175. doi: 10.1111/j.0963-1690.2004.00306.x
- Geroski, P., Machin, S., & Van Reenen, J. (1993). The profitability of innovating firms. *The RAND Journal of Economics*, 24(2), 198–211. doi:10.2307/2555757
- Giddens, A. (1984). *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. University of California Press, Berkeley.
- Gonzalez, V. M. (2013). Leverage and corporate performance: International evidence. *International Review of Economics & Finance*, 25, 169–184. doi:10.1016/j.iref.2012.07.005
- Greve, H. R., & Taylor, A. (2000). Innovations as catalysts for organizational change: Shifts in organizational cognition and search. *Administrative Science Quarterly*, 45(1), 54–80. doi:10.2307/2666979
- Gkypali, A., Rafailidis, A., & Tsekouras, K. (2015). Innovation and export performance: Do young and mature innovative firms differ? *Eurasian Business Review*, 5(2), 397–415. doi: 10.1007/s40821-015-0030-4
- Hakala, H. (2011). Strategic orientations in management literature: Three approaches to understanding the interaction between market, technology, entrepreneurial and learning orientations. *International Journal of Management Reviews*, 13(2), 199-217. doi: 10.1111/j.1468-2370.2010.00292.x
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1984). Structural inertia and organizational change. *American sociological review*, 149-164. doi: 10.2307/2095567
- Hall, J. M., & Johnson, M. E. (2009). When should a process be art, not science?. *Harvard business review*, 87(3), 58-65.
- He, Z. L., & Wong, P. K. (2004). Exploration vs. exploitation: An empirical test of the ambidexterity hypothesis. *Organization science*, 15(4), 481-494. doi: 10.1287/orsc.1040.0078
- Heidenreich, M., Kirch, B., & Mattes, J. (2008). Die organisatorische Einbettung von Informationstechnologien in einem globalen Entwicklungsprojekt. In *Digitalisierung der Arbeitswelt* (pp. 193-219). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Helmers, C., & Rogers, M. (2011). Does patenting help high-tech start-ups?. *Research Policy*, 40(7), 1016-1027. doi: 10.1016/j.respol.2011.05.003
- Holahan, P. J., Sullivan, Z. Z., & Markham, S. K. (2014). Product development as core competence: How formal product development practices differ for radical, more innovative, and incremental product innovations. *Journal of Product Innovation Management*, 31(2), 329–345. doi: 10.1111/jpim.12098
- Hong, G., Dean, P., Yang, W., Tu, Y. L., & Xue, D. (2010). Optimal concurrent product design and process planning based on the requirements of individual customers in one-of-a-kind

- production. *International Journal of Production Research*, 48(21), 6341–6366. doi: 10.1080/00207540903252282
- Howell, A. (2018). Innovation and firm performance in the People's Republic of China: a structural approach with spillovers.
- Hyytinen, A., Pajarinen, M., & Rouvinen, P. (2015). Does innovativeness reduce startup survival rates?. *Journal of business venturing*, 30(4), 564–581. doi: 10.1016/j.jbusvent.2014.10.001
- Isik, O., van den Bergh, J., & Mertens, W. (2012). Knowledge Intensive Business Processes: An Exploratory Study. In Sprague, Jr., R. H. (Ed.). *Proceedings of the 45th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-45)*, Wailea, Maui, Hawaii, 4-7 January 2012 (pp. 3817–3826), IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA. doi: 10.1109/HICSS.2012.401
- Jang, Y., & Lee, J. (1998). Factors influencing the success of management consulting projects. *International Journal of Project Management*, 16(2), 67–72. doi: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(97\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(97)00005-7)
- Jansen, J. J. P., Bosch, F. a J. Van Den, Volberda, H. W., & Den, F. a J. Van. (2006). Exploratory Innovation, Exploitative Innovation, and Performance: Effects of Organizational and Environmental Moderators. *Management Science*, 52(11), 1661–1674. doi: 10.1287/mnsc.1060.0576
- Jansen, J. J., Tempelaar, M. P., Van den Bosch, F. A., & Volberda, H. W. (2009). Structural differentiation and ambidexterity: The mediating role of integration mechanisms. *Organization science*, 20(4), 797–811. doi: 10.1287/orsc.1080.0415
- Jensen, P. H., Webster, E., & Buddelmeyer, H. (2008). Innovation, technological conditions and new firm survival. *Economic Record*, 84(267), 434–448. doi: 10.1111/j.1475-4932.2008.00509.x
- Joyce, P., Seaman, C., & Woods, A. (1994). *The economic growth implications of control and innovation strategies in small businesses*. London Central Training and Enterprise Council.
- Juillerat, T. L. (2010). Friends, not foes?: Work design and formalization in the modern work context. *Journal of Organizational Behavior*, 31(2-3), 216–239. doi: 10.1002/job.654
- Kalleberg, A., & Van Buren, M. (1996). Is bigger better? Explaining the relationship between organisational size and job rewards. *American Sociological Review*, 61(1), 47–66. doi: 10.2307/2096406
- Kahn, K. B., Barczak, G., & Moss, R. (2006). Perspective: Establishing an NPD best practices framework. *Journal of Product Innovation Management*, 23(2), 106–116. doi: 10.1111/j.1540-5885.2006.00186.x
- Khandwalla, P. N. (1977). *The design of organizations*. Harcourt Brace Jovanovich, New York, NY.
- Kellogg, K. C., Orlikowski, W. J., & Yates, J. (2006). Life in the trading zone: Structuring coordination across boundaries in postbureaucratic organizations. *Organization science*, 17(1), 22–44. doi: 10.1287/orsc.1050.0157
- Kern, T. (1998). *Procesna organizacija: oblikovanje organizacije poslovnih sistemov na osnovi modela strukturiranih organizacijskih procesov*, Doktorska disertacija, Kranj.
- Klette, T.J. (1996). R&D, Scope Economies and Plant Performance. *Rand Journal of Economics* 27(3):502–522. doi: 10.2307/2555841
- Laforet, S., & Tann, J. (2006). Innovative characteristics of small manufacturing firms. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 13(3), 363–380. doi: 10.1108/14626000610680253
- Ledwith, A., Richardson, I., & Sheahan, A. (2006). Small firm-large firm experiences in managing NPD projects. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 13(3), 425–440. doi: 10.1108/14626000610680280
- Leifer, R., McDermott, C. M., O'Connor, G. C., Peters, L. S., Rice, M. P., & Veryzer Jr, R. W. (2000). *Radical innovation: How mature companies can outsmart upstarts*. Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Leiponen, A. (2000). Competencies, innovation and profitability of firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 9(1), 1–24. doi:10.1080/10438590000000001
- Lemieux, A.-A., Lamouri, S., Pellerin, R., & Tamayo, S. (2015). Development of a leagile transformation methodology for product development. *Business Process Management Journal*, 21(4), 791–819. doi: 10.1108/BPMJ-02-2014-0009

- Lempiälä, T., & Vanharanta, O. (2018). Rethinking the control–freedom paradox in innovation: Toward a multifaceted understanding of creative freedom. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 54(1), 62–87. doi: 10.1177/0021886317727458
- Letens, G., Farris, J. a, & van Aken, E. M. (2011). A Multilevel Framework for Lean Product Development System Design. *Engineering Management Journal*, 23(1), 69–85. doi: 10.1080/10429247.2011.11431887
- Levinthal, D. A., & March, J. G. (1993). The myopia of learning. *Strategic management journal*, 14(S2), 95–112. doi: 10.1002/smj.4250141009
- Li, H. and Atuahene-Gima, K. (2001). Product Innovation Strategy and the Performance of New Technology Ventures in China. *Academy of Management Journal*, 44(6), 1123–1134. doi: 10.5465/3069392
- Lieberman, M.B. and Montgomery, D.B. (1988). First-Mover Advantages. *Strategic Management Journal* 9:41–58 (Summer Special Issue). doi: 10.1002/smj.4250090706
- Liker, J. K., & Morgan, J. (2011). Lean Product Development as a System: A Case Study of Body and Stamping Development at Ford. *Engineering Management Journal*, 23(1), 16–28. doi: 10.1080/10429247.2011.11431884
- Liu, J. Y.-C., Chen, V. J., Chan, C.-L., & Lie, T. (2008). The impact of software process standardization on software flexibility and project management performance: Control theory perspective. *Information and Software Technology*, 50(9–10), 889–896. doi: 10.1016/j.infsof.2008.01.002
- Lotti, F., Santarelli, E., & Vivarelli, M. (2003). Does Gibrat's Law hold among young, small firms?. *Journal of evolutionary economics*, 13(3), 213–235. doi: 10.1007/s00191-003-0153-0
- MacDonald, S. (2004). When Means Become Ends: Considering the Impact of Patent Strategy on Innovation. *Information Economics and Policy*, 16(1), 135–158. doi: 10.1016/j.infoecopol.2003.09.008
- Mai, A. N., Vu, H. Van, Bui, B. X., & Tran, T. Q. (2019). The lasting effects of innovation on firm profitability: panel evidence from a transitional economy. *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*, 32(1), 3411–3430. doi: 10.1080/1331677X.2019.1660199
- Maloney, W. F. (2004). Informality Revisited. *World Development* 32(7): 1159–1178. doi:10.1016/j.worlddev.2004.01.008.
- Mann, R. J., & Sager, T. W. (2007). Patents, venture capital, and software start-ups. *Research Policy*, 36(2), 193–208. doi: 10.1016/j.respol.2006.10.002
- Mansfield, E. (1986). Patents and Innovation: An Empirical Study. *Management Science*, 32(2), 173–181. doi: 10.1287/mnsc.32.2.173
- Manjón-Antolín, M. C., & Arauzo-Carod, J. M. (2008). Firm survival: methods and evidence. *Empirica*, 35(1), 1–24. doi: 10.1007/s10663-007-9048-x
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71–87. doi: 10.1287/orsc.2.1.71
- March, J. G., & Simon, H. (1958). *Organizations*. Oxford, Blackwell.
- March-Chordà, I., Gunasekaran, A., & Lloria-Aramburo, B. (2002). Product development process in Spanish SMEs: an empirical research. *Technovation*, 22(5), 301–312. doi: 10.1016/S0166-4972(01)00021-9
- Martela, F. (2019). What makes self-managing organizations novel? Comparing how Weberian bureaucracy, Mintzberg's adhocracy, and self-organizing solve six fundamental problems of organizing. *Journal of Organization Design*, 8(1), 1–23. doi: 10.1186/s41469-019-0062-9
- Mata, J., & Portugal, P. (1994). Life Duration of New Firms. *The Journal of Industrial Economics*, 42(3), 227–245. doi: 10.2307/2950567
- Mata, J., Portugal, P., & Guimaraes, P. (1995). The Survival of New Plants: Start-up Conditions and Post-entry Evolution. *International Journal of Industrial Organization*, 13(4), 459–481. doi: 10.1016/0167-7187(95)00500-5
- Mattes, J. (2014). Formalisation and flexibilisation in organisations - Dynamic and selective approaches in corporate innovation processes. *European Management Journal*, 32(3), 475–486. doi: 10.1016/j.emj.2013.09.002

- Montgomery, C. (1995). Of Diamonds and Rust: A New Look at Re- sources. In: *Resource-Based and Evolutionary Theories of the Firm: Towards a Synthesis*, ed. C. Montgomery. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 251–268.
- Miller, R., & Olleros, X. (2008). To manage innovation, learn the architecture. *Research-Technology Management*, 51(3), 17–27. doi: 10.1080/08956308.2008.11657501
- Millward, H., & Lewis, A. (2005). Barriers to successful new product development within small manufacturing companies. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 12(3), 379–394. doi: 10.1108/14626000510612295
- Milosevic, D., & Patanakul, P. (2005). Standardized project management may increase development projects success. *International Journal of Project Management*, 23(3), 181–192. doi: 10.1016/j.ijproman.2004.11.002
- Mintzberg, H. (1994). *The rise and fall of strategic planning*. Hemel Hempstead, Prentice Hall.
- Miura, S. (Invalid Date). heterarchy. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/heterarchy>
- Mu, J., & Di Benedetto, C. A. (2011). Strategic orientations and new product commercialization: mediator, moderator, and interplay. *R&D Management*, 41(4), 337–359. doi: 10.1111/j.1467-9310.2011.00650.x
- Narver, J. C., & Slater, S. F. (1990). The effect of a market orientation on business profitability. *Journal of Marketing*, 54(4), 20–35. doi:10.2307/1251757
- Nooteboom, B., Van Haverbeke, W., Duysters, G., Gilsing, V., & Van den Oord, A. (2007). Optimal cognitive distance and absorptive capacity. *Research Policy*, 36(7), pp. 1016–1034. doi: 10.1016/j.respol.2007.04.003
- O'Connor, G. C., & Rice, M. P. (2001). Opportunity recognition and breakthrough innovation in large established firms. *California Management Review*, 43(2), 95–116. doi: 10.2307/41166077
- Patel, P.C., Terjesen, S., & Li, D. (2012). Enhancing effects of manufacturing flexibility through operational absorptive capacity and operational ambidexterity. *Journal of Operations Management*, 30(3), 201–220. doi: 10.1016/j.jom.2011.10.004
- Pellicer, E., Correa Luis, C., Yepes, V., & Alarcón, F. L. (2012). Organizational Improvement Through Standardization of the Innovation Process in Construction Firms. *Engineering Management Journal*, 24(2), 40–53. doi: 10.1080/10429247.2012.11431935
- Pesch, R., Endres, H., & Bouncken, R. B. (2021). Digital product innovation management: Balancing stability and fluidity through formalization. *Journal of Product Innovation Management*, 38(6), 1–19. doi: 10.1111/jpim.12609
- Prajogo, D.I. (2006). The Relationship between Innovation and Business Performance—A Comparative Study between Manufacturing and Service Firms. *Knowledge and Process Management* 13(3):218–225. doi: 10.1002/kpm.259
- Rajapathirana, R. J., & Hui, Y. (2018). Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, 3(1), 44–55. doi:10.1016/j.jik.2017.06.002
- Rakić, A., Milošević, I., & Filipović, J. (2021). Standards and Standardization Practices: Does Organization Size Matter?. *Engineering Management Journal*, 1–11. doi: 10.1080/10429247.2021.1894060
- Rammert, W. (1993). *Technik aus soziologischer Perspektive: Forschungsstand, Theorieansätze, Fallbeispiele. Ein Überblick*. Westdeutscher Verlag, Opladen, Germany.
- Rand, J., & Torm, N. (2012). The benefits of formalization: Evidence from Vietnamese manufacturing SMEs. *World Development*, 40(5), 983–998. doi:10.1016/j.worlddev.2011.09.004
- Read, S., Song, M., & Smit, W. (2009). A meta-analytic review of effectuation and venture performance. *Journal of business venturing*, 24(6), 573–587. doi: 10.1016/j.jbusvent.2008.02.005
- Reid, S. E., & De Brentani, U. (2004). The fuzzy front end of new product development for discontinuous innovations: A theoretical model. *Journal of product innovation management*, 21(3), 170–184. doi: 10.1111/j.0737-6782.2004.00068.x
- Robbins, P., & O'Gorman, C. (2015). Innovating the innovation process: An organisational experiment in global pharma pursuing radical innovation. *R and D Management*, 45(1), 76–93. doi: 10.1111/radm.12054

- Roblek, M., Kern, T., & Zajec, M. (2013). Knowledge management of knowledge intensive business processes with PKA method. In Dermol, V., Trunk Širca, N., & G., Đaković (Eds.). *Active Citizenship by Knowledge Management and Innovation: Proceedings of the Management, Knowledge and Learning International Conference 2013*, 19-21 June 2013 (pp. 373-380), Zadar, Croatia, ToKnowPress, Celje.
- Roblek, M., Zajec, M., & Urh, B. (2017). Knowledge-based assignment model for allocation of employees in engineering-to-order production. In Mohiuddin, M., Halilem, N., Kobir, A., & C. Yuliang (Eds.). *Knowledge management strategies and applications* (pp. 218-237). InTech, Rijeka. doi: 10.5772/intechopen.70073
- Salavou, H. (2002). Profitability in Market-Oriented SMEs: Does Product Innovation Matter? *European Journal of Innovation Management* 5(3), 164–171. doi: 10.1108/14601060210436736
- Schepers, P., & Berg, P. T. (2007). Social factors of work-environment creativity. *Journal of Business and Psychology*, 21(3), 407–428. doi: 10.1007/s10869-006-9035-4
- Schoeneborn, D., Kuhn, T. R., & Kärreman, D. (2018). The communicative constitution of organization, organizing, and organizationality. *Organization Studies*, 40(4), 475-496. doi: 10.1177/0170840618782284
- Schreyögg, G., & Sydow, J. (2010). Crossroads—organizing for fluidity? Dilemmas of new organizational forms. *Organization science*, 21(6), 1251-1262. doi: 10.1287/orsc.1100.0561
- Schumpeter, J.A. (1950). *Capitalism, Socialism and Democracy*. New York: Harper.
- Scott, W. R. (2008). *Institutions and organizations: Ideas and interests* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Scozzi, B., Garavelli, C., & Crowston, K. (2005). Methods for modeling and supporting innovation processes in SMEs. *European Journal of Innovation Management*, 8(1), 120–137. doi: 10.1108/14601060510578619
- Sethi, R., & Iqbal, Z. (2008). Stage-Gate Controls, Learning Failure, and Adverse Effect on Novel New Products. *Journal of Marketing*, 72(January), 118–134. doi: 10.1509/jmkg.72.1.118
- Sheremata, W. A. (2000). Centrifugal and centripetal forces in radical new product development under time pressure. *Academy of management review*, 25(2), 389-408. doi: 10.5465/amr.2000.3312925
- Smith, W. K., & Lewis, M. W. (2011). Toward a theory of paradox: A dynamic equilibrium model of organizing. *Academy of management Review*, 36(2), 381-403. doi: 10.5465/amr.2009.0223
- Song, X. M., & Montoya-Weiss, M. M. (1998). Critical development activities for really new versus incremental products. *Journal of Product Innovation Management: An International Publication Of The Product Development & Management Association*, 15(2), 124-135. doi: 10.1111/1540-5885.1640333
- Spescha, A., & Woerter, M. (2018). Innovation and firm growth over the business cycle. *Industry and Innovation*, 26(3), 1–27. doi: 10.1080/13662716.2018.1431523
- Srivastava, R. K., Fahey, L., & Christensen, H. K. (2001). The resource-based view and marketing: The role of market-based assets in gaining competitive advantage. *Journal of Management*, 27(6), 777–802. doi: 10.1016/S0149-2063(01)00123-4
- Storper, M. (2007). Globalization and knowledge flows: An industrial geographer's perspective. In Dunning, J. H. (Ed.). *Regions, globalization, and knowledge-based economy* (pp. 42–62). Oxford University Press, Oxford.
- Tatikonda, M. V., & Rosenthal, S. R. (2000). Successful execution of product development projects: Balancing firmness and flexibility in the innovation process. *Journal of Operations Management*, 18(4), 401–425. doi: 10.1016/S0272-6963(00)00028-0
- Tatikonda, M. V., & Montoya-Weiss, M. M. (2001). Integrating operations and marketing perspectives of product innovation: The influence of organizational process factors and capabilities on development performance. *Management Science*, 47(1), 151–172. doi: 10.1287/mnsc.47.1.151.10669
- Teller, J., Unger, B. N., Kock, A., & Gemünden, H. G. (2012). Formalization of project portfolio management: The moderating role of project portfolio complexity. *International Journal of Project Management*, 30(5), 596–607. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.01.020

- Tseng, K. C., & Abdalla, H. (2006). A novel approach to collaborative product design and development environment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(12), 1997–2020. doi: 10.1243/09544054JEM485
- Ugur, M., E. Trushin, and E. Solomon. (2016). Inverted-U Relationship between R&D Intensity and Survival: Evidence on Scale and Complementarity Effects in UK Data. *Research Policy*, 45(7), 1474–1492. doi: 10.1016/j.respol.2016.04.007
- Unger, D., & Eppinger, S. (2011). Improving product development process design: a method for managing information flows, risks, and iterations. *Journal of Engineering Design*. 22(10), 689–699. doi: 10.1080/09544828.2010.524886
- Unger, M., Leopold, H., & Mendling, J. (2015). How much flexibility is good for knowledge intensive business processes: A study of the effects of informal work practices. In Bui, T. X. & R. H., Sprague, Jr. (Eds.). *Proceedings of the 48th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 5-8 January 2015 (pp. 4990–4999). Kauai, Hawaii, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA. doi: 10.1109/HICSS.2015.591
- Utterback, J. M. (1971). The Process of Technological Innovation Within the Firm. *Academy of Management Journal*, 14(1), 75–88. doi: 10.2307/254712
- Van De Vrande, V., De Jong, J. P. J., Vanhaverbeke, W., & De Rochemont, M. (2009). Open innovation in SMEs: Trends, motives and management challenges. *Technovation*, 29(6-7), 423-437. doi: 10.1016/j.technovation.2008.10.001
- Vlaar, P. W., Van den Bosch, F. A., & Volberda, H. W. (2006). Coping with problems of understanding in interorganizational relationships: Using formalization as a means to make sense. *Organization Studies*, 27(11), 1617-1638. doi: 10.1177/0170840606068338
- Vohora, A., Wright, M., & Lockett, A. (2004). Critical junctures in the development of university high-tech spinout companies. *Research policy*, 33(1), 147-175. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(03\)00107-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(03)00107-0)
- Wade, M., & Hulland, J. (2004). Mis Quarterly. Review: The resource-based view and information systems research: Review, extension, and suggestions for future research. *MIT Sloan Management Review*, 28(1), 107-142. doi: 10.2307/25148626
- Wagner, S., & Cockburn, I. (2010). Patents and the survival of Internet-related IPOs. *Research Policy*, 39(2), 214-228. doi: 10.1016/j.respol.2009.12.003
- Walsh, J. P., & Dewar, R. D. (1987). Formalization and the organizational life cycle [1]. *Journal of Management Studies*, 24(3), 215-231. doi: 10.1111/1467-6486.00159
- Weber, M. (1947). *The Theory of Social and Economic Organization*. New York: The Free Press.
- Williams, L.J., Edwards, J.R., & Vandenberg, R.J. (2003). Recent advances in causal modeling methods for organizational and management research. *Journal of Management*, 29(6), 903–936. doi: 10.1016/S0149-2063(03)00084-9
- Wheelwright, S. C., & Clark, K. B. (1992). *Revolutionizing product development: Quantum leaps in speed, efficiency and quality*. The Free Press, New York, NY.
- Yang, Y., Lee, P. K. C., & Cheng, T. C. E. (2017). Leveraging selected operational improvement practices to achieve both efficiency and creativity: A multi-level study in frontline service operations. *International Journal of Production Economics*, 191(June), 298–310. doi: 10.1016/j.ijpe.2017.06.023
- Zhang, L. (2013). Managing project changes: Case studies on stage iteration and functional interaction. *International Journal of Project Management*, 31(7), 958–970. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.11.014
- Zhang, M., & Mohnen, P. (2013). Innovation and Survival of New Firms in Chinese Manufacturing, 2000–2006. United Nations University-Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT) Working Paper no. 057. <https://econpapers.repec.org/paper/unmunumer/2013057.htm>.

SODOBNI IZZIVI OBVLADOVANJA PREMOŽENJA V KONTEKSTU OHRANJANJA KONKURENČNE PREDNOSTI

DAMJAN MALETIČ, MATJAŽ MALETIČ

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

Sinopsis Poglavje obravnava področje obvladovanja premoženja. Obvladovanje premoženja lahko razumemo kot koordinirane aktivnosti organizacije, katerih namen je ustvarjanje vrednosti iz premoženj (SIST ISO 55000:2017). Sistematično obvladovanje premoženj torej pomaga uravnotežiti stroške, tveganja in omogoča učinkovito odločanje, ki organizacijam nudi podporo pri ustvarjanju vrednosti iz premoženj ter doseganje poslovnih ciljev. SIST ISO 55001:2014 organizacijam ponuja skupni jezik in zanesljiv okvir odločanja, ki omogoča doslednost v praksah obvladovanja premoženja. Usklajuje se z drugimi standardi ISO, kot so SIST EN ISO 9001:2015, SIST EN ISO 14001:2015 in SIST ISO 31000:2018 in drugi. Poglavje obravnava vlogo obvladovanja premoženja pri doseganju učinkovitosti in uspešnosti organizacije, predstavi sodobne standarde na tem področju in podaja usmeritve za organizacije.

Ključne besede:
obvladovanje
premoženja, izzivi,
SIST ISO
55001:2014,
vrednost, stroški,
tveganja

CONTEMPORARY CHALLENGES OF ASSET MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF MAINTAINING COMPETITIVE ADVANTAGE

DAMJAN MALETIČ, MATJAŽ MALETIČ

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
damjan.maletic@um.si, matjaz.maletic@um.si

Abstract The proposed chapter deals with the field of asset management. Asset management can be understood as the coordinated activities of an organisation aimed at creating value from assets (SIST ISO 55000:2017). Systematic asset management, therefore, helps balance costs and risks and enables effective decision making that helps organisations create value from assets and achieve business objectives. Indeed, SIST ISO 55001:2014 provides organisations with a common language and a sound framework for decision making that enables a consistent approach to asset management. It is consistent with other ISO standards such as SIST EN ISO 9001:2015, SIST EN ISO 14001:2015, and SIST ISO 31000:2018. The chapter discusses the role of asset management in achieving organisational performance, introduces contemporary standards in the field, and provides guidance for organisations.

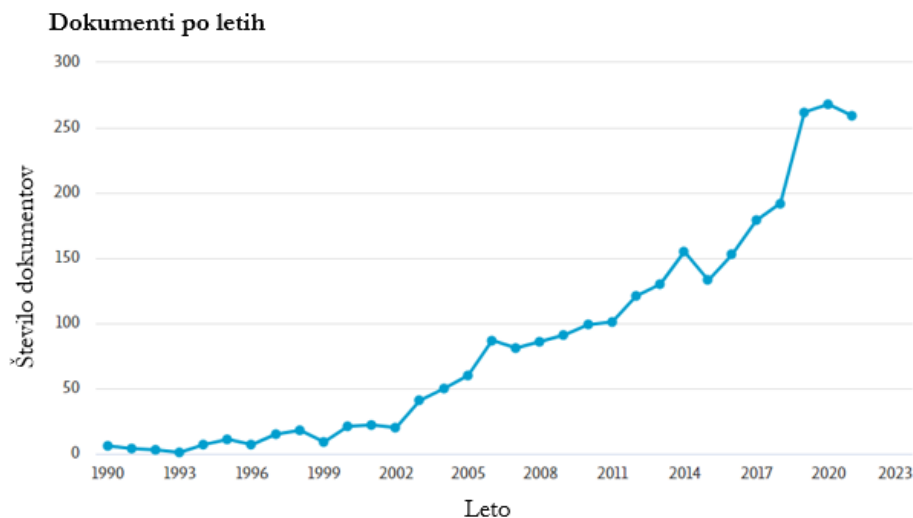
Keywords:

asset management,
challenges,
ISO 55001,
value, costs,
risks

1 Uvod

Področje obvladovanja premoženja se vse bolj uveljavlja kot pristop, ki organizacijam omogoča bolj učinkovito doseganje poslovnih ciljev ter doseganje boljše učinkovitosti in uspešnosti organizacije (Maletič et al., 2018). Področje obvladovanja premoženja se je začelo razvijati že pred desetletji, vendar so večjo pozornost pri obravnavanem področju najprej pritegnile tehnične specifikacije (BSI PAS 55-1, 2008) in nato mednarodni standard SIST ISO 55001:2014. Skozi industrijski razvoj so izraz premoženje (angl. asset) povezovali z različnimi področji. Izraz premoženje se predvsem pogosto uporablja v finančnem sektorju (Liyanae, 2012). V tem kontekstu je osrednji poudarek na delnicah, skladih in drugih oblikah ekonomskih sredstev (Ghosh, 2010). Vendar se v splošnem premoženje lahko razume kot vsa premoženja, ki za organizacijo predstavljajo vrednost. To pomeni, da le-to vključuje tudi vsa fizična premoženja, s katerimi organizacija razpolaga (e. g. stroji, oprema, zgradba itd.). Potrebno je izpostaviti, da imajo fizična premoženja v organizacijah, ki so izpostavljena dinamičnim interakcijam s trgom in močno konkurenco, strateško vlogo, saj so aktivno vključena v proces proizvodnje izdelkov ali storitev, s katerimi lahko organizacija ohranja svoj konkurenčni položaj na trgu (Liyanae, 2012). Uspeh na trgu je namreč močno povezan s tem, da organizacija kupcem ponudi izdelke ali storitve višje kakovosti oziroma da posluje z nižjimi stroški (Porter, 1985). Eden izmed načinov, s katerimi si organizacija pri tem lahko pomaga, je vzpostavitev sistema obvladovanja premoženja. Čeprav ISO ne spremlja število organizacij, ki so vzpostavile standardiziran sistem obvladovanja premoženja skladno s SIST ISO 55001:2014, je vseeno moč razbrati, da je vse več organizacij, ki so sistem obvladovanja premoženja potrdile preko certificiranja skladno z zahtevami SIST ISO 55001:2014 (ISO/TC 251, n. d.-b). Obvladovanje premoženja lahko razumemo kot koordinirane aktivnosti organizacije, katerih namen je ustvarjanje vrednosti iz premoženj (SIST ISO 55000:2017). Sistematično obvladovanje premoženj torej pomaga uravnovežiti stroške, tveganja in omogoča učinkovito odločanje, ki organizacijam nudi podporo pri ustvarjanju vrednosti iz premoženj ter doseganje poslovnih ciljev (Almeida et al., 2022; Maletič et al., 2020; Maletič, Almeida, et al., 2022). SIST ISO 55001:2014 torej organizacijam ponuja skupni jezik in zanesljiv okvir odločanja, ki omogoča doslednost v praksah obvladovanja premoženja. Usklajuje se z drugimi standardi ISO (SIST EN ISO 9001:2015; SIST EN ISO 14001:2015; SIST ISO 31000:2018).

Obvladovanje premoženja postaja vse pomembnejše raziskovalno področje (Komljenovic et al., 2021; Maletič et al., 2020; Maletič, Almeida, et al., 2022; Trindade et al., 2019) (Maletič et al., 2020; Trindade et al., 2019). Zaznati je tudi povečanje znanstvenih objav na področju obvladovanja premoženja (slika 1).



Slika 1: Število objavljenih člankov po letih, povezanih z obvladovanjem premoženja za energetiko (1990–2021) (vir: Scopus. Iskalni niz: "physical asset management")

Vir: lasten.

V nadaljevanju so predstavljena nekatera ključna raziskovalna spoznanja na področju obvladovanja premoženja (tabela 1).

Tabela 1: Pregled nekaterih izbranih znanstvenih publikacij

Referenca	Metodologija	Proučevana področja obvladovanja premoženja
(Maletič, Almeida, et al., 2022)	Empirična študija	Avtorji so proučevali motive in ovire, s katerimi se organizacije srečujejo pri implementaciji sistema obvladovanja premoženja. Ravno tako je predstavljen in validiran konstrukt obvladovanja premoženja.
(Alsyouf et al., 2021)	Empirična študija	Avtorji so preko ključnih kazalnikov učinkovitosti in uspešnosti (KPI) na področju obvladovanja premoženja preučevali vpliv na celokupno uspešnost organizacije. Študija temelji na

Referenca	Metodologija	Proučevana področja obvladovanja premoženja
(Maletič et al., 2020)	Empirična študija	organizacijah, ki imajo vzpostavljen sistem skladno z zahtevami ISO 55001. Avtorji so proučevali povezavo med aktivnostmi obvladovanja premoženja in doseganjem operativne učinkovitosti. Validacija konstrukta obvladovanja premoženja.
(Trindade et al., 2019)	Pregled literature/konceptualna zasnova	Avtorji obravnavajo koncept vrednosti, obvladovanje tveganja in priložnosti z vidika obvladovanja premoženja.
(Maletič et al., 2018)	Empirična študija	Avtorji so proučevali povezavo med aktivnostmi obvladovanja premoženja in doseganjem učinkovitosti in uspešnosti na področju trajnostnega razvoja. Validacija konstrukta obvladovanja premoženja.
(Amadi-Echendu et al., 2010)	Pregled literature/konceptualna zasnova	Avtorji so predstavili glavna področja obvladovanja, predstavili so koncept obvladovanja premoženja za fizična premoženja.
(Schuman & Brent, 2005)	Študija primera/konceptualna zasnova	Predlagan in obravnavan je model obvladovanja življenjske dobe premoženj z vidika procesne industrije.

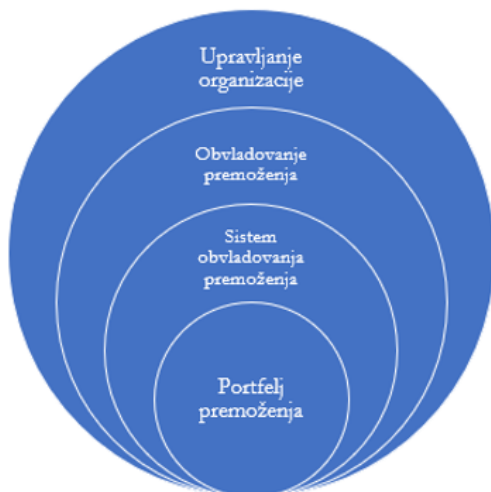
Učinkovito obvladovanje proizvodnih procesov, obvladovanja premoženja in ostalih procesov v organizaciji je ključno za ekonomsko upravičenost in dolgoročno uspešnost organizacij v mnogih panogah. Pravzaprav je učinkovito in uspešno obvladovanje premoženja zelo pomembno z vidika doseganja učinkovitosti in uspešnosti organizacije (Maletič et al., 2020). Poleg tega so proizvodna podjetja pod velikim pritiskom zahtev, da naj zmanjšajo svoje proizvodne stroške (Wang et al., 2007). Obvladovanje premoženja torej postaja integralni element strateškega razmišljanja tako lastnikov kot tudi upravljalcev fizičnih premoženj. S tega vidika obvladovanje premoženja posledično igra vedno bolj pomembno vlogo pri optimizaciji dobičkonosnosti organizacije (Maletič et al., 2020; Schuman & Brent, 2005). Vendar se v praksi pogosto zgodi, da se tekom življenjske dobe premoženj osredotočijo le na posamezne segmente in ne na celotno integracijo s sistemom managementa v organizaciji (Maletič, Pačaiová, et al., 2022; Pacaiova et al., 2012).

Namen pričujočega poglavja je opredeliti področje obvladovanja premoženja in predstaviti njegove elemente oziroma glavna področja. Ravno tako je namen prispevka podrobneje prikazati ključne izzive in priložnosti ter izpostaviti vlogo sistema obvladovanja premoženja pri doseganju poslovne uspešnosti.

Teoretično ozadje obvladovanja premoženja

Opredelitev obvladovanja premoženja

Sistem obvladovanja premoženja organizaciji omogoča učinkovito vodenje, usklajevanje in izvajanje aktivnosti pri obvladovanju premoženja. Sistem tako nudi boljše obvladovanje tveganja in zagotavlja, da bodo cilji obvladovanja premoženja doseženi (SIST ISO 55000:2017). Elemente sistema obvladovanja premoženja lahko razumemo kot zbirko orodij, ki vključujejo politike, plane, poslovne procese in informacijske sisteme, ki povezani zagotavljajo, da bodo aktivnosti obvladovanja premoženja izvedene (SIST ISO 55000:2017). V standardu (SIST ISO 55000:2017) je navedeno, da je premoženje predmet, stvar ali subjekt, ki ima morebitno ali dejansko vrednost za organizacijo. Vrednost je odvisna od organizacije in njenih deležnikov. Lahko je opredmetena ali neopredmetena, finančna ali nefinančna. Ključni pojmi obvladovanja premoženja so opredeljeni na sliki 2.



Ovladovanje premoženja:

usklajena aktivnost organizacije za ustvarjanje vrednosti iz premoženj

Sistem obvladovanja premoženja:

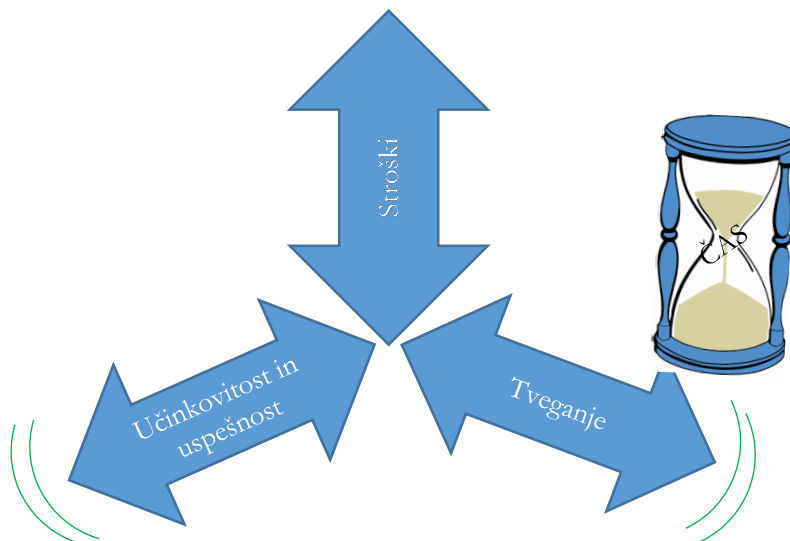
Sklop medsebojno povezanih in medsebojno delujočih elementov organizacije, katerih naloga je vzpostaviti politiko, cilje obvladovanja premoženja in procese, ki so potrebni za doseganje teh ciljev.

Slika 2: Ključni pojmi obvladovanja premoženja

Vir: lasten.

Obvladovanje premoženja podpira ustvarjanje vrednosti ob uravnoteženju finančnih, okoljskih in družbenih stroškov, tveganja, kakovosti storitve ter izvedbe v zvezi s premoženji (SIST ISO 55000:2017). Koncept ustvarjanja vrednosti je predstavljen v nadaljevanju (poglavje 2.2). Določitev pravega ravnovesja med

stroški, učinkovitostjo in uspešnostjo ter pripadajočim tveganjem je torej ključnega pomena (slika 3).



Slika 3: Dejavniki, ki jih moramo upoštevati pri načrtovanju aktivnosti obvladovanja premoženja

Vir: lasten.

Namen obvladovanja premoženja je pretvorba ciljev organizacije v odločitve, plane in aktivnosti, povezane s premoženjem, pri čemer se uporablja pristop na podlagi tveganja (SIST ISO 55000:2017). Organizacija naj bi uporabljala strateški plan obvladovanja premoženja (SAMP) kot vodilo pri postavitvi ciljev obvladovanja premoženja in za opisovanje vloge sistema obvladovanja premoženja pri doseganju teh ciljev (SIST ISO 55000:2017).

Zahteve sistema obvladovanja premoženja, opisane v SIST ISO 55001:2014, so razdeljene v skupine na način, ki je skladen z opredelitvijo sistema obvladovanja premoženja:

- kontekst organizacije (SIST ISO 55001:2014, točka 4),
- voditeljstvo (SIST ISO 55001:2014, točka 5),
- planiranje (SIST ISO 55001:2014, točka 6),

- podpora (SIST ISO 55001:2014, točka 7),
- delovanje (SIST ISO 55001:2014, točka 8),
- vrednotenje izvedbe (SIST ISO 55001:2014, točka 9),
- izboljševanje (SIST ISO 55001:2014, točka 10).

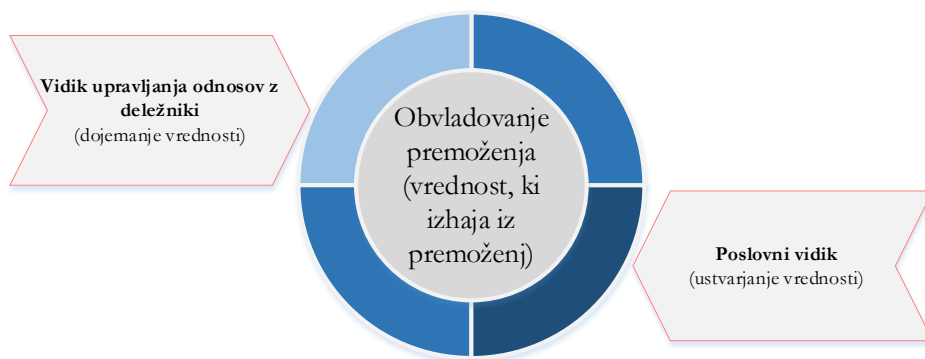
Kot navedeno v SIST ISO 55000:2017, naj pri vzpostavitvi sistema obvladovanja premoženja organizacija upošteva svoj notranji in zunanji kontekst. Najvišje vodstvo je odgovorno za razvoj politike obvladovanja premoženja, ciljev obvladovanja premoženja in njihovo povezanost s cilji organizacije. Nadalje, načela, s katerimi organizacija namerava uporabljati obvladovanje premoženja za doseg svojih ciljev, organizacija opredeli kot politiko obvladovanja premoženja. Pristop, uporabljen pri izvajanju teh načel, organizacija opredeli in dokumentira v SAMPu. Usklajevanje in uporaba virov (na primer informacije, njihovo ustvarjanje in dokumentiranje, zahteve po kompetentnosti itd.) sta ravno tako pomembni aktivnosti obvladovanja premoženja. Ocena tveganja in njegovo obvladovanje z vidika obvladovanja sprememb predstavlja pomembne aktivnosti znotraj elementa delovanje (SIST ISO 55001:2014, točka 8). Vrednotenje učinkovitosti in uspešnosti premoženj, obvladovanje premoženja in sistema obvladovanja premoženja mora biti v organizaciji stalen proces, prav tako pa tudi proces nenehnega izboljševanja.

Uvod v koncept vrednosti

Obstaja več konceptualizacij ustvarjanja vrednosti, ki izhajajo iz različnih področij (Lepak et al., 2007). Nekateri primeri konceptualizacije ustvarjanja vrednosti so povezani z menjavo, koristnostjo in teorijo delovne vrednosti (Dooley, 2005; Sheth et al., 1991) in tudi s trženjem in financami (Klonowski, 2014; Payne & Holt, 2001). V zadnjem obdobju je tudi moč zaznati naraščajoč trend uporabe koncepta soustvarjanja vrednosti (Yi & Gong, 2013).

Koncept vrednosti je bil predmet raziskovanja v različnih kontekstih in posledično obstajajo raznolike opredelitve tega pojma. ISO standardi opredeljujejo vrednost kot koristi od zadovoljitve potreb in pričakovanj deležnikov glede na uporabljene vire (SIST EN ISO 56000:2021). Pojem "vrednost" se včasih nanaša na (številčno) enoto podatkov, npr. rezultat merjenja, medtem ko se v nekaterih drugih primerih navezuje na načela ali standarde vedenja, ki so na primer vključeni v koncept kulture.

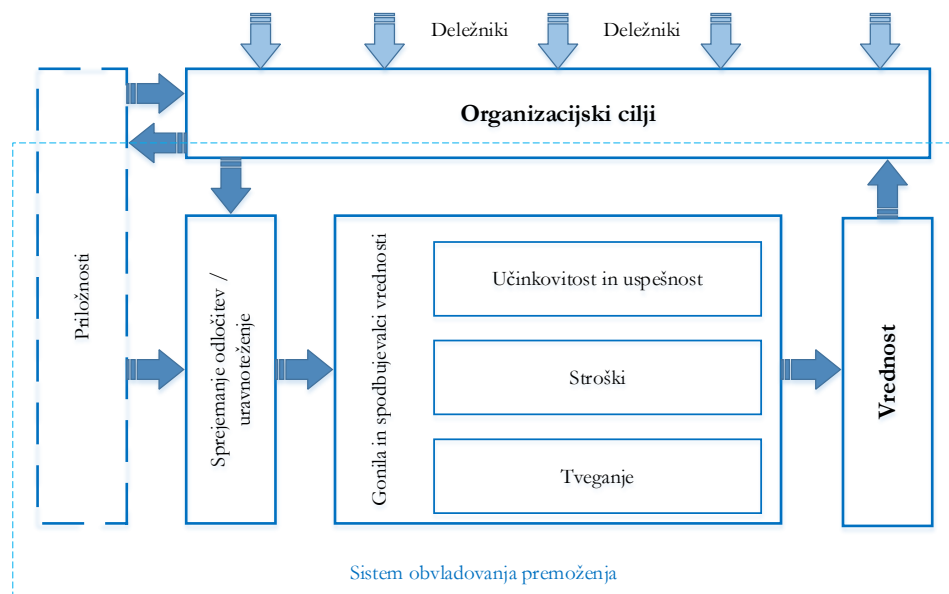
Mednarodni standard o obvladovanju premoženja (SIST ISO 55000:2017) priznava, da je vrednost lahko opredmetena ali neopredmetena, finančna ali nefinančna in vključuje obravnavanje tveganja in obveznosti. V različnih fazah življenjske dobe premoženja je lahko pozitivna ali negativna. Poglavitni namen serije standardov o obvladovanju premoženja (SIST ISO 55000:2017) je pomagati organizacijam, da iz svojega premoženja ustvarijo vrednost. V skladu z navedenim, premoženje organizacije obstaja zato, da se zagotovi vrednost organizaciji in njenim in zainteresiranim stranem. Revidirana različica standarda (SIST ISO 55002:2019) vključuje prilogo s premisleki o konceptu vrednosti pri obvladovanju premoženja. V skladu s temi standardi je vrednost povezana s poslanstvom organizacije pri zagotavljanju rezultatov za njene kupce in deležnike. Vrednost, ki jo zaznavajo notranji deležniki, izhaja iz vrednosti, ki jo ustvari organizacija. Vsaka organizacija mora razmisliti o potrebah in pričakovanjih svojih deležnikov. Zadovoljstvo deležnikov je mogoče obravnavati kot strateško orodje organizacije, ki pozitivno vpliva na dobičkonosnost (Almeida et al., 2022). Zelo je tudi pomembno, kako ustvarjeno vrednost dojemajo zunanji deležniki. Seveda mora vsaka organizacija določiti, kaj predstavlja vrednost v zvezi z doseganjem svojih organizacijskih ciljev. Ti cilji morajo upoštevati potrebe in pričakovanja svojih deležnikov, kot so vlagatelji, stranke, regulativni organi, zaposleni, lokalna skupnost itd. Torej, na eni strani imamo vrednost, ki jo organizacija ustvari s svojimi premoženji, in na drugi strani vrednost, kot jo dojemajo ključni deležniki (slika 4).



Slika 4: Konceptualni okvir ustvarjanja vrednosti iz premoženja

Vir: (Prilagojeno po Almeida et al., 2022)

Kot smo že navedli, ustvarjanje vrednosti izhaja iz razumevanja potreb in pričakovanj deležnikov in je povezano s strateškimi cilji organizacije. Pri tem je pomembno, da organizacija prepozna gonila in spodbujevalce vrednosti (GFMAM, 2016). Vrednost mora upoštevati uravnoteženje stroškov, tveganja in učinkovitosti ter uspešnosti (slika 5).



Slika 5: Model ustvarjanja vrednosti z vidika obvladovanja premoženja (angl. The Value Model, GFMAM 2016)

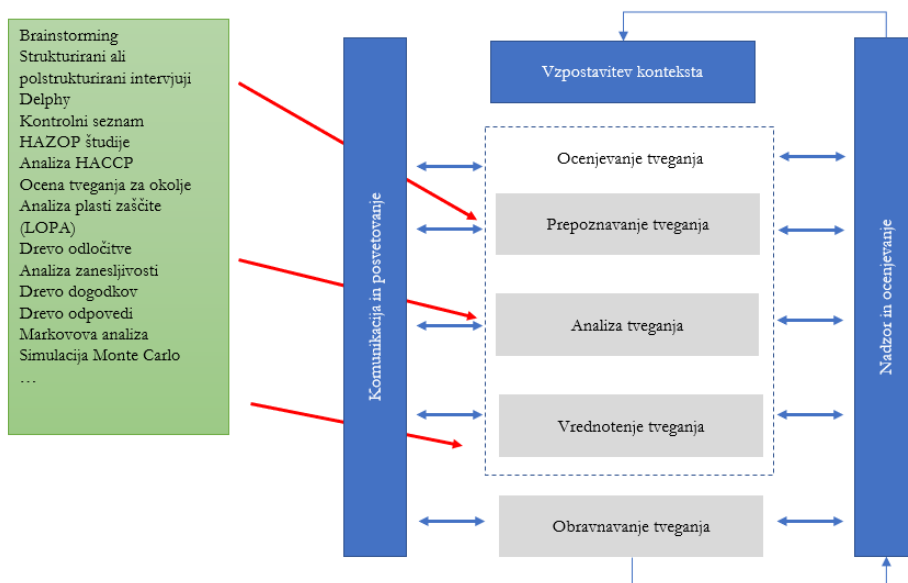
Vir: lasten.

Obvladovanje tveganja

Koristi obvladovanja premoženja se kažejo na različnih področjih in vključujejo tudi obvladovanje tveganja, predvsem z vidika zmanjšanja finančnih izgub, izboljšanja zdravja in varnosti, dobrega imena in ugleda, zmanjšanja okoljskih in družbenih vplivov ipd. (SIST ISO 55000:2017).

Organizacija mora zagotoviti, da se tveganja, povezana z obvladovanjem premoženja, upoštevajo v pristopu k obvladovanju tveganja, vključno z načrtovanjem ukrepov ob nepredvidljivih dogodkih. Organizacija lahko uporabi

pristop in različne tehnike ocenjevanja tveganja (slika 6), kar je razvidno v standardu za področje obvladovanja tveganja (SIST ISO 31000:2018).



Slika 6: Pristop k obvladovanju tveganja

Vir: (Prirejeno po SIST ISO 31000:2018)

Finančni in nefinančni vidiki obvladovanja premoženja

Eden pomembnih rezultatov postopka planiranja v okviru obvladovanja premoženja je ocena denarnih tokov, ki so potrebni za zagotavljanje vrednosti iz premoženja in za podporo doseganju poslovnih ciljev. Ti denarni tokovi so lahko kapitalski odhodki (Capex) in poslovni odhodki (Opex). V mnogih organizacijah je uskladitev finančnih in nefinančnih funkcij nezadostna. Eden izmed razlogov je v tem, da so finančne funkcije običajno bolj usmerjene v preteklost (npr. finančno računovodstvo in dejavnosti računovodskega poročanja) in manj usmerjena v podporo odločanju za prihodnost (SIST-TS ISO/TS 55010:2020). Hkrati so nefinančne funkcije, ki so usmerjene v prihodnost (npr. planirana vzdrževalna dela), pogosto slabo usklajene s finančnimi funkcijami v smislu, da tisti, ki te funkcije opravljajo, mnogokrat ne uspejo prikazati vseh vidikov finančnih posledic svojih aktivnosti. Omenili bi tudi, da nivo premoženja (angl. asset level) med posameznimi oddelki pogosto ni enako razumljen/določen. V ta namen je potrebno jasno določiti, kaj je premoženje, nivo

višje predstavlja sistem premoženja, nivo nižje predstavlja komponento. Konsistentnost pri stopnji podrobnosti (angl. granularity) je zelo pomembna, saj se posledično finančne in nefinančne informacije med vsemi oddelki nanašajo na isti nivo. Slednje je opredeljeno v členu 7.4 standarda (SIST-TS ISO/TS 55010:2020).

Kaj torej pomenijo smernice za uskladitev finančnih in nefinančnih funkcij pri obvladovanju premoženja? Prva stvar je, da je to standard (SIST-TS ISO/TS 55010:2020), ki podaja smernice in kot tak ne daje nobene razlage obstoječih zahtev (SIST ISO 55001:2014) niti ne dodaja novih zahtev tistim, ki jih trenutno vsebuje (SIST ISO 55001:2014). Primer zahtev, vezanih na finance, ki jih navaja (SIST ISO 55001:2014):

- člen 4.2 zahteva razumevanje zahtev in pričakovanj deležnikov, da se upošteva beleženje in poročanje o finančnih in nefinančnih informacijah,
- člen 6.2.1 pri določanju ciljev obvladovanja premoženja zahteva upoštevanje finančnih zahtev,
- v členu 6.2.2 za načrtovanje uresničevanja ciljev obvladovanja premoženja je treba to načrtovanje vključiti v druge organizacijske dejavnosti, vključno s finančnimi funkcijami,
- člen 6.2.2 zahteva tudi določitev in dokumentiranje finančnih posledic,
- člen 7.5 v zvezi z informacijami od organizacij zahteva, da določijo zahteve za uskladitev finančne in nefinančne terminologije, ki so relevantne za obvladovanje premoženja ter zagotavljanje skladnosti in sledljivosti med finančnimi in tehničnimi podatki ter drugimi ustreznimi nefinančnimi podatki, če je to potrebno za izpolnjevanje pravnih zahtev,
- člen 9.1 navaja, da pri vrednotenju učinkovitosti in uspešnosti od organizacij zahteva ocenjevanje in poročanje o učinkovitosti in uspešnosti obvladovanja premoženja, vključno s finančno uspešnostjo.

Zakaj je uskladitev pomembna za organizacijo? Uskladitev omogoča različnim funkcijam v organizaciji izmenjavo in uporabo informacij ter izboljšanje doseganja organizacijskih ciljev. Torej lahko trdimo, da (ISO/TC 251, n. d.-a):

- odpravlja vrzeli med cilji finančnih in nefinančnih funkcij;
- izboljšuje izmenjavo znanja in sprejemanje odločitev s skupno terminologijo ter razumevanjem poslovnih ciljev in okvirov odločanja;
- izboljšuje ustvarjanje vrednosti iz premoženj, ki jo organizacija in njeni deležniki dosežejo ob upoštevanju uravnoteženja med tveganji, stroški ter doseganjem učinkovitosti in uspešnosti.

(ISO/TC 251, n. d.-a) tudi navaja, kako standard pomaga premagati vrzeli med finančnimi in nefinančnimi funkcijami:

- ustvarja učinkovitejša merila organizacijske učinkovitosti in uspešnosti ter merila učinkovitosti in uspešnosti, povezana s premoženji, bolje tudi prikazuje doseganje organizacijskih ciljev,
- izboljšuje timsko delo in izpostavlja skupno zasledovanje ciljev in ne na ravni posameznih oddelkov,
- izboljšuje povezovanje nefinančnih ključnih kazalnikov učinkovitosti in uspešnosti (KPI) in finančnih KPI,
- vzpostavlja vzajemno koristno sodelovanje finančnih in nefinančnih funkcij in razumevanje sinergijskih učinkov na doseganje učinkovitosti in uspešnosti.

Smernice (SIST ISO 55002:2019) za uporabo standarda SIST ISO 55001:2014 prav tako ponujajo napotke, vezane na finance. Slednje je tudi vključeno v informativno prilogo (priloga F), ki podaja informacije o povezanosti med finančnimi in nefinančnimi funkcijami pri obvladovanju premoženja.

Obvladovanje premoženja kot odgovor na vsakodnevne izzive

Managerji in lastniki podjetij so tisti, ki odločajo, kaj je pomembno in kaj lahko počaka. Izboljšanje področja obvladovanja premoženja bi lahko bila strateška usmeritev za vse vrste in velikosti organizacij v bližnji prihodnosti. Zakaj? Obvladovanje premoženja lahko nudi veliko koristi z vidika zmanjševanja stroškov, izboljšanja operativne učinkovitosti, izboljšanja obvladovanja investicij, tveganja in

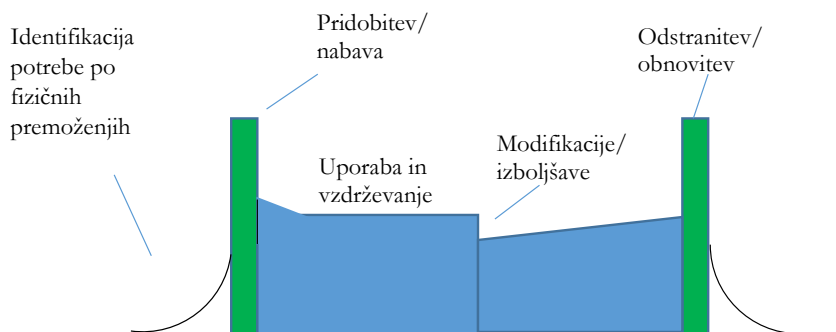
obvladovanja življenjske dobe premoženj (Alsyouf et al., 2021; Maletič, Almeida, et al., 2022; Maletič et al., 2020; Schuman & Brent, 2005).

Obvladovanje premoženja se kot znanstvena disciplina še razvija, vendar so aktivnosti, ki jih prepoznamo kot del tega koncepta, v praksi že dolgo prisotne. Lahko izpostavimo, da obvladovanje premoženja obsega vrsto aktivnosti, upoštevajoč vse faze življenjske dobe premoženja, od planiranja ter do končne odstranitve, predvsem z namenom doseganja poslovnih ciljev organizacije, upoštevanja tehničnih vidikov, upoštevanja zakonskih okvirov in drugih vidikov (Amadi-Echendu, 2004). Področje obvladovanja premoženja tako organizacijam omogoča, da se lažje soočijo z vsakodnevnimi izzivi (Woodhouse, 2007):

- **Silos efekt** (*angl. Silo effect*) – pomanjkanje komunikacije in sodelovanja med oddelki pogosto lahko povzroči, da v organizacijah ne izkoristijo vrednosti tekom celotnega življenjskega cikla v dovolj veliki meri. Obvladovanje premoženja odpravlja pojav tega efekta, saj je sodelovanje med oddelki bistvenega pomena pri tem konceptu.
- **Kratkotrajnost** (*angl. Short-termism*) – pogosto se zgodi, da se pri vsakodnevnem odločanju zamegli dolgoročna usmeritev, kar pomeni, da se osredotočamo na kratkoročne rezultate na račun dolgoročnih interesov. Dolgoročna osredotočenost ob upoštevanju negotovosti in tveganja vsekakor organizaciji lahko prinese koristi. Obvladovanje premoženja v svoji zasnovi upošteva celotno življenjsko dobo premoženja, kar pomeni, da že v fazi načrtovanja razmišljamo vnaprej. Slednje nam omogoča, da lažje dosegamo cilje organizacije.
- **Individualna obravnava fizičnih premoženj** – v organizacijah se pogosto zgolj individualno obravnavajo posamezna fizična premoženja. Vendar praksa kaže, da lahko največ koristi pridobimo, če upoštevamo bolj celostni vidik in obravnavamo premoženja kot sistem. V tem primeru nam obvladovanje premoženja nudi podporo, saj v organizacijah spodbuja upoštevanje celostnega vidika in s pomočjo tega koncepta vzpostavimo celoten sistem (vključujoč primerno politiko, plane, cilje, upoštevanje vidikov tveganja in varnosti ipd.), ki omogoča doseganje strateških ciljev organizacije.

- **Kratkoročna zavzetost** – dobre ideje lahko postanejo kratkotrajna »navdušenost« iz različnih vzrokov. Nova ideja lahko povzroči zmanjšanje zagona na prejšnjih usmeritvah, kar je še posebej izrazito pri menjavi vodij projektov. Nadalje, lahko smo navdušeni nad novimi idejami, vendar navdušenje hitro pojenja, ko to postane naše vsakodnevno delo. Še več lahko povzroči dodatno obremenitev, če še vedno opravljamo vse tekoče delo, ki smo ga imeli v preteklosti. Če želimo nenehno izkazovati stalno izboljševanje obvladovanja premoženja, moramo vzpostaviti sistem, ko izboljšanje neke aktivnosti pomeni, da ta aktivnost postane nova »obstoječa« aktivnost in na ta način tako vzpostavimo proces nenehnega izboljševanja (na primer po metodi PDCA). Na tem mestu bi izpostavili, da je obvladovanje premoženja dovolj zrel koncept, ki omogoča transformacijo organizacije na način, da vzpostavi primerno kulturo nenehnega izboljševanja.

V stroki je pogosto zaslediti rek »od zibelke do groba« (angl. cradle to grave) tudi na področju obvladovanja premoženja. Vendar, če upoštevamo zgoraj navedene izzive, lahko ugotovimo, da nas tovrstno razmišljanje vodi do napačnega razumevanja. Proces obvladovanja premoženja se ne začne šele, ko dobimo premoženje v organizacijo, vendar že prej, tj. v fazi identifikacije oziroma načrtovanja. Pa vendar je treba razumeti, da je pogosto zelo težko ločevati posamezne faze uporabne/življenjske dobe premoženja (slika 7), ki lahko poteka od načrtovanja do končne odstranitve ali pa ga po določenem časovnem obdobju obnovimo, delno modificiramo oziroma lahko celo menjamo lastništvo ipd. Z vidika obvladovanja premoženja je torej zelo pomembno, da se zavedamo različnih faz, saj je eden ključnih ciljev ustvarjanje vrednosti skozi celotno uporabno oziroma življenjsko dobo premoženja oziroma z drugimi besedami, dokler imamo premoženje v svojem lastništvu, kar je tudi skladno z usmeritvami SIST ISO 55001:2014.



Slika 7. Faze življenjske dobe premoženja

Vir: lasten.

Zaključek

Namen poglavja je predstaviti področje obvladovanja premoženja, sodobne standarde na tem področju, odgovoriti na nekatere izzive in priložnosti, s katerimi se organizacije srečujejo pri implementaciji sistema obvladovanja premoženja. Kot smo izpostavili v pričujočem poglavju, obvladovanje premoženja omogoča organizaciji ustvarjati vrednost iz premoženj pri doseganju njenih organizacijskih ciljev. Ravno tako nudi organizaciji pomoč pri številnih izzivih, kot so starajoča se premoženja, podaljševanje uporabne dobe premoženja, zahteve končnih uporabnikov po ustrezni ravni storitev z nižjimi stroški in tveganji. Lahko zaključimo z navedbo, da sistem obvladovanja premoženja (skladno z usmeritvami SIST ISO 55001:2014) ustvari okolje za bolj učinkovito vodenje, usklajevanje in aktivnosti pri obvladovanju premoženja. Sistem pri tem nudi boljše obvladovanje tveganja in zagotavlja, da bodo cilji obvladovanja premoženja stalno doseženi. Organizacija z omenjenim sistemom lažje optimira ravnovesje med poslovnimi odhodki (OPEX) in kapitalskimi izdatki (CAPEX).

Literatura

Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D., & Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, 75, 101354. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101354>

- Alsyouf, I., Alsuwaidi, M., Hamdan, S., & Shamsuzzaman, M. (2021). Impact of ISO 55000 on organisational performance: Evidence from certified UAE firms. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(1–2), 134–152. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1537750>
- Amadi-Echendu, J. E. (2004). Managing physical assets is a paradigm shift from maintenance. *2004 IEEE International Engineering Management Conference (IEEE Cat. No.04CH37574)*, 3, 1156–1160 Vol.3. <https://doi.org/10.1109/IEMC.2004.1408874>
- Amadi-Echendu, J. E., Willett, R., Brown, K., Hope, T., Lee, J., Mathew, J., Vyas, N., & Yang, B.-S. (2010). What Is Engineering Asset Management? In J. E. Amadi-Echendu, K. Brown, R. Willett, & J. Mathew (Eds.), *Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management* (pp. 3–16). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3_1
- BSI PAS 55-1. (2008). *Asset Management. Part 1: Specification for the optimised management of physical assets*. British Standards Institution.
- Dooley, P. C. (2005). *The labour theory of value*. Routledge.
- GFMAM. (2016). *The Value of Asset Management to an Organization*.
- Ghosh, D. (2010). *Capital markets and financial assets: Decisions on acquisition and issuance of securities*. LAP Lambert Academic publishing.
- ISO 9001. (2015). *Quality management systems—Requirements (ISO 9001:2015)*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 14001. (2015). *Environmental management systems—Requirements with guidance for use (ISO 14001:2015)*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 31000. (2018). *Risk Management – Guidelines*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 55000. (2014). *Asset management—Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 55001. (2014). *Asset management—Management systems—Requirements*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 55002. (2018). *Asset management—Management systems—Guidelines for the application of ISO 55001*. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO/TC 251. (n.d.-a). *ISO/TS 55010:2019 Asset Management—Guidance on alignment of asset management, finance and accounting*. Retrieved March 17, 2022, from <https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/published/isots-55010.html>
- ISO/TC 251. (n.d.-b). *Known Certified Organizations*. Retrieved March 16, 2022, from <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/known-certified-organizations.html>
- ISO/TS 55010. (2019). *Asset management—Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management*. International Organization for Standardization (ISO).
- Klonowski, D. (2014). *Strategic entrepreneurial finance: From value creation to realization*. Routledge.
- Komljenovic, D., Messaoudi, D., Côté, A., Gaha, M., Vouligny, L., Alarie, S., Dems, A., & Blancke, O. (2021). Asset Management in Electrical Utilities in the Context of Business and Operational Complexity. In A. Crespo Márquez, D. Komljenovic, & J. Amadi-Echendu (Eds.), *14th WCEAM Proceedings* (pp. 34–45). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_4
- Lepak, D. P., Smith, K. G., & Taylor, M. S. (2007). Value Creation and Value Capture: A Multilevel Perspective. *Academy of Management Review*, 32(1), 180–194. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.23464011>
- Liyanage, J. P. (2012). Smart Engineering Assets Through Strategic Integration: Seeing Beyond the Convention. In T. Van der Lei, P. Herder, & Y. Wijnia (Eds.), *Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective* (pp. 11–28). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2724-3_2
- Maletič, D., Almeida, N. M., Gomišček, B., & Maletič, M. (2022). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: An empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control, Accepted for Publication*.

- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2018). Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. *Sustainability*, 10(12), 4759. <https://doi.org/10.3390/su10124759>
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2020). An Analysis of Physical Asset Management Core Practices and Their Influence on Operational Performance. *Sustainability*, 12(21), 9097. <https://doi.org/10.3390/su12219097>
- Maletič, D., Pačaiová, H., Nagyová, A., & Maletič, M. (2022). *The Changing Role of Maintenance in Physical Asset Management: Lessons From the Slovenian Case Study* [Chapter]. Cases on Optimizing the Asset Management Process; IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7943-5.ch014>
- Pacaiova, H., Glatz, J., & Kacvinsky, S. (2012). Positive and negative aspect in application of maintenance management philosophy. *Journal of Applied Engineering Science*, 10(2), 99–105. <https://doi.org/10.5937/jaes10-2131>
- Payne, A., & Holt, S. (2001). Diagnosing Customer Value: Integrating the Value Process and Relationship Marketing. *British Journal of Management*, 12(2), 159–182. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00192>
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press, New York.
- 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. <https://doi.org/10.1108/01443570510599728>
- Sheth, J. N., Newman, B. I., & Gross, B. L. (1991). Why we buy what we buy: A theory of consumption values. *Journal of Business Research*, 22(2), 159–170. [https://doi.org/10.1016/0148-2963\(91\)90050-8](https://doi.org/10.1016/0148-2963(91)90050-8)
- SIST EN ISO 56000. (2021). *Innovation management—Fundamentals and vocabulary (ISO 56000:2020)*. International Organization for Standardization (ISO).
- Trindade, M., Almeida, N., Finger, M., & Ferreira, D. (2019). Design and Development of a Value-Based Decision Making Process for Asset Intensive Organizations. In J. Mathew, C. W. Lim, L. Ma, D. Sands, M. E. Cholette, & P. Borghesani (Eds.), *Asset Intelligence through Integration and Interoperability and Contemporary Vibration Engineering Technologies* (pp. 605–623). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95711-1_60
- Wang, L., Chu, J., & Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.005>
- Woodhouse, J. (2007). Asset Management: Joining up the jigsaw puzzle – PAS 55 standards for the integrated management of assets. *Maint. Eng., Sept/Oct*, 12–16.
- Yi, Y., & Gong, T. (2013). Customer value co-creation behavior: Scale development and validation. *Journal of Business Research*, 66(9), 1279–1284. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.02.026>

KLJUČNI KAZALNIKI UČINKOVITOSTI IN USPEŠNOSTI VZDRŽEVANJA: IZZIVI IN PRILOŽNOSTI

DAMJAN MALETIČ, ALENKA BREZAVŠČEK

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
damjan.maletic@um.si, alenka.brezavscek@um.si

Sinopsis Konkurenčnost delovno intenzivne industrije je močno odvisna od zanesljivosti, razpoložljivosti in produktivnosti njihovih proizvodnih sistemov. Z namenom doseganja zelenih ciljev na področju vzdrževanja in obvladovanja premoženja morajo managerji nenehno spremljati učinkovitost in uspešnost procesov v organizaciji. Slednje lahko dosežejo s primernim sistemom, ki vključuje kazalnike za merjenje in spremljanje učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja. Namen poglavja je opredeliti različna vprašanja in izzive, povezane z razvojem in izvajanjem sistema za spremljanje in merjenje učinkovitosti procesov vzdrževanja. V prispevku je podan pregled različnih kvantitativnih kazalnikov. Ravno tako so podane smernice za vzpostavitev primerne sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti na področju vzdrževanja.

Ključne besede:

vzdrževanje,
kazalniki,
učinkovitost in
uspešnost,
izzivi,
priložnosti

KEY PERFORMANCE INDICATORS OF MAINTENANCE PERFORMANCE: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

DAMJAN MALETIČ, ALENKA BREZAVŠČEK

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
damjan.maletic@um.si, alenka.brezavscek@um.si

Abstract The competitiveness of asset-intensive industries depends heavily on the reliability, availability and productivity of their production systems. To achieve desired maintenance and asset management objectives, managers must continuously monitor the efficiency and effectiveness of business processes. The latter can be achieved through an appropriate system that includes indicators to measure and monitor maintenance performance. The purpose of this chapter is to identify the various issues and challenges associated with developing and implementing a system for measuring maintenance performance. An overview of the various key performance indicators is provided. Guidance on establishing an appropriate system for measuring maintenance performance are presented as well.

Keywords:

maintenance,
indicators,
performance,
challenges,
opportunities

1 Uvod

Vse večja globalna konkurenca in povečevanje zahtev zainteresiranih udeležencev so razlogi, da organizacije nenehno stremijo k izboljšanju produktivnosti (Muchiri et al., 2011). Konkurenčnost organizacije je v veliki meri odvisna od zanesljivosti in razpoložljivosti proizvodnega procesa (Madu, 2000). V takšnih sistemih se napredne operativne proizvodne tehnologije združujejo s sodobnimi informacijskimi in komunikacijskimi tehnologijami za povezovanje in usklajevanje operativnih virov, procesov in dejavnosti, da bi ustvarili tok operacij z dodano vrednostjo, namenjenih pridobivanju in ohranjanju konkurenčne prednosti. Zaradi vse večje zapletenosti, obsega in organizacijske vloge naprednih operativnih proizvodnih tehnologij postaja vzdrževanje teh tehnologij zelo pomembno za konkurenčno sposobnost organizacije (Gomes et al., 2020; Simões et al., 2011). Čeprav proizvodnjo načrtujemo tako, da zagotavlja uspešno izvajanje delovnih postopkov, so sredstva takoj, ko jih začnemo uporabljati, podvržena obrabi. Posledično nastopijo odpovedi in neplanirani zastoji, kar vpliva na upad nivoja kakovosti proizvodov, povečanje okoljskih problemov ter povečanje negativnih vplivov na varnost v delovnem okolju (Al-Najjar, 2007; Muchiri et al., 2011). Zastoji v proizvodnji, odpovedi, prekinitve napajanja, pomanjkanje delovne sile, pomanjkanje materialov zaradi motenj v dobavi in drugi poslovni dejavniki neposredno ali posredno vplivajo na raven proizvodnje. Slednje lahko negativno vpliva na stroške proizvodnje, konkurenčnost ter dobičkonosnost organizacije (Al-Najjar, 2007; Maletič et al., 2014). Mnogi avtorji (npr. Cooke, 2000) so izpostavili dejstvo, da je vzdrževanje sredstev in s tem zagotavljanje želenega nivoja zanesljivosti in razpoložljivosti pomemben dejavnik, ki organizacijam omogoča doseganje zastavljenih zahtev kakovosti. Pri tem je zelo pomembno, da v organizaciji poznajo način, kako ustrezno ovrednotiti učinke procesov vzdrževanja z vidika doseganja ciljev proizvodnje (Parida & Chattopadhyay, 2007).

Brez ustreznega postavljenega sistema za merjenje in spremljanje učinkovitosti in uspešnosti procesov vzdrževanja organizacije težko planirajo, spremljajo in izboljšujejo svoje temeljne procese. Merjenje in spremljanje učinkovitosti in uspešnosti procesov vzdrževanja tako postaja zelo pomemben dejavnik v vsaki organizaciji (Åhrén & Parida, 2009; Kamble et al., 2020; Parida & Stenström, 2021). Uspešnost vzdrževanja je predvsem odvisna od odločitev na različnih ravneh organizacije. Na strateški ravni na primer potekajo odločitve o organiziranosti ter

obliki oziroma politiki vzdrževanja v organizaciji. Sledijo odločitve o proračunu za izvajanje vseh dejavnosti vzdrževanja in nenazadnje odločitve na operativni ravni o vseh potrebnih dejavnostih za izvedbo posameznih vzdrževalnih del (Parida & Chattopadhyay, 2007). Za doseganje zelene uspešnosti pa so ključnega pomena primerno izbrani kazalniki, ki omogočajo, da identificiramo vrzel med trenutnim in želenim stanjem ter tako s pravnimi odločitvami zagotovimo uspešno doseganje postavljenih ciljev (Muchiri et al., 2011).

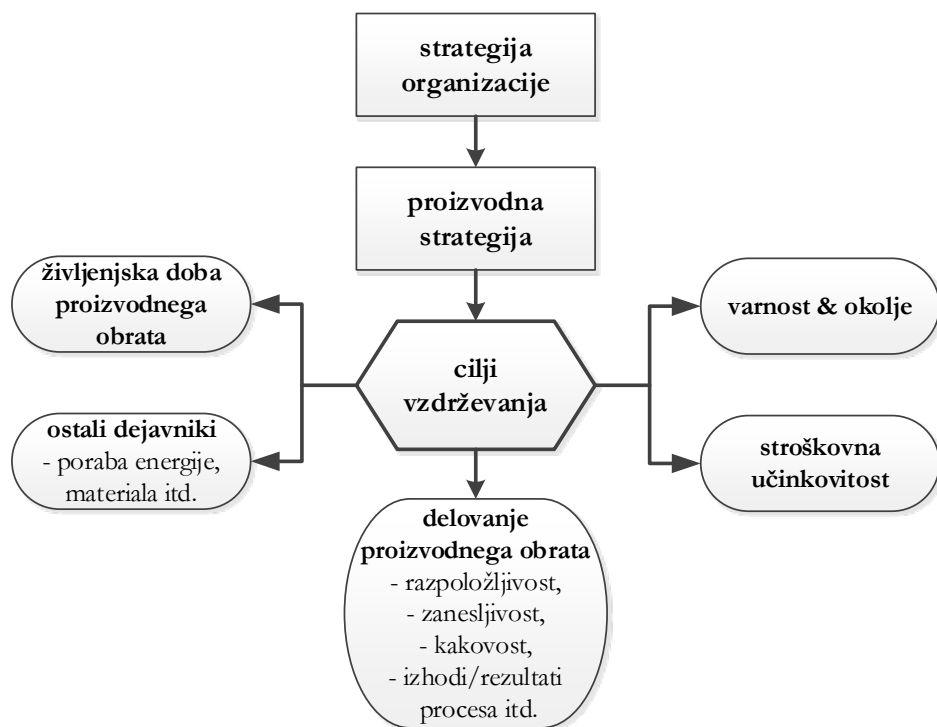
Vedno, ko govorimo o ocenjevanju učinkovitosti in uspešnosti, si lahko postavimo vprašanje, kaj meriti in na kakšen način. Slednje je še posebej pomembno z vidika praktičnosti in stroškovne učinkovitosti (Neely, 1999). Preko ocenjevanja oziroma vrednotenja si organizacija pridobi podatke za odločanje. Za učinkovito odločanje namreč potrebujemo kakovostne podatke, s katerimi lahko spremljamo obstoječe stanje, in se na njihovi podlagi odločamo, vse z namenom uspešnega doseganja ciljev (Al-Najjar, 2012). Če povzamemo definicijo obvladovanja premoženja po standardu za področje obvladovanja premoženja (SIST ISO 55000: 2014), ki obvladovanje premoženja opredeljuje kot »sistematične in koordinirane aktivnosti, skozi katere organizacija optimalno in trajnostno obvladuje svoja premoženja in sistem za njihovo obvladovanje, njihovo učinkovitost in uspešnost, tveganje in stroške skozi celotni življenjski cikel z namenom doseganja strateškega plana organizacije«, lahko sklepamo, da je spremljanje in ocenjevanje bistvenega pomena, da ugotovimo, ali uspešno sledimo ciljem organizacije oziroma ali dosegamo željeno učinkovitost in uspešnost na področju vzdrževanja in obvladovanja premoženja (Maletič, Maletič, et al., 2020; Maletič, Pačaiová, et al., 2020).

S pričujočim prispevkom želimo vsaj deloma zapolniti vrzel pomanjkanja slovenske literature, vezane na kazalnike uspešnosti in učinkovitosti vzdrževanja, in tako približati pomembno tematiko zainteresiranemu bralcu. Prispevek je organiziran na naslednji način: najprej obravnavamo vlogo vzdrževanja v organizaciji, nato nanizamo ključne kvantitativne kazalnike, primerne za spremljanje področja vzdrževanja. Izpostavimo dve skupini kazalnikov, t. i. kazalnike planiranja in kazalnike realizacije. Nato podamo nekaj smernic za uspešno implementacijo izbranih kazalnikov v prakso ter opozorimo na možnost vpeljave lastnih kombiniranih (t. i. kompozitnih) kazalnikov. Sledi diskusija o pomembnosti uvajanja in spremljanja kazalnikov v procesih vzdrževanja, kjer so izpostavljeni ključni izzivi ter priložnosti, ki se sodobnim organizacijam ponujajo.

Vloga vzdrževanja v proizvodni organizaciji

Vzdrževanje v proizvodnem okolju opredeljujejo različne definicije. Na primer: britanski inštitut za standarde opredeljuje vzdrževanje kot kombinacijo tehničnih in drugih dejavnosti, potrebnih za ohranjanje opreme in delovnih sredstev v zelenem stanju oziroma njihovo vrnitev v to stanje (BSI, 1984). Da bi zagotovili delovanje proizvodnje na zelenem nivoju in sledili ciljem proizvodnje ob čim nižjih stroških, je zelo pomembno, da management sprejema pravilne odločitve, tudi v povezavi z izvajanjem vzdrževalnih aktivnosti. Predvsem je ključnega pomena, da postavitve ciljev in politike vzdrževanja poteka v skladu s strategijo proizvodnje (Swanson, 2001). Visser in Pretorius (2003) ravno tako navajata, da so cilji vzdrževanja povezani s postavljenimi cilji proizvodnje (skozi doseganje visoke razpoložljivosti) pri željeni kakovosti in znotraj zahtev o stanju in varnosti proizvodnje. Kot je prikazano na sliki 1, avtorji (Muchiri et al., 2011) v svoji raziskavi definirali cilje vzdrževanja v okviru petih različnih elementov: zagotavljanje delovanja proizvodnega obrata (razpoložljivost, zanesljivost, kakovost itd.); zagotavljanje doseganja načrtovane življenjske dobe obrata; zagotavljanje okoljske varnosti in varnosti na delovnem mestu; zagotavljanje stroškovne učinkovitosti in učinkovite rabe virov. Da bi merjenje učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja uporabili za spodbujanje pozitivnih in proaktivnih organizacijskih sprememb, mora biti sistem za merjenje učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja zasnovan tako, da spremlja in izboljšuje različne vidike na področju vzdrževanja. Proces bi moral biti torej vođen z vključevanjem kritičnih dejavnikov uspešnosti, ki izhajajo iz splošne organizacijske strategije (Tsang et al., 1999).

Glede na pomembnost posameznih področij in definiranje ciljev vzdrževanja, ki morajo biti v skladu s cilji proizvodnje, je odvisno, katere kazalnike bo organizacija izbrala za merjenje in spremljanje učinkovitosti in uspešnosti posameznih izbranih področij.



Slika 1: Cilji vzdrževanja

Vir: (prirejeno po Muchiri et al., 2011)

Merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov vzdrževanja

Merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov je temeljno načelo managementa. Kot pri ostalih funkcijah v organizaciji je tudi na področju vzdrževanja merjenje učinkovitosti in uspešnosti zelo pomembno z vidika uspešnega vodenja vzdrževanja (Muchiri et al., 2011). Slednje je pomembno predvsem z vidika praktičnosti in stroškovne učinkovitosti (Neely, 1999). Koristno se je tudi vprašati, katere so najbolj pogoste napake organizacij pri implementiranju sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov. Pogosto se problem odraža v implementaciji sistema, ki je usmerjen v nenehni razvoj in uporabo vedno novih kazalnikov, zlasti v primerih, ko organizacija postavi nove prioritete. Slednje pogosto vodi v neučinkovitost sistema merjenja učinkovitosti in uspešnosti (Parida & Chattopadhyay, 2007). Nenehne spremembe kazalnikov otežujejo konsistentnost in primerljivost pridobljenih podatkov v primerjavi s predhodnimi meritvami.

Pomemben dejavnik za uspešno implementacijo sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja je tudi ta, da so kazalniki jasno definirani (in posledično pravilno razumljeni) ter da se pravočasno v organizaciji zagotovijo vsi podatki, ki so za izračun vrednosti izbranih kazalnikov potrebni. Za učinkovito odločanje namreč potrebujemo kakovostne podatke, s katerimi lahko spremljamo obstoječe stanje in se na njihovi podlagi odločamo, vse z namenom uspešnega doseganja ciljev organizacije (Al-Najjar, 2012). Primerno definiran in implementiran sistem organizacijam omogoča tudi, da lahko na osnovi primernih in kakovostnih podatkov nenehno, tj. s pomočjo Demingovega PDCA kroga, izboljšujejo procese vzdrževanja (Maletič et al., 2012).

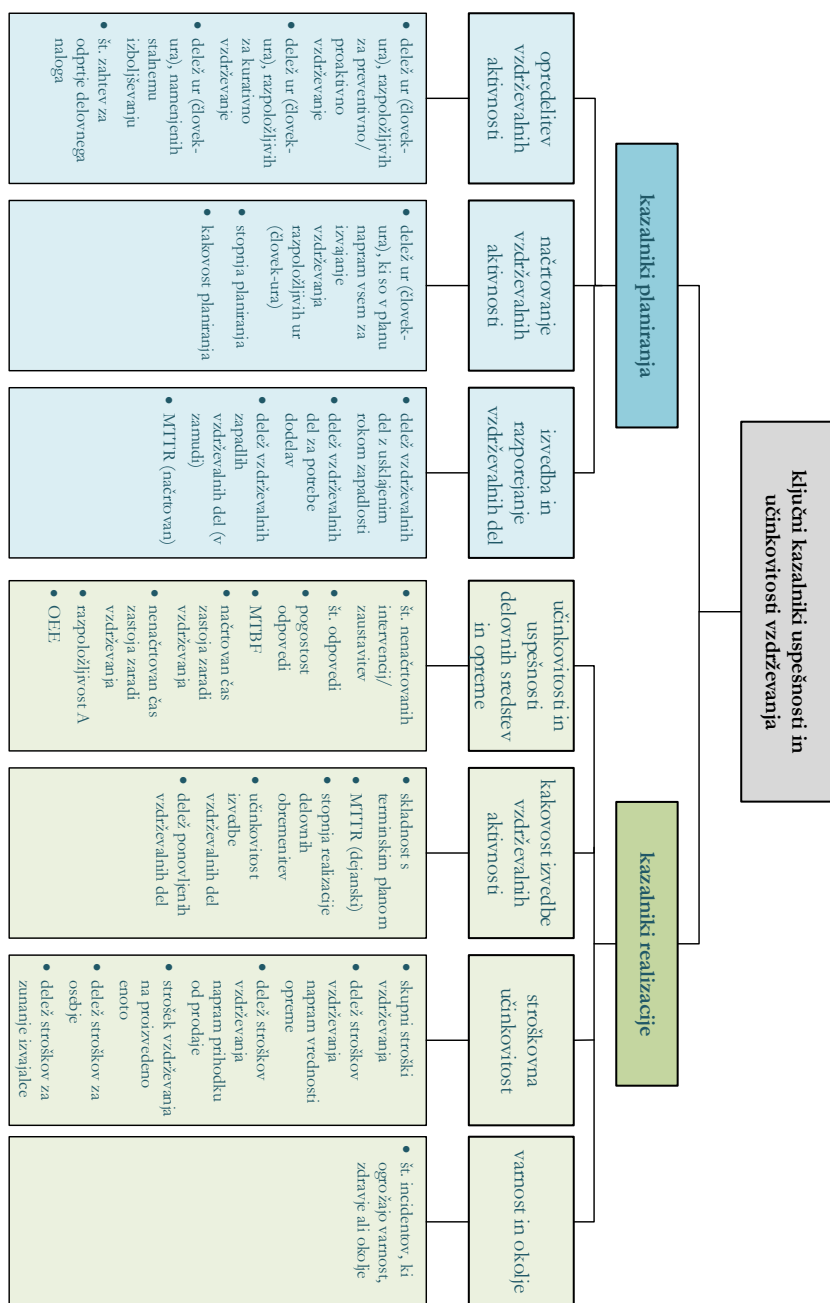
Kvantitativni kazalniki uspešnosti in učinkovitosti vzdrževanja

V nadaljevanju je podan izbor nekaterih ključnih kvantitativnih kazalnikov (angl. key performance indicators, KPI), ki so pomembni pri razvoju in izvajanju primerne sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov vzdrževanja. Proces vzdrževanja bodo učinkoviti in uspešni, če bodo pravilno in ustrezno načrtovani in če bodo pravilno in ustrezno izvedeni. Učinkovitost in uspešnost vzdrževalnih procesov je tako smiselno meriti v dveh fazah: v fazi načrtovanja oz. planiranja (vnaprej) in po sami izvedbi oz. realizaciji aktivnosti (za nazaj).

Izhajajoč iz literature (Muchiri et al., 2011; Muchiri et al., 2010; Parida & Chattopadhyay, 2007), se kazalniki, ki vrednotijo učinkovitost in uspešnost aktivnosti v fazi načrtovanja vzdrževalnih aktivnosti, nanašajo predvsem na opredelitev in načrtovanje vzdrževalnih aktivnosti ter na načrtovanje izvedbe in razporejanje vzdrževalnih del. To skupino kazalnikov smo poimenovali »**kazalniki načrtovanja**« (angl. leading indicators).

Druga skupina kazalnikov je osredotočena na spremljanje rezultatov procesov vzdrževanja v smislu učinkovitosti in uspešnosti vzdrževalnih del, kakovosti izvedbe, stroškovne učinkovitosti in morebitnih negativnih vplivov na varnost, zdravje in okolje. Slednjo skupino kazalnikov smo poimenovali »**kazalniki realizacije**« (angl. lagging indicators).

Sistematičen pregled kvantitativnih kazalnikov uspešnosti in učinkovitosti vzdrževanja podaja slika 2.



Slika 2: Sistematičen pregled kvantitativnih kazalnikov uspešnosti in učinkovitosti vzdrževanja

Vir: (prirejeno po Muchiri et al., 2010)

V tabeli 1 so izpostavljeni in podrobneje opisani ključni kazalniki planiranja, v tabeli 2 pa ključni kazalniki realizacije. Kjer je možno in smiselno, smo v tabelah podali tudi enačbe za izračun posameznega kazalnika.

Tabela 1: Ključni kazalniki planiranja

Kategorija	Kazalnik	Merska enota	Opis/izračun
opredelitev vzdrževalnih aktivnosti	delež preventivnih in/ali proaktivnih vzdrževalnih del	%	$\frac{\text{število ur (človek-ura), načrtovanih za preventivna in/ali proaktivna vzdrževalna dela}}{\text{število vseh razpoložljivih vzdrževalnih ur (človek-ura)}}$
	delež kurativnih vzdrževalnih del	%	$\frac{\text{število ur (človek-ura), načrtovanih za kurativna vzdrževalna dela}}{\text{število vseh razpoložljivih vzdrževalnih ur (človek-ura)}}$
	delež stalnega izboljševanja	%	$\frac{\text{število ur (človek-ura), načrtovanih za izboljšave}}{\text{število vseh razpoložljivih vzdrževalnih ur (človek-ura)}}$
načrtovanje vzdrževalnih aktivnosti	stopnja planiranja	%	$\frac{\text{št. vzdrževalnih ur (človek-ura), zajetih v planu}}{\text{število vseh opravljenih vzdrževalnih ur (človek-ura)}}$
	kakovost planiranja	%	$\frac{\text{število delovnih nalogov, ki potrebujejo ponovno planiranje}}{\text{število vseh planiranih delovnih nalogov}}$

Upoštevajoč literaturo z obravnavanega področja (e. g. Weber in Thomas, 2006), smo nato v tabeli 3 podali referenčne vrednosti, ki nudijo organizacijam oporo pri definiranju ciljev in/ali kot benchmarking vrednosti. Referenčnih vrednosti nismo podali za vse kazalnike iz tabel 1 in 2, saj se vrednosti določenih kazalnikov, kot je na primer OEE, v organizacijah gibljejo zelo različno in so odvisne od metodologije izračunavanja. Vrednosti OEE se pri vodilnih organizacijah gibljejo okrog 85 % (Nakajima, 1989).

Tabela 2: Ključni kazalniki realizacije

Kategorija	Kazalnik	Merska enota	Opis/Izračun
učinkovitosti in uspešnosti delovnih sredstev in opreme	število odpovedi	število	število odpovedi; kategoriziranje glede na vzrok nastanka in/ali posledice
	pogostost odpovedi	št. odpovedi/ čas. enota	število odpovedi v obdobju opazovanja ————— kumulativni čas delovanja v obdobju opazovanja
	povprečni čas med odpovedma MTBF	ure	kumulativni čas delovanja v obdobju opazovanja ————— število odpovedi v obdobju opazovanja
	razpoložljivost A	%	$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
	skupna učinkovitost opreme OEE	%	OEE = razpoložljivost × zmogljivost × kakovost
kakovost izvedbe vzdrževalnih del	skladnost s terminskim planom	%	število delovnih nalogov, zaključenih skladno s postavljenim terminskim planom ————— število vseh zaključenih delovnih nalogov
	povprečni čas popravila MTTR	ure	skupni čas popravila ————— število odpovedi
	stopnja realizacije delovnih obremenitev	%	skupni čas, porabljen za vzdrževalna dela ————— število vseh razpoložljivih ur
	učinkovitost izvedbe vzdrževalnih del	%	predviden čas za vzdrževalna dela ————— dejansko porabljen čas
	delež ponovljenih vzdrževalnih del	%	število vzdrževalnih del, ki zahtevajo ponovno izvedbo ————— število vseh opravljenih vzdrževalnih del
	skupni stroški vzdrževanja	denarna enota	skupni stroški preventivnega in kurativnega vzdrževanja
	delež stroškov za osebje	%	skupni stroški osebja ————— skupni stroški vzdrževanja
	delež stroškov za zunanje izvajalce	%	skupna sredstva, namenjena za zunanje izvajalce na področju vzdrževanja ————— skupni stroški vzdrževanja
	strošek vzdrževanja na proizvedeno enoto	denarna enota/ proizv. enota	skupni stroški vzdrževanja ————— skupna proizvedena količina (število izdelkov; tonaža ipd.)

Tabela 3: Priporočene vrednosti nekaterih kazalnikov

Kazalnik	Priporočena vrednost
delež preventivnih in/ali proaktivnih vzdrževalnih del	75 %–80 %
delež kurativnih vzdrževalnih del	10 %–15 %
delež stalnega izboljševanja	5 %–10 %
stopnja planiranja	95 %
kakovost planiranja	< 3 %
skladnost s terminskim planom	> 90 %
realizacija delovnih obremenitev	> 80 %
delež ponovljenih vzdrževalnih del	< 3 %

Poleg predstavljenih kazalnikov velja omeniti tudi pomembnost preostalih kazalnikov, ki jih v zgornjem pregledu nismo posebej navajali. Pri tem bi želeli predvsem izpostaviti kazalnike, povezane z varnostjo na delovnem mestu (npr. spremljanje števila poškodb na delovnih mestih), in kazalnike, ki zadevajo okoljsko problematiko (Maletič et al., 2018; Parida & Chattopadhyay, 2007). Vse bolj pogosto se uporabljajo tudi kazalniki, ki spremljajo zadovoljstvo uporabnikov/kupcev.

Smernice pri izbiri in spremljanju kazalnikov

Za organizacije je pomembno, da si postavijo ustrezen sistem uvajanja in spremljanja kazalnikov, ga uspešno implementirajo in dosledno izvajajo. Predvsem je pomembno, da si v širokem naboru potencialnih kazalnikov izberejo take, ki primerno odražajo njihove specifične potrebe in cilje. Izbor kazalnikov je odvisen od različnih dejavnikov, kot so zainteresirani udeleženci, strateške usmeritve organizacije, proizvodna strategija, in seveda od ciljev, ki izvirajo iz naštetih usmeritev (Åhrén & Parida, 2009). Kontinuirano spremljanje kazalnikov omogoča sledenje zastavljenim ciljem, kar pozitivno doprinese k višjemu nivoju kakovosti, razpoložljivosti, zanesljivosti ter posledično nižjim skupnim stroškov vzdrževanja, ki so pomembna postavka celokupnih stroškov. Poleg tega lahko na podlagi analiz tekom spremljanja izbranih kazalnikov definirane cilje spreminjamo in postavimo nove zahteve ter na ta način uvajamo v procese vzdrževanja stalno izboljševanje.

Pri odločanju na področju vzdrževanja in obvladovanja fizičnega premoženja se pogosto ukvarjamo z različnimi zahtevami. Največ argumentov pri uporabi kazalnikov je podanih z vidika učinkovitega odločanja, kot na primer (Kumar et al., 2013):

- V uporabi naj bo zgolj omejeno število kazalnikov. Prevelika količina lahko vodi v zmanjšano preglednost informacij.
- Informacija, pridobljena na podlagi kazalnikov, mora ustrezati namenu odločanja. To zopet vodi v zmanjšanje števila parametrov in uporabo le tistih kazalnikov, ki jih potrebujemo za učinkovito odločanje.
- Z vidika globalne konkurence pogosto potrebujemo povezavo med obvladovanjem fizičnega premoženja in dobičkonosnostjo organizacije. To pomeni, da potrebujemo tudi kazalnike, ki povezujejo ti dve področji in ne zgolj posamezne kazalnike za področje obvladovanja fizičnega premoženja.

V praksi se pogosto ukvarjamo tudi s problemom nezadovoljive kakovosti podatkov, potrebnih za izračun kazalnikov. Pogost primer je, da določenih podatkov niti ne spremljamo oziroma so težko dosegljivi, zato je izziv pretvoriti, združiti podatke v informacijo za odločevalce (Kumar et al., 2013). Tako se zgodi, da smo zaradi pomanjkanja ustreznih podatkov prisiljeni več kazalnikov združiti v eno merilo. Tako pridemo do t. i. kompozitnih kazalnikov, ki jih predstavljamo v nadaljevanju.

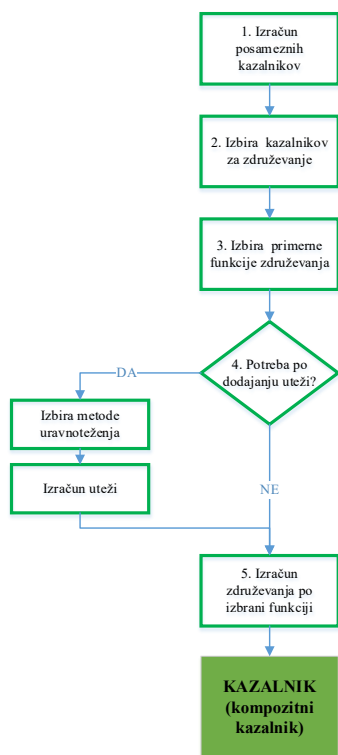
Kompozitni kazalniki

Tako v literaturi kot v praksi so zagovorniki in nasprotniki združevanja posameznih kazalnikov. Argument, ki nasprotuje preveliki količini združenih kazalnikov v eno merilo, je, da se pri tovrstnem načinu lahko določena količina informacij izgubi. Po drugi strani pa je veliko zagovornikov, ki so mnenja, da je kompozitne kazalnike lažje razumeti. Hkrati nam le-ti podajo širšo sliko o področju, ki je predmet odločanja. Managerji na področju obvladovanja fizičnega premoženja vse pogosteje izkazujejo interes za uporabo različnih kompozitnih kazalnikov, vključno s finančnimi (Galar et al., 2014). Na primer: proračun, namenjen za vzdrževanje v povezavi z nadomestno vrednostjo, je primer kompozitnega kazalnika, ki je zelo pomemben pri odločanju o renovaciji. Nadalje, razmerje med parametri vzdrževanja in parametri proizvodnje (npr. stroški proizvodnje) podajo širši vpogled na področje vzdrževanja. V standardu SIST EN 15341:2019 in literaturi na področju kazalnikov vzdrževanja

in obvladovanja premoženja lahko najdemo veliko tovrstnih primerov združevanja, manj pa je zaznati primerov, ko je združenih več parametrov.

Vsaka organizacija bi si lahko za potrebe bolj učinkovitega odločanja zgradila določene lastne kazalnike, ki bi jih lahko uporabila za namene odločanja za interni benchmarking. Postopek izgradnje lastnih kazalnikov je ponazorjen na sliki 3. Za relativno primerjavo oziroma benchmarking sicer priporočamo uporabo standardnih kazalnikov, vendar pa se lahko pojavi potreba po določeni informaciji, ki je pa v standardih in literaturi ne najdemo.

Generični proces razvoja novih kazalnikov, ki je ponazorjen na sliki 3, nas vodi skozi različne korake do končnega kompozitnega kazalnika. Najprej izvedemo izračun posameznih kazalnikov. Ko imamo le-te izračunane, moramo izbrati kazalnike, ki jih bomo združili v novo merilo.



Slika 3: Proces združevanja kazalnikov

Vir: (prirejeno po Galar et al., 2014)

Pri razvoju novih kazalnikov moramo upoštevati nekaj splošnih usmeritev:

- za posamezna področja interesa moramo izbrati reprezentativne kazalnike; v nasprotnem primeru se zgodi, da v model ne vključimo vseh relevantnih spremenljivk;
- upoštevati moramo problem multikolinearnosti, saj se lahko zgodi, da vključimo spremenljivke, ki zelo močno korelirajo; to je predvsem pomembno, kadar združujemo različne vidike učinkovitosti in uspešnosti (npr. interes je, da smo učinkoviti in uspešni na področju politike vzdrževanja) itd.;
- zatem moramo izbrati primerno funkcijo, pri čemer lahko uporabimo različne matematične oziroma računske operacije. Po potrebi dodamo uteži in izračunamo kazalnik.

Ko kreiramo nov kazalnik, obstaja lahko vrsta različnih kombinacij. Primer na novo zgrajenega kazalnika bi lahko bila kombinacija standardnega kazalnika ter mnenja zaposlenih o določenem področju (pridobljenega preko anket). V nadaljevanju predstavljamo primer tovrstnega kompozitnega kazalnika za področje usposabljanja vzdrževalcev.

S pomočjo kazalnika lahko izračunamo, koliko časa namenjamo za preventivno vzdrževanje glede na celotni obseg vzdrževanja. Če dodamo še vidik zaposlenih o izvajanju preventivnega vzdrževanja, dobimo nov kompozitni kazalnik, ki združuje objektivno merilo ter mnenje zaposlenih o učinkovitosti izvajanja aktivnosti preventivnega vzdrževanja. Za pridobitev mnenja zaposlenih predlagamo uporabo ankete, s pomočjo katere zaposleni odgovarjajo na vprašanja. Vprašanja, ki jih izberemo za določeno področje, naj ne bodo preobsežna. Pripravimo jih v obliki trditev, anketirani pa nato strinjanje s posamezno trditvijo ocenijo s pomočjo 5-stopenjske Likertove lestvice, kjer 1 pomeni »sploh se ne strinjam«, 5 pa pomeni »v celoti se strinjam«. Kompozitne kazalnike lahko uporabimo na različnih nivojih vzdrževanja (npr. vodja vzdrževanja, nadzornik, tehnik ipd.). Za večjo enotnost predlagamo razdelitev, skladno z usmeritvami SIST EN 15628: 2014.

Izzivi in priložnosti merjenja učinkovitosti in uspešnosti na področju vzdrževanja

Kot smo že izpostavili v prispevku, je merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov zelo pomembno z vidika uspešnega vodenja. Za uspešno izvajanje le-tega moramo poznati nekatera ključna področja, ki so pomembna z vidika uspešne implementacije ustreznega sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov obvladovanja fizičnih sredstev.

Identifikacija ključnih kazalnikov

Namen kazalnikov je meriti in oceniti učinkovitost in uspešnost organizacije, začenši s cilji na strateškem nivoju do upoštevanja učinkovitosti in uspešnosti na operativnem nivoju. Pomembno je, da s kazalniki sledimo tako imenovanim SMART kriterijem določanja ciljev (Parida & Kumar, 2006): torej, da merimo določen/specifičen namen (S - specific), da so cilji merljivi (M - measurable) in dosegljivi (A - attainable), realistični (R - relevant) ter da so vsi cilji umeščeni v časovne okvirje (T - time-bound). Pomembno je tudi, da strateške cilje razgradimo na objektivne cilje za področje vzdrževanja in obvladovanja fizičnih premoženj. Zavedati se moramo tudi povezanosti kazalnikov oziroma doseganja izidov na operativnem nivoju s strateškimi cilji organizacije (Parida & Chattopadhyay, 2007). Vloga kazalnikov znotraj sistema za merjenje učinkovitosti in uspešnosti je torej podpora za določitev:

- namena merjenja oziroma za določitev, kaj meriti,
- kako meriti ter
- kako interpretirati podatke, ki nam služijo za pomoč pri odločanju.

Povezanost kazalnikov s cilji organizacije

Kot že omenjeno v prejšnjem poglavju, moramo podatke, ki jih pridobimo preko uporabljenih kazalnikov, pretvoriti v informacije, iz katerih je razvidno doseganje ciljev, upoštevajoč celotno hierarhično strukturo v organizaciji. To na primer pomeni, da ustrezno povežemo tehnične vidike strategije vzdrževanja (npr. vzdrževanje glede na stanje) na operativnem nivoju z uspešnostjo organizacije na

strateškem nivoju (Al-Najjar, 2007; Maletič et al., 2014). Nadalje, na strateški ravni lahko potekajo odločitve o organiziranosti, obliki oziroma politiki obvladovanja fizičnega premoženja, sledijo odločitve o proračunu za izvajanje teh dejavnosti, in nenazadnje odločitve na operativni ravni o vseh potrebnih dejavnostih, povezanih s procesom vzdrževanja (Parida & Chattopadhyay, 2007) in s procesom obvladovanja fizičnega premoženja (Maletič, Maletič, et al., 2020; Maletič et al., 2022).

Razumevanje vnaprejšnjih kazalnikov in kazalnikov z zamikom

Vsak sistem za merjenje učinkovitosti in uspešnosti procesov vzdrževanja in obvladovanja fizičnega premoženja mora vsebovati nabor kazalnikov rezultatov (kazalniki realizacije) ter kazalnike, s katerimi lahko načrtujemo in posledično spremljamo uspešnost izvajanja dejavnosti vzdrževanja (kazalniki planiranja). Za primer si vzemimo kazalnik MTBF ter delež preventivnega vzdrževanja. V praksi to pomeni, da MTBF predstavlja kazalnik realizacije, dočim delež preventivnega vzdrževanja lahko povežemo s kazalniki načrtovanja. Slednje pomeni, da če želimo biti dobri v prvem, moramo vlagati v drugega. Ali povedano drugače, za doseganje željenih časov MTBF moramo vlagati v preventivno vzdrževanje.

Poznavanje dejavnikov, ki spodbujajo in zavirajo učinkovitost in uspešnost

Že pred nekaj desetletji sta Kaplan in Norton (1992) opredelila dejavnike, ki predstavljajo gonilo učinkovitosti in uspešnosti (angl. performance drivers), in dejavnike, ki zavirajo učinkovitost in uspešnost (angl. performance killers). Dejavniki, ki predstavljajo gonilo učinkovitosti in uspešnosti, predstavljajo vhod v proces, medtem ko so dejavniki, ki zavirajo učinkovitost in uspešnost, tisti dejavniki, ki zmanjšajo učinkovitost in uspešnost, vendar niso dovolj močni, da ustavijo proces. Slednji so na primer nerazpoložljivost virov, uporaba neprimernih orodij, neustrezna navodila, neustrezna IT podpora itd. V praksi to pomeni, da na primer neustrezna navodila povzročijo, da za izvedbo nekega opravila potrebujemo več časa kot v primeru jasnih navodil, kar seveda pomeni, da proces ni učinkovit.

Za primer dejavnika, ki predstavlja gonilo učinkovitosti in uspešnosti, vzemimo pravočasno dobavo. Pravočasna dobava pomeni, da kupcu dostavimo izdelke/storitve pravočasno in s tem vplivamo na njegovo zadovoljstvo. Torej pravočasna dobava je merilo, ki nam hkrati lahko tudi pomeni dobro gonilo uspeha, saj nam končni rezultat predstavlja zadovoljni kupec.

Poznavanje standardov za področje vzdrževanja in obvladovanja fizičnega premoženja

Za načrtovanje dejavnosti obvladovanja fizičnih sredstev in posledično vzpostavitev primerne sistema morajo organizacije definirati primerne ključne kazalnike, ki jih potrebujejo za spremljanje in izboljševanje portfelja premoženja, sistema in posameznih premoženj/fizičnih sredstev. Slednje je izpostavljeno tudi v standardih za področje obvladovanja premoženja kakor tudi v standardih za področje vzdrževanja (SIST EN 16646: 2014; SIST ISO 55000: 2014) ter ostalih standardih, ki jih priporoča Evropski odbor za standardizacijo za področje vzdrževanja - CEN/TC 319 - Maintenance). Obstaja veliko zelo dobro poznanih kazalnikov za področje vzdrževanja. Smernice na tem področju so podane v evropskem standardu (EN 15341:2019, 2019), ki podaja pregled ključnih kazalnikov učinkovitosti in uspešnosti vzdrževanja.

Razumevanje povezanosti primerne strategije vzdrževanja s cilji organizacije

Znano je, da konvencionalne oblike vzdrževanja, kot je kurativno vzdrževanje, niso primerne, da zadostijo potrebam industrije po zmanjšanju odpovedi fizičnih sredstev in vplivanja na proces staranja. V zadnjih desetletjih se je področje vzdrževanja, ki je pomemben del obvladovanja fizičnega premoženja, razvijalo in lahko trdimo, da je za sodobne industrijske sisteme vzdrževanje glede na stanje (angl. condition based maintenance - CBM) veliko bolj primerna strategija vzdrževanja kot kurativno ali klasično preventivno vzdrževanje (Al-Najjar, 2007). Tovrstna strategija nam omogoča, da lažje dosegamo poslovne cilje organizacije, saj nam nudi podatke, preko katerih učinkovitejše spremljamo in ocenjujemo stanje fizičnih sredstev. Slednje moramo upoštevati pri izbiri kazalnikov.

Razumevanje vloge IKT

Nenehne spremembe na področju tehnologije, spremembe na področju informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT) za kompleksne proizvodne sisteme, novi koncepti na področju vzdrževanja, kot je koncept masovnih podatkov (angl. big data) itd., so dejavniki, ki posredno ali neposredno vplivajo na procese v organizaciji in njihovo učinkovitost in uspešnost. Na primer: uporaba napredne IKT opreme in uporaba sodobnih konceptov, kot je zgoraj omenjeni koncept masovni podatki, imajo velik potencial na področju obvladovanja fizičnega premoženja. Z drugimi besedami, napredna IKT tehnologija organizacijam nudi podporo na področju obvladovanja premoženja – še posebej pri vzpostavitvi primerne sistema za spremljanje učinkovitosti in uspešnosti omenjenih procesov, saj nam omogoča lažji in hitrejši dostop do podatkov, celovitejše analize podatkov in posledično bolj točne informacije, ki jih potrebujemo za uspešno obvladovanje fizičnega premoženja.

Zaključek

V prispevku smo poskušali predstaviti pomembnost uporabe kazalnikov na področju vzdrževanja. Povzamemo lahko, da sta izbira in uporaba kazalnikov odvisni od predhodno jasno definiranih ciljev. Izbrani kazalniki nam torej predstavljajo jasno merilo uspešnosti in učinkovitosti, ki vodstvu in zaposlenim nudi informacije za odločanje na poti uspešnega doseganja postavljenih ciljev. Hkrati nam kazalniki tudi nudijo povratno informacijo o izvedenih dejavnostih, kar pomeni, da lahko pridobimo in spremljamo informacije o rezultatih izvedenih izboljšavah, vse z namenom doseganja postavljenih ciljev.

Literatura

- Áhrén, T., & Parida, A. (2009). Maintenance performance indicators (MPIs) for benchmarking the railway infrastructure: A case study. *Benchmarking: An International Journal*, 16(2), 247–258. <https://doi.org/10.1108/14635770910948240>
- Al-Najjar, B. (2007). The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 260–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.005>
- Al-Najjar, B. (2012). On establishing cost-effective condition-based maintenance: Exemplified for vibration-based maintenance in case companies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 401–416. <https://doi.org/10.1108/13552511211281561>

- BSI. (1984). *Glossary of maintenance terms in Terotechnology*. British Standard Institution (BSI).
- Cooke, F. L. (2000). Implementing TPM in plant maintenance: Some organisational barriers. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(9), 1003–1016. <https://doi.org/10.1108/02656710010378789>
- EN 15341:2019. (2019). *Maintenance—Maintenance Key Performance Indicators*. CEN EN - European committee for standardization.
- EN 15628. (2014). *Maintenance—Qualification of maintenance personnel*. CEN EN - European committee for standardization.
- EN 16646. (2014). *Maintenance—Maintenance within physical asset management*. CEN EN - European committee for standardization.
- Galar, D., Berges, L., Sandborn, P., & Kumar, U. (2014). The need for aggregated indicators in performance asset management. *Eksploatacja i Niezawodność*, 16(1), 120–127.
- Gomes, C. F., Yasin, M. M., & Simões, J. M. (2020). The emerging organizational role of the maintenance function: A strategic perspective. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(1), 144–168. <https://doi.org/10.1108/JQME-03-2017-0012>
- ISO 55000. (2014). *Asset management—Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization (ISO).
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107853. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992, January 1). The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>
- Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C., & Berges, L. (2013). Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(3), 233–277. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0029>
- Madu, C. N. (2000). Competing through maintenance strategies. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(9), 937–949. <https://doi.org/10.1108/02656710010378752>
- Maletič, D., Almeida, N. M., Gomišček, B., & Maletič, M. (2022). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: An empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control, Accepted for Publication*.
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2014). The role of maintenance in improving company's competitiveness and profitability: A case study in a textile company. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), 441–456. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2013-0033>
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2018). Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. *Sustainability*, 10(12), 4759. <https://doi.org/10.3390/su10124759>
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2020). An Analysis of Physical Asset Management Core Practices and Their Influence on Operational Performance. *Sustainability*, 12(21), 9097. <https://doi.org/10.3390/su12219097>
- Maletič, D., Maletič, M., & Gomišček, B. (2012). The relationship between continuous improvement and maintenance performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(1), 30–41. <https://doi.org/10.1108/13552511211226175>
- Maletič, D., Pačiová, H., Nagyová, A., & Maletič, M. (2020). The Link Between Asset Risk Management and Maintenance Performance: A Study of Industrial Manufacturing Companies. *Quality Innovation Prosperity*, 24(3), 50–69. <https://doi.org/10.12776/qip.v24i3.1477>
- Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H., & De Meyer, A.-M. (2010). Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. *International Journal of Production Research*, 48(20), 5905–5924. <https://doi.org/10.1080/00207540903160766>

- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Nakajima, S. (1989). *TPM development program: Implementing total productive maintenance*. Productivity Press, Cambridge.
- Neely, A. (1999). The performance measurement revolution: Why now and what next? *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2), 205–228. <https://doi.org/10.1108/01443579910247437>
- Parida, A., & Chattopadhyay, G. (2007). Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(3), 241–258. <https://doi.org/10.1108/13552510710780276>
- Parida, A., & Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 239–251. <https://doi.org/10.1108/13552510610685084>
- Parida, A., & Stenström, C. (2021). Dynamic Asset Performance Management. In K. B. Misra (Ed.), *Handbook of Advanced Performability Engineering* (pp. 403–428). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55732-4_18
- Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 116–137. <https://doi.org/10.1108/13552511111134565>
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237–244. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00067-0)
- Tsang, A. H. C., Jardine, A. K. S., & Kolodny, H. (1999). Measuring maintenance performance: A holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(7), 691–715. <https://doi.org/10.1108/01443579910271674>
- Visser, J. K., & Pretorius, M. W. (2003). The development of a performance measurement system for maintenance. *South African Journal of Industrial Engineering*, 14(1), 83–98. <https://doi.org/10.10520/EJC46050>

IZZIVI UPORABE UMETNE INTELIGENCE NA PODROČJU OPERATIVNEGA PLANIRANJA IN RAZPOREJANJA PROIZVODNJE

MATJAŽ ROBLEK,¹ ANA GEORGIEVSKI,² MAJA ZAJEC³

¹ Domel, Železniki, Slovenija
matjaz.roblek@domel.com

² Knauf Insulation, Kranj, Slovenija
ana.georgievski@gmail.com

³ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
maja.zajec@um.si

Sinopsis Operativno planiranje in razporejanje proizvodnje je vsebinsko in informacijsko eno zahtevnejših poslovnih področij v proizvodnih podjetjih. Zaradi upoštevanja množice poslovnih in proizvodnih spremenljivk, katerih pomembnost se dinamično menja glede na razmere v poslovnem okolju, je sprejemanje celovito optimalnih odločitev brez podpore naprednih optimizacijskih algoritmov zelo zahtevno in zato tudi zanimivo za vpeljavo naprednih orodij digitalne dobe, kot je umetna inteligenca. Združili smo izsledke pomembnejših raziskav na tem področju in jih podkrepili z analizo primera iz proizvodnega podjetja. Iz analize primera predstavljamo strokovne izzive in smernice, ki jim je treba slediti, da je uporaba umetne inteligence uspešna na področju operativnega planiranja proizvodnje.

Ključne besede:

umetna inteligenca,
strojno učenje,
oskrbovalne verige,
operativno
planiranje
proizvodnje,
razporejanje
proizvodnje

CHALLENGES OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPERATIONAL PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING

MATJAZ ROBLEK,¹ ANA GEORGIEVSKI,² MAJA ZAJEC³

¹ Domel, Železniki, Slovenia
matjaz.roblek@domel.com

² Knauf Insulation, Kranj, Slovenia
ana.georgievski@gmail.com

³ University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
maja.zajec@um.si

Abstract Operational planning and production scheduling are among the most information- and content- intensive business areas in manufacturing companies. Considering the multitude of business and production variables, the importance of which changes dynamically depending on the situation in the business environment, makes it very challenging to prepare comprehensively optimal decisions without the support of advanced optimisation algorithms and therefore also interesting for the introduction of advanced tools of the digital era, such as artificial intelligence (AI). We have brought together significant research findings in this area and supported them with a case study from a manufacturing company. From the case study, we presented the professional challenges and guidelines that need to be followed for the successful application of AI in the field of operational production planning.

Keywords:
artificial
intelligence,
machine learning,
supply chains,
operational
production
planning,
production
scheduling

1 Uvod

Tudi proizvodna podjetja niso spregledala hitrega razvoja strojnih in programskih računalniških tehnologij. Raziskave na tem področju kažejo, da imajo proizvodna podjetja največji potencial v izrabi robotske avtomatizacije procesov (RPA¹), v tehnologiji veriženja blokov in umetni inteligenci (AI²) (Hartley in Sawaya, 2019). Umetna inteligenca je znanost in tehnologija, s katero dosežemo, da se računalniški programi obnašajo na način, za katerega smo do danes menili, da potrebujemo človeka in njegovo inteligenco (Iriando, 2018). Umetna inteligenca je tehnologija, ki v času nastanka prispevka začena intenzivno aplikativno uporabo v oskrbovalnih verigah, katere del so tudi aplikacije v proizvodnih podjetjih. Z vidika znanstvenega proučevanja je dobro raziskano akademsko področje in je zanimiva zaradi potenciala, da bi z njo dosegli hitrejše in preciznejše reševanje problemov v oskrbovalnih verigah (Toorajipour idr., 2021), npr. realno ocenjevanje tveganj, nihanja napovedi kupcev ali nezanesljivost transportnih poti (Baryannis idr., 2019). Raziskovalci preučujejo različne tehnike umetne inteligence za uporabo v oskrbovalnih verigah, njihovo uporabo na različnih delovnih mestih in poslovnih področjih v dobavni verigi, in raziskujejo, za katere poslovno-oskrbovalne probleme je lahko uporabna (Toorajipour idr., 2021). Raziskovalci poskušajo tudi ugotoviti, kako najučinkoviteje vpeljati umetno inteligenco v podjetje (pristop) in v katere poslovne procese (Cadavid idr., 2019).

Tehnologija umetne inteligence je prepoznana tudi pri podpori procesa planiranja proizvodnje, ki je eden ključnih procesov v oskrbovalnih procesih. S planiranjem proizvodnje poskušamo doseči zanesljivo, odzivno in prilagodljivo oskrbo kupca ob minimalno povzročenih stroških in z velikim izkoristkom uporabljenih proizvodnih sredstev. Zaradi kompleksnih in tudi medsebojno izključujočih ciljev je v postopku operativnega planiranja proizvodnje prisotno mnogo parametrov negotovosti: kaj bo, če material zamudi, če delovno sredstvo odpove, če se kupec premisli, če dobimo material z napako, če nam zaposleni zbolijo, če tehnična dokumentacija novega projekta zamudi ipd., ter kakšne bodo posledice negotovosti, kot so prekomerne ali premajhne zaloge, večji stroški dela, slaba dobičkonosnost delovnih sredstev. Ob teh bolj ali manj zanesljivo predvidenih dogodkih in njihovih posledicah imamo mnogo

¹ RPA = angl. Robotic Process Automation

² AI = angl. Artificial Intelligence

podatkov v poslovnih in proizvodnih informacijskih sistemih. In kjer so podatki, nam umetna inteligenca ponuja priložnosti pametnega odločanja na podlagi prepoznanega znanja iz podatkov. To vključuje tako predvidljive kot manj predvidljive dogodke in posledično omogoča bolj robustno planiranje proizvodnje (Cadavid idr., 2019).

2 Opredelitev pojmov

2.1 Umetna inteligenca

V pregledni raziskavi (Goertzel in Wang, 2007) so zbrane definicije različnih avtorjev o tem, kaj je umetna inteligenca. Predstavlja zmožnost:

- doseganja kompleksnih ciljev v kompleksnem okolju,
- uspešnosti sistema v kompliciranem okolju,
- reševanja zahtevnih problemov,
- optimalne uporabe omejenih virov za doseganje ciljev,
- sistema, da za doseg cilja generira prilagojeno obnašanje znotraj okolja,
- obravnave problemov v kompleksnem okolju, kjer kriteriji primernosti niso predhodno definirani, temveč so pridobljeni skozi procesiranje informacij.

Z znanstvenega vidika je pomembno vprašanje, ki si ga je leta 1950 zastavil britanski matematik Alan Turing. Spraševal se je, ali stroji lahko razmišljajo, in določil test za dokazovanje inteligentnosti strojev, kjer človek postavlja vprašanja, na katera odgovarja računalnik, spraševalec pa tega ne ve. Če računalniku uspe prepričati spraševalca, da mu odgovarja človek, lahko rečemo, da je računalnik inteligen. Sam test ima negativne znanstvene kritike, toda z njim je Turing odprl nov cilj znanstvenih raziskav, in sicer ugotavljanje »prisotnosti«
inteligence v umetno ustvarjenih sistemih (Finlay in Dix, 1996).

Z dvigom sposobnosti računalnikov se izboljšujejo tudi algoritmi v različnih tehnikah umetne inteligence, kar omogoča vedno več uporabnih aplikacij (Anyoha, 2017). Razvija se tehnike od strojnega učenja do globokega učenja, ki omogočajo računalniškim sistemom učenje z uporabo izkušenj, predstavi se postopke posnemanja procesa odločanja človeških ekspertov. Umetna inteligenca dobiva vedno širšo aplikativno uporabnost (Zupan, 2010):

- dedukcija, sklepanje, reševanje problemov,
- predstavitev znanja,
- samodejno načrtovanje in razporejanje,
- strojno učenje,
- gibanje in rokovanje,
- obdelava jezika in govora,
- socialna inteligenca.

Danes so najpogostejše aplikacije umetne inteligence narejene s tehniko strojnega učenja (ML³), kjer gre za oblikovanje in preoblikovanje algoritmov, zaradi katerih se stroji lahko učijo na podlagi že izvedenih primerov (tabela 1). Predpogoj je dostop ML do velike količine podatkov, da lahko z algoritmi posnema razmišljanje človeka.

Tabela 1: Primerjava umetne inteligence in strojnega učenja

Umetna inteligenca	Strojno učenje
Strojem omogoča človeku podobna obnašanja.	Strojem omogoča avtomatsko učenje na podlagi preteklih podatkov.
Cilj: izdelati kot človek pametne računalniške sisteme za reševanje kompleksnih problemov.	Cilj: omogočiti strojem učenje iz podatkov za napoved točnih izidov.
Razvijalci izdelujejo inteligentne sisteme, namenjene opravljanju nalog ljudi.	Razvijalci s podatki učijo stroje za izvedbo točno določenih nalog s pravilnim izidom.
Široko področje uporabe.	Omejeno področje uporabe.
Želi ustvariti inteligenten sistem, ki lahko izvaja več različnih kompleksnih nalog.	Ustvarja stroje za določene naloge, za katere so usposobljeni.
Stremi k uspehu.	Stremi k vzorcem in točnosti.
Na podlagi zmožnosti se ta deli na: šibko (angl. Weak AI), splošno (angl. General AI) in močno (angl. Strong AI) umetno inteligenco.	Delimo na: nadzorovan ML (angl. Supervised learning), nenadzorovan ML (angl. Unsupervised learning), ojačan/podkrepljen ML (angl. Reinforcement learning).

Vir: Javatpoint, 2021

³ ML = angl. Machine Learning

2.2 Oskrbovalne verige in proizvodna podjetja

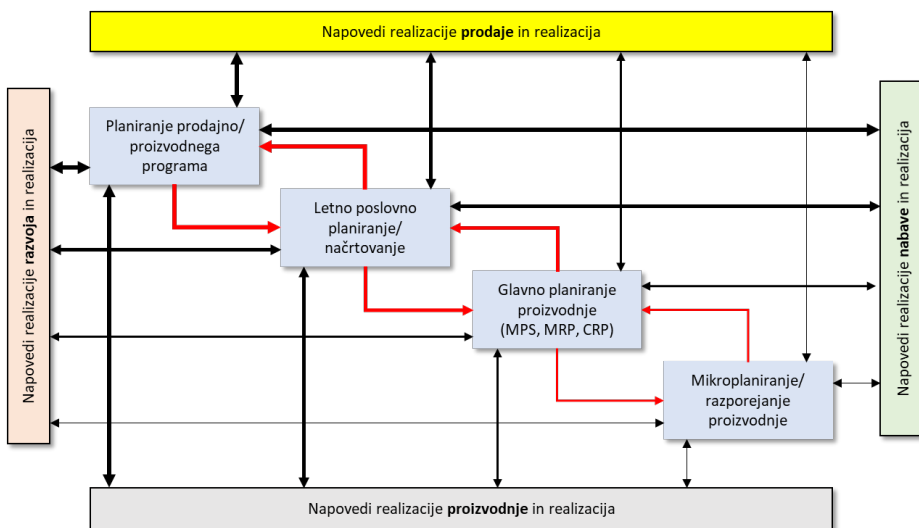
Oskrbovalna veriga je kompleksen sistem načrtno povezanih individualnih poslovnih sistemov (členov): kupcev, distributerjev, logistov, proizvodnih podjetij in dobaviteljev. Materialna oskrbovalna veriga vključuje procese, s katerimi izdelek prihaja iz materiala do kupca (Kenton, 2020). Načeloma imajo vsi členi oskrbovalne verige enake cilje glede uspešnosti poslovanja. Zelo različno pa si predstavljajo cilje glede učinkovitosti poslovanja, npr. kupci bi radi poslovali brez zalog izdelkov, vse zaloge naj držijo distributerji. Dobavitelji bi želeli nespremenljiva naročila materialov daleč v prihodnost, nasprotno kupci želijo poslovati le z neobvezujočimi kratkoročnimi prodajnimi napovedmi. Management oskrbovalnih verig poskuša tveganja za poslovni neuspeh in neučinkovito poslovanje enakomerno porazdeliti med posameznimi členi na način, da zasledovanje globalnega optimuma celotne oskrbovalne verige daje posameznemu členu verige dolgoročno mnogo večje koristi, kot če posamezen člen zasleduje zgolj svoj kratkoročni lokalni optimum.

Proizvodna podjetja so običajno udeležena kot eden ali več členov v oskrbovalnih verigah in proizvajajo sestavne dele, polizdelke ali izdelke. Na eni strani imajo odjemalce oz. kupce, na drugi strani so oskrbovana s strani dobaviteljev. Management proizvodnega podjetja se trudi, da bi proizvajal s čim manj izgubami, minimalno potrebnimi stroški, čim večjim zaslužkom in z zanesljivo oskrbo kupcev. Tveganja, ki jih prepoznava na strani kupcev, poskuša enakomerno prenesti tudi na dobavitelje. Zato mora usklajeno obvladati interne funkcije in njihove procese (PlanetTogether, 2019):

- nabavljanje; da se pravočasno zagotovi oskrba z materiali,
- prodajanje; da se napoveduje in realizira oskrba kupcev,
- proizvodjanje; da se zagotovi proizvodna tehnologija in kapacitete,
- logistika; da se zagotovi embaliranje, skladiščenje in transport,
- planiranje; ki vse predhodne procese časovno in količinsko usklajuje.

2.3 Planiranje v proizvodnih podjetjih

Usklajenost in učinkovitost internih oskrbovalnih verig v proizvodnih podjetjih je odvisna od funkcije planiranja proizvodnje, ki vzdržuje ravnotežje med povpraševanjem, proizvodnjo in dobavljenimi materiali. Zaradi razlike med zahtevanimi dobavnimi časi do kupcev, ki so navadno mnogo krajši od potrebnega časa za preoblikovanje materiala v končni izdelek ali krajši od dobavnih časov materialov do proizvodnega podjetja, planiranje pretežno deluje v okolju bolj ali manj zanesljivih podatkov. Druga pomembna spremenljivka je reakcijski čas prilagoditve materialnih in proizvodnih virov spremenjenemu povpraševanju. Določene vire lahko prilagodimo relativno hitro, npr. razporeditev dela na dodaten že obstoječ stroj, določeni viri pa imajo dolg čas prilagajanja, npr. vključitev in usposabljanje novih delavcev. Zato klasični model hierarhičnega planiranja v proizvodnih podjetjih (Jacobs idr., 2018) vsebuje različne metode in tehnike, ki se razlikujejo od predmeta planiranja in od dolžine planskega horizonta. Pri tem na hierarhičnih nivojih planiranja izrabljamo različno agregirane podatke iz preteklosti (statistika poslovanja), podatke o trenutni situaciji in podatke o prihodnosti. Močnejša puščica pomeni bolj agregirane podatke (slika 1).



Slika 1: Poenostavljen klasični model hierarhičnega planiranja proizvodnje

Vir: lasten.

Planiranje prodajno/proizvodnega programa asociiramo s strateškim hierarhičnim nivojem planiranja. Predmet planiranja so trenutni in bodoči prodajno/proizvodni programi in njihove blagovne skupine, s katerimi bomo uresničili dolgoročne poslovne cilje proizvodnega podjetja. Npr. ena izmed izhodnih informacij, ki nižjim hierarhičnim nivojem planiranja pomeni usmeritev, je, kdaj bomo ukinili prodajo določene blagovne skupine. Ker gre posledično lahko za zapiranje proizvodnih linij in ukinjanje dobaviteljev, se časovno oziramo več let v prihodnost in analiziramo življenjske cikle proizvodov. Ker se »morebitne zmotke« o napačni predvideni ukinitvi linije in izhoda iz prodajnega trga ne da hitro »popraviti«, odločitve na tem nivoju povzročajo velike poslovne posledice in potrebni so dolgi reakcijski časi, da se izvedejo korekcije.

Letno poslovno planiranje ali načrtovanje asociiramo s taktičnim nivojem planiranja. Predmet planiranja so ključni predstavniki blagovnih skupin in njihove ocenjene mesečne količine, ki jih bo potrebno dobaviti kupcem tekom prihodnjega leta, da bi dosegli letne cilje poslovanja. Taktika pomeni, da razvijamo več scenarijev, kako stroškovno optimalno pokriti te mesečne potrebe s proizvodnjo, logistiko in materiali. Iz letnega planiranja poiščemo proizvodne, logistične in materialne ključne omejitve ter poiščemo rešitve zanje. Npr. ena izmed izhodnih informacij, ki nižjim nivojem planiranja pomeni usmeritev, je, da se bodo izdelki te blagovne skupine proizvajali enakomerno tekom leta. V primeru manjših mesečnih potreb se bodo proizvedeni izdelki odlagali v skladišče, v primeru večjih potreb pa se bodo iz skladišča črpali. Morebitno zmoto reakcijsko lahko hitreje saniram: uporabimo drug scenarij in navadno se v mesecu ali dveh s proizvodnimi in nabavnimi viri že lahko prilagodimo spremembi.

Osnovno (glavno) planiranje proizvodnje (MPS⁴) asociiramo s prvim od operativnih nivojev planiranja. Predmet planiranja so realni izdelki in njihove prodajne potrebe tako daleč v prihodnost, kot to določajo najdaljši dobavni časi materialov, običajno od 3 do 6 mesecev. Perioda planiranja je običajno teden. Z njim realiziramo mesečne cilje proizvodnega podjetja. Npr. izhodna informacija v proizvodnji in nabavi je, kdaj v mesecu se bo nekaj proizvajalo, kdaj se mora dobaviti določen material. Usmeritev za nižjo hierarhijo planiranja je npr., da je za realizacijo potreben 80-% izkoristek proizvodne linije. Izvaja se planiranje materialnih potreb

⁴ MPS = angl. Master Production Scheduling

(MRP) in proizvodnih kapacitet (CRP), ki je osnova za organizacijo proizvodnje. Bistveni del spreminjanja osnovnega plana proizvodnje so prodajne potrebe, če so po času ali po strukturi izdelkov zelo drugačne od planiranih v prejšnjih iteracijah oblikovanja osnovnega plana in hkrati močno odstopajo od podatkov letnega plana.

Mikroplaniranje ali razporejanje proizvodnje asociiramo z najnižjim hierarhičnim nivojem planiranja v proizvodnih podjetjih. Z vpogledom v dobavljen material (in odstopanja), v že realizirano proizvodnjo (in odstopanja), v že pokrite prodajne potrebe (in odstopanja), v testiranja novih izdelkov (in odstopanja) proizvodnji odredimo zaporedje dela, ki je z vidika njih samih (čim večji izkoristek) in celotne interne verige (nizke zaloge, malo zamud) v določenem času optimalen in materialno pokrit. Načeloma bi lahko rekli, da ima napačna odločitev relativno majhno posledico, toda zamuda prihoda enega samega materiala za en teden lahko pomeni preigravanje n možnih novih razporedov, da bi proizvodnji omogočili doseganje 80 % izkoristka.

Klasični hierarhični model planiranja kljub svojim pomanjkljivostim, ki se kažejo v nenehnem večnivojskem prenosu in usklajevanju podatkov realizacije s predvidevanji, kar zahteva mnogo ur sestankovanj med službami v interni dobavni verigi, zadovoljivo deluje v vseh oskrbovalnih modelih od razvoja po naročilu do izdelave na zalogo, obvladuje zelo široke prodajne programe, hkrati maloserijsko in velikoserijsko proizvodnjo, zelo širok spekter različnih materialov z zelo raznolikimi prodajno/nabavnimi pogoji in se kot univerzalen smatra tudi danes, saj je steber vseh poslovnih informacijskih sistemov (ERP⁵) za proizvodna podjetja. V uporabi so tudi drugi modeli planiranja (Kanban, DDMRP⁶), ki izhajajo iz odvzema izdelkov (princip »vleci«). Z vidika znižanja zalog delujejo bolje, a v zelo specifičnem (npr. masovni izdelki) in kontroliranem oskrbovalnem okolju, kjer je majhno število različic izdelkov ali pa ima podjetje v oskrbovalni verigi veliko poslovno moč, da lahko vsa tveganja preloži na dobavitelja.

⁵ ERP = angl. Enterprise Resource Planning information systems

⁶ DDMRP = angl. Demand Driven Material Requirements Planning

2.4 Računalniška orodja za podporo planiranja proizvodnje

ERP sistemi so zasnovani kot transakcijski sistemi. Beležijo poslovne dogodke, ki se procesno in hierarhično nadgrajujejo in povezujejo (Günther, 2005). Imajo ustrezno rešene prve tri hierarhične nivoje planiranja proizvodnje, nekoliko več težav imajo s podporo mikroplaniranja in razporejanja. Samo planiranje proizvodnje je učinkovito podprto šele, ko se v ERP sistemih (ali v obliki komplementarnih sistemov) pojavijo moduli za napredno planiranje in razporejanje proizvodnje (APS⁷), ki omogočajo (De Santa-Eulalia idr., 2011):

- izrabo statističnih metod za analizo podatkov,
- optimizacijo na podlagi matematičnih modelov in algoritmov,
- simulacijo in primerjavo različnih proizvodnih možnosti,
- vključevanje interne in eksterne prioritete v obliki uteži,
- celovito obravnavo učinkovitosti proizvodnega problema namesto parcialnih hevrističnih optimizacij.

Na nivoju mikroplaniranja se stalno prepleta preverjanje operativnega plana navzgor, da bi sledili agregiranim planom in posledično podpirali poslovne cilje podjetja, in navzdol s tekočo realizacijo proizvodnje, ki se navadno ne poroča direktno v ERP, ampak v namenske proizvodne sisteme, ki so namenjeni nadzoru in poročanju proizvodnje na nivoju proizvodnih linij in strojev (MES⁸) in so »podaljšek ERP« sistema na nivo delavnice. Opravka imamo z množico realnih dogodkov v proizvodnji (odpovedi, zamude, nekvaliteta, nerealizacija ipd.), ki kontinuirano prožijo potrebo po popravkih operativnega proizvodnega plana nazaj v smer, ki jo določajo višje postavljeni plani. Pred prihodom APS sistemov so planerji s pomočjo izkušenj izbrali prvo možno rešitev oz. prvi izvedljiv razpored proizvodnje. S pomočjo APS sistemov so dobili optimalno rešitev izmed možnih, tj. po večkriterijski poslovni funkciji, ki je lahko vključevala hkrati:

- čim manj zamud pri naročilih,
- popolno količinsko in časovno usklajeno materialno pokritost novega optimalnega razporeda,

⁷ APS = angl. Advanced Planning and Scheduling

⁸ MES = angl. Manufacturing Execution System

- čim manj izgub produktivnosti zaradi menjav izdelkov na linijah,
- čim nižje zaloge med posameznimi proizvodnimi fazami,
- čim bolj zasedene proizvodne zmogljivosti,
- čim bolj uravnoteženo zasedenost proizvodnih zmogljivosti po času ipd.

Do približno leta 2018 je integracija ERP in APS sistemov v strokovni javnosti obravnavana kot najbolj napredna praksa pri podpori operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje v proizvodnih podjetjih (SCOR, 2017), z robustnimi in preverjeno delujočimi računalniškimi orodji, toda s precej neuspešnimi implementacijami: optimalno izračunan proizvodni raspored je bil tako dober, kot so bili kvalitetni vhodni matični podatki: o materialnih identih, kosovnicah, delovnih mestih, proizvodnih postopkih, operacijah, orodjih, delovnih koledarjih, na katerih je bazirala priprava proizvodnega plana in rasporeda. Če upoštevamo še zadnje spremembe v prometnih podatkih: o prodajnih naročilih in nezanesljivosti nabavne oskrbe ter različne spremembe, ki so bile rezultat nezanesljive realizacije v proizvodnji (strojelomi), je APS zahteval od proizvodnega podjetja, da zagotovi skoraj popolno - idealno poslovno, proizvodno in informacijsko okolje. To pa je v praksi težko doseči. Zato so bili uspehi APS vezani predvsem na procesno industrijo, kjer je ozek prodajni program, malo vhodnih materialov in popolna avtomatizacija proizvodnje.

3 Priložnosti naprednih digitalnih tehnologij

Napredne digitalne tehnologije so postale zanimive za vključitev v proizvodna podjetja z dostopnostjo zmogljive strojne opreme in s pojavom prvih dovolj robustnih programskih rešitev, ki same kot take niso več vzrok za povečano tveganje pri realizaciji naročil.

Robotska avtomatizacija procesov avtomatizira rutinske naloge in odločitve v procesih, npr. avtomatski odgovori, prilagojeni stranki, ki sledijo določenim smernicam/pravilom. Na ta način se delavce usmerja, da delajo na znanjsko intenzivnih nalogah. RPA je po raziskavah prva digitalna tehnologija, ki jo podjetja uporabljajo pri digitalni transformaciji oskrbovalnih verig. Uporablja se za avtomatizacijo rutinskih nalog, npr. za avtomatiziran vnos podatkov, enostavne

kalkulacije, branje in pridobivanje podatkov iz ERP sistemov. Od uporabnikov ne zahteva znanja kodiranja in razen na področju kompatibilnosti sistemov ne zahteva intenzivnega vključevanja IT oddelka.

Tehnologija veriženja blokov z decentralizacijo in kriptografskim zgoščevanjem zagotavlja zgodovino digitalnih sredstev in njeno nespreminjanje, s čimer je omogočena vidnost transakcij v realnem času po celi oskrbovalni verigi in je s tem zmanjšana verjetnost manipulacije podatkov in goljufij. Danes se v oskrbovalnih verigah najpogosteje uporablja za dokazovanje porekla materiala in za sledljivost.

Umetna inteligenca se v procesih oskrbovalne verige najpogosteje uporablja za napovedovanje različnih dogodkov. Raziskave kažejo (Banker, 2019), da se AI največ uporablja za napovedovanje prodaje, pri tem pa prilagaja algoritme značilnostim posameznih izdelkov, npr. različno za uveljavljene izdelke, različno za nove izdelke, ki nastopajo v promocijskih kampanjah, do algoritmov za izdelke, katerim bo kmalu potekel rok. AI preuči napoved, jo primerja s tekočo prodajo in predlaga menjave algoritmov. Vpletanje človeka v rezultate AI navadno vodi do slabših rezultatov. Pri tem pa slabi rezultati predvidevanja, ki je zgolj v domeni AI, povzročajo težave pri prevzemu odgovornosti, še posebno, ker je potrebno odkriti in razumeti, kako je AI prilagajala algoritme, saj so ti lahko popolnoma drugačni od začetnih. AI se uporablja tudi za analiziranje kritičnih proizvodnih parametrov in za njihovo napovedovanje, da bi bili izdelki proizvedeni skladno s specifikacijami kupca. Znane so tudi aplikacije AI za napovedovanje trajanja dela v proizvodnji, kjer z optimizacijskimi algoritmi uravnotežimo zahteve kupcev s proizvodno zmogljivostjo. Večina trenutnih implementacij AI v oskrbovalnih verigah sloni na tehnologiji strojnega učenja, ki daje najboljše rezultate pri veliki količini podatkov, imamo zagotovljeno povratno zanko za samoučenje AI in imamo dovolj časa za samoučenje AI.

3.1 Najpogosteje uporabljene tehnike pri strojnem učenju

Umetna inteligenca, ki temelji na tehnologiji strojnega učenja, kombinira različne tehnike umetnih nevronske mreže, mehke logike, agentne sisteme, genetske algoritme in podatkovno rudarjenje (Toorajipour idr., 2021).

Tehnika umetnih nevronske mreže (ANN⁹) se uporablja za iskanje vzorcev, modelov ali znanja. Zaradi svoje vsestranskosti se uporablja kot glavna tehnika v računski inteligenci na različnih področjih oskrbovalne verige: trženje, napovedovanje proizvodnje, oblikovanje cen, izbira dobaviteljev.

Tehnika mehke logike (FL¹⁰) predstavlja mejo med tehnikami umetne inteligence in tiste brez nje. Posnema interpretacijo kvantitativnih podatkov, še posebej mejnih vrednosti na kvalitativen način, kot jih interpretiramo ljudje, npr. kaj je še dobro, kaj slabo.

Tehnika agentnih sistemov (ABS¹¹ in MAS¹²) temelji na agentu oz. vrsti računskega modela, ki simulira dejanja in interakcije avtonomnih agentov, kolektivno ali individualno, ter istočasno ocenjuje njihov splošni vpliv na sistem. Agenti so entitete, ki so sposobne zaznavanja okolja in lahko delujejo samostojno in proaktivno pri reševanju določenih težav. Ko je agentov več in ti lahko med seboj sodelujejo, govorimo o mreži agentov.

Tehnika genetskih algoritmov (GA¹³) posnema tri naravne zakone: naravno selekcijo, križanje in mutacije. S pomočjo njih se algoritem razvije do te mere, da problem primerno reši z dovolj dobro rešitvijo (lahko tudi optimalno). Ti algoritmi kodirajo potencialne rešitve določenih problemov z uporabo podatkovne strukture, ki je podobna obliki kromosoma. GA se uporablja na širšem problemskem območju oskrbovalnih verig, najpogosteje za iskanje dovolj dobrih rešitev problemov v prodaji in proizvodnji. Odlikuje jo hitrost reševanja.

Tehnika podatkovnega rudarjenja¹⁴ se je razvila zaradi težav s prepoznavanjem znanja v obsežnih podatkovnih zbirkah, ki lahko predstavlja pomembne informacije za odločanje v podjetjih. Rudarjenje podatkov se na področju oskrbovalnih verig uporablja za nadzor in spremljanje zalog, izboljšanje managementa znanja in trženje.

⁹ ANN = angl. Artificial Neural Networks

¹⁰ FL = angl. Fuzzy Logic and models

¹¹ ABS = angl. Agent - Based Systems

¹² MAS = angl. Multi - Agent Systems

¹³ GA = angl. Genetic Algorithms

¹⁴ angl. Data Mining

3.2 Uporaba strojnega učenja pri planiranju proizvodnje

Raziskave trdijo, da se umetna inteligenca trenutno največ izkorišča za podporo najnižjega hierarhičnega nivoja planiranja - operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje. Na tem nivoju planiranja se sprejema glavna odločitev, ki pomembno vplivajo na konkurenčnost proizvodnega podjetja preko zniževanja stroškov in izpolnjevanja dobavnih rokov. V dobro informacijsko podprti proizvodni delavnici se dnevno generira masovna količina podatkov, v katerih se skriva koristno znanje, ki ga s klasičnimi analizami podatkov težko hitro prepoznamo. Prav to pa omogoča koristno izrabo predvsem tehnologije strojnega učenja za napovedovanje proizvodnje in soočanje s predvidenimi in nepredvidenimi dogodki (Kang idr., 2020). To je prepoznala tudi večina industrijsko razvitih držav, ki so digitalizacijo tega področja uvrstile na prioriteto listo digitalizacije proizvodnih podjetij (Cadavid idr., 2019):

- Nemčija preko paradigme Industry 4.0,
- ZDA preko paradigme Smart Manufacturing Leadership Coalition,
- Kitajska preko strategije China Manufacturing 2025,
- Evropa preko smernic Factories of the Future.

Strojno učenje uporablja različne poslovne in proizvodne podatke podjetja kot osnovni »material« za razvoj avtonomnega računalniškega znanja. Pomembno je, da so ti podatki ustrezni, saj le tako nudijo smiselne rezultate. Tao (2018) ugotavlja, da mora imeti strojno učenje za namen operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje dostop do naslednjih virov podatkov:

- podatki vodenja proizvodnje; pretekle informacije, shranjene v proizvodnih informacijskih sistemih (MES, ERP, CRM ...), ki zajemajo informacije o planiranju proizvodnje, vzdrževanju, prodaji,
- podatki opreme; izvirajo iz IoT¹⁵ in ponujajo zabeležene informacije o delavcih, strojih, delovnih postajah,
- uporabniški podatki; izhajajo iz informacij uporabnikov izdelkov, ki se jih pridobi s pomočjo interneta,

¹⁵ IoT = angl. Internet of Things

- podatki produkta; izhajajo iz produkta oziroma storitve in se pridobijo tekom proizvodnega procesa oziroma iz zahtev kupcev,
- javni podatki; prihajajo iz odprtih baz podatkov, kot so na primer vladni podatki, podatki drugih raziskovalcev,
- umetni podatki; vezani na informacije, generirane s strani računalnika za dostop do aplikacij strojnega učenja v procesu planiranja proizvodnje.

Konceptualno gledano lahko strojno učenje smatramo kot najbolj napredno tehnologijo, ki je vključena v APS sisteme. Z njo pa se zamenjuje tudi vloga podatkov, ki jih hranimo v ERP, APS in MES sistemih. Po obstoječi proceduri za izboljšanje planiranja smo morali v ERP opredeliti čim bolj točne proizvodne matične podatke, na podlagi katerih je ERP grobo terminiral delo, da je lahko naročil potrebne materiale. Podatke je nato uporabil APS in s pomočjo naprednih algoritmov določil optimalni razpored dela v proizvodnji na mikro nivoju. Ta razpored se je kot »želja« prenesel v MES sistem. Delavci so predlagani razpored zaradi različnih realnih dogodkov bolj ali manj upoštevali. Informacije o dejanski realizaciji je hranil MES. Podatki o realizaciji so se nato prenesli nazaj v ERP sistem, kjer so analitiki ugotavljali razloge odstopanj in po potrebi korigirali matične podatke v ERP, ki bi jih APS uporabil za bolj točen plan. Toda pozor: matični podatki v ERP so tisti podatki, po katerih je posel »prodan« kupcu. Torej je bilo potrebno dodatno kreirati ter prilagajati verzije matičnih podatkov, ki so bile namenjene APS za boljšo optimizacijo razporedov. Če povzamemo, so bili vsi naporji usmerjeni v:

- pridobitev čim bolj točnih matičnih podatkov v ERP sistemih za izračunavanje trajanja delovnih nalog,
- iskanje in statistično obdelavo podatkov o dogodkih v MES sistemih, ki so vplivali na to, da se optimalen plan ni realiziral, ter posledično v dodajanje »ohlapnosti« na proizvodne entitete v ERP, ki so zato »stalno« odstopale od nazivnih vrednosti.

Z uporabo strojnega učenja se pomembnost točnih matičnih podatkov v ERP za potrebe planiranja, da bi ustrezali trenutni sposobnosti proizvodnega procesa, zmanjšuje. V ERP še vedno zapisujemo matične podatke, ki so preko ciljnih stroškov dela in materiala »prodani« kupcu. To so ciljne vrednosti, ki ji v fazi uvajanja izdelka

v proizvodnjo navadno ne dosegamo, v vrhu življenjskega cikla pa smo celo boljši. APS sistemi, opremljeni s tehnologijo strojnega učenja, za prve iteracije proizvodnje (poskusne serije) seveda nimajo drugih podatkov, kot da vzamejo matične podatke iz ERP sistema. Toda že prvo učenje s podatki o realizaciji iz MES sistema povzroči, da si APS začne pripravljati svojo bazo matičnih podatkov. Pri tem upošteva tudi vpliv zaznanih dogodkov, izpadov ipd. Torej že pri novi iteraciji priprave trajanja delovnih nalog za proizvodnjo enakega izdelka ML izdela plan na podlagi »prilagojenih matičnih podatkov« in z upoštevanjem »množice drugih pomembnih podatkov iz statistike MES«, da so plani realistični in s tem usklajena proizvodnja na način, da bodo doseženi dobavni termini kupca. Če povzamemo:

- bazo podatkov, ki so namenjeni pripravi realističnega plana, ima APS in se stalno spreminja na podlagi strojnega učenja, podatki v ERP so namenjeni za primerjalne analize,
- bistveno se spreminja vloga MES (Koelesch, 2019), ki mora beležiti vse vrste podatkov o dogodkih in razmerah, v katerih se proizvaja (pridobljenih iz naprav, linij, senzorjev, delavcev). Čim več teh različnih podatkov lahko obdela strojno učenje, vgrajeno v APS, bolj točno bo razumevanje, kaj vpliva na proizvodnjo v določenih okoliščinah, boljša bo priprava optimalnih planov in razporedov.

Raziskovalci trdijo, da je po prihodu nove generacije APS sistemov, ki bazirajo na strojnem učenju, nastala tudi obvezna potreba po novi generaciji inteligentnih MES sistemov, ki s podporo obdelave masovnih industrijskih podatkov prehajajo iz analize vzrokov k analizi asociacij (Zhang idr., 2019).

4 Izzivi uporabe umetne inteligence pri razporejanju proizvodnje

Raziskali smo dve skupini virov, kjer smo poskušali odkriti izzive, s katerimi se soočajo proizvodna podjetja pri izrabi umetne inteligence pri razporejanju proizvodnje. Na vrhnjem nivoju smo izzive razdelili na tiste, ki so prepoznani v novejši znanstveni literaturi (ALR¹⁶), in tiste, ki so prepoznani v novejši strokovni

¹⁶ ALR = angl. Academic Literature Research

literaturi (NALR¹⁷). Raziskane izzive smo v naslednjem poglavju primerjali z izzivi analize primera.

4.1 Raziskava izzivov iz znanstvenih publikacij

Pregled ALR smo izvedli na platformi ScienceDirect in se ciljno usmerili na raziskave, objavljene v revijah in založbah nivoja založbe Elsevier v zadnjih petih letih (do novembra 2021). Uporabili smo ključni besedi »artificial intelligence« in »production planning« in dobili preko 6000 zadetkov.

Korist 1: Izboljšanje izkoristka proizvodnih kapacitet in povečanje dobavne zanesljivosti

Z uporabo ML pri operativnem planiranju je omogočeno (Kang idr., 2020), da odkrivamo in napovedujemo napake na izdelkih, ki so posledica proizvodjanja. Posledično lahko napovemo tudi prekinitve in s tem izpade v razpoložljivosti proizvodnih kapacitet. Prav tako je možno določiti najbolj optimalne nastavitve proizvodnih linij za proizvodnjo kakovostno skladnih izdelkov in s tem maksimalno zmanjšati izgube proizvodnih kapacitet (»Do It Right First Time«). S predvidevanjem okvar tudi lahko izvedemo preventivne vzdrževalne posege takrat, ko je z vidika zasedenosti kapacitet najmanj škodljivo za realizacijo posla. V vseh treh primerih to pomeni tudi večjo zanesljivost doseganja planiranih rokov do kupcev. **Izzivi:**

- ML mora imeti dostop do velike količine proizvodnih podatkov. To je najlažje zagotoviti, če ima podjetje stroje, linije, izdelke in procese opremljene s tehnologijo IoT in povezane v stabilno računalniško infrastrukturo. V realnem okolju imamo v postrojenjih tudi stroje, ki so popolnoma neopremljeni, da bi avtomatsko beležili in posredovali proizvodne podatke. V večini primerov jih namesto stroja beleži človek in kvaliteta vhodnih podatkov v obdelavo ML je temu primerno manj zanesljiva.
- ML bo lahko v smislu operativnega planiranja kvalitetno napovedoval razpoložljivost določene naprave, če ima tudi odprt

¹⁷ NALR = angl. Non-Academic Literature Research

dostop do zunanjih podatkov o enakih strojih pri drugih uporabnikih. Te podatke navadno zbirajo proizvajalci opreme in jih shranjujejo v »oblaku« ter so tako na voljo vsem. Izziv je, da podjetja niso pripravljena deliti svojih internih podatkov javnosti in konkurenci, vsaj ne v takem obsegu in vsebini, da bi lahko ML imel od tega korist.

Korist 2: Povečana produktivnost proizvodnje in nižji stroški proizvodnje

Raziskava kaže (Phuyal idr., 2020), da je s pomočjo ML pri operativnem planiranju možno doseči v povprečju 20-% povečano produktivnost v proizvodnji in pri izkoristku energije, saj ML izbira v vsakem trenutku prioriteto proizvodni razpored z izrabo strojev, ki so energetskega najmanj potratni. Prav tako je možno doseči celo 50-% večjo produktivnost planskega osebja, ki je odgovorno za pripravo optimalnih proizvodnih planov, saj ML s sposobnostjo samoodločanja, samooptimiziranja in samodejnega odzivanja na zaznane fizične spremembe v proizvodnji lahko neskončno mnogokrat spreminja in prilagaja urnike proizvodnje in upošteva samo rešitve, ki so izvedljive z vidika razpoložljivosti vseh virov in hkrati čim bližje želenim poslovnim KPI. **Izzivi:**

- doseči, da so podatki iz obratovanja proizvodnih sistemov povezani z načrtovanjem produkta, analitiko, razvojem proizvodnega procesa, sistemom zalog in dobavno verigo, kar naredi proizvodnjo na zahtevo (prilagajanje izdelkov in proizvodnega procesa) bolj učinkovito. Če so vsi novejši izdelki v razvoju planirani, da se obvezno izdelujejo na najbolj produktivnih strojih, ker le tako lahko dosežemo pričakovano nizke stroške izdelave, ti stroji so pa že danes ozka grla, nam ML težko pomaga doseči koristi z optimalnimi razporedi. Paradoks: ML nam lahko odkrije, na kateri »prepovedan« stroj proizvodnja »samovoljno« razporeja delo, ki je prepovedano po matičnih podatkih ERP sistema, in ga pri pripravi novih razporedov (če ugotovi, da koristi) »samovoljno« vključuje v iskanje optimalne rešitve;
- doseči zaupanje planskega in proizvodnega osebja, da so ML razporedi delovnih nalog pripravljeni »optimalno« in z nadzorom razpoložljivosti materiala. Po nekem času ML tako prilagodi začetno

pripravljene algoritme, da je težko odkriti oziroma pojasniti, zakaj ML smatra, da je določen razpored optimalen. Še posebno, če globalna idealna rešitev pomeni popolnoma neoptimalen razpored v neki lokalni delavnici. Trenutne rešitve ML delujejo po principu »črne škatle« in ne pojasnjuje zainteresirani javnosti, tako kot morajo planerji, zakaj je neoptimalen razpored pri mojstru »a« odličen za podjetje kot celoto. Paradoks glede produktivnosti planerjev: planerji v povprečju trdijo, da cca. 20 % svojega časa porabijo za dokazovanje optimalnosti razporeda zainteresirani javnosti - iskanje podatkov, analiza podatkov s pripravo prezentacije in utemeljitve.

Korist 3: Hitrejša odzivnost in prilagodljivost proizvodnje na spremembe

V močno robotizirani in avtomatizirani proizvodnji ima ML v zadnji fazi operativnega planiranja – odrejanju ali lansiranju proizvodnje tudi dovoljenje, da preko »oddaljenega upravljanja nastavitve strojev« spremeni oz. krmili proizvodni proces v smeri zelene spremembe razporeda. Ob hkrati sočasnemu pridobivanju realnih podatkov iz strojev o trenutnem stanju so zakasnitve v reakcijskem času na izvedbo prilagoditev strojev zanemarljive (Jasko idr., 2020). **Izzivi:**

- Uvedba ML v operativno planiranje posega tako v delo planerja proizvodnega oddelka kot v delo mojstra v proizvodnem oddelku. Izziv je, kako doseči, da človek s »svojo pomembnostjo« ne bo namerno ustavljal procesa. Trenutno se z vidika RPA priporoča hibridna vključitev ML v operativno planiranje (ML + planer), kljub temu da je dokazano, da vmešavanje človeka v ML rešitev večinoma poslabša rešitev.
- Zbiranje podatkov iz ročnih delovnih mest za obdelavo ML (maloserijska, unikatna proizvodnja). Ti podatki so tudi danes v večini zajeti v MES, vendar kot omenjeno, je težava zaupanje v zbrane in pridobljene podatke, če jih poročajo zaposleni. Delavci se pozabijo prijaviti, odjaviti, javiti zastoj in zgolj »ocenjujejo« njegovo trajanje. Ideje so, da bi v primeru ročne proizvodnje avtomatsko zbiranje podatkov prepustili izdelku: ta bi prepoznaval delo, ki se na njem izvaja, trajanje ipd. S tem bi zagotovili dobre podatke za ML pri pripravi optimalnih razporedov proizvodnje.

Ima pa vključitev ML na področje operativnega planiranja tudi **splošne izzive** (Pyuyal idr., 2020):

- **Varnost podatkov;** v pametni proizvodnji se uporablja integriran mrežni sistem za delitev informacij med posameznimi segmenti. Za ta namen se običajno uporablja internet. Ta način deljenja podatkov zahteva varnost podatkov in informacij v celotnem sistemu na različnih točkah z globalno edinstveno identifikacijo in šifriranjem podatkov. Zaščititi je treba vsako vozlišče omrežja, da se izognemo zunanjim napadom in zlorabi podatkov. Zato je pomembno, da pri načrtovanju omrežnih sistemov zagotovimo varnost sistema in s tem celotnega procesa planiranja.
- **Povračilo naložbe** v novo tehnologijo in istočasno finančne težave med postavljanjem nove pametne proizvodnje ali pa nadgradnje obstoječe. Kljub temu da nove tehnologije, tudi ML, za planiranje proizvodnje postajajo cenovno dostopne, je na trgu premalo implementacij, še posebno v podobnih proizvodnjah, da bi lahko z gotovostjo trdili, da se bo implementacija povrnila. StartUp podjetja navadno odlično obvladajo novo tehnologijo, a imajo premalo izkušenj, ko govorijo o enostavnosti njene implementacije v proizvodni sistem. Več o tem bomo prikazali v nadaljevanju pri analizi primera.
- **Sistemska integracija:** velik izziv predstavlja implementacija pametne proizvodnje v že obstoječo programsko in strojno računalniško opremo. Obstoječa oprema je lahko stara in zato velikokrat ni kompatibilna z novo tehnologijo.

4.2 Raziskava izzivov iz strokovnih publikacij

Korist 1: Izboljšanje izkoristka proizvodnih virov in tržnih priložnosti ter izničenje vpliva negotovosti in motenj

Analitska hiša Gartner ugotavlja (Salley idr., 2021), da podjetja intenzivno raziskujejo AI in druge novejšje digitalne tehnologije za reševanje izzivov na vseh štirih ključnih problemskih področjih, ki vplivajo na kakovost planiranja proizvodnje (Payne, 2019):

- negotovost; vključuje izziv negotovosti v povpraševanju v obliki spreminjajočih potreb kupcev in negotovosti na strani oskrbe, ki se kaže v nezanesljivosti dobavnih akcij in motenj v sami proizvodnji,
- pristranskost; predstavlja izziv vpliva odločitev človeka – planerja na pripravo proizvodnih planov,
- podatki; vključuje izzive, povezane z razpoložljivostjo, kakovostjo in starostjo razpoložljivih podatkov,
- model planiranja; izziv predstavlja tudi preciznost uporabljenega modela (njegova izbira), ki se uporablja za sprejemanje odločitev pri planiranju, in kako odraža razmere v resničnem svetu.

Z uporabo kompleksnih matematičnih algoritmov (npr. tehnologije genetskih algoritmov) se poskuša skrajšati čas priprave optimalnih proizvodnih planov in pri procesu odločanja zajeti čim več razpoložljivih podatkov ter s tem pospešiti in izboljšati odzivnost proizvodnje na trenutne in prihajajoče spremembe. ML nastopa v skupku tehnologij, ki so namenjena digitalizaciji procesa planiranja proizvodnje, in vključuje tudi tehnologije »obdelave masovnih podatkov«, »računalništva v oblaku« in RPA, s katerimi se želi izboljšati kvaliteto procesa odločanja pri planiranju proizvodnje in robustnost planiranja. Slednje pomeni, da se »odpornost proti negotovosti« dosega z vključenostjo ML na nivoju srednjeročnih in dolgoročnih planov, ki pokrivajo optimum celotnega procesa, na drugi strani pa z integracijo ML na kratkoročne proizvodne plane, kjer blažimo negotovost na nivoju izvedljivosti v proizvodnji. Ta značilnost izboljšuje »prilagodljivost ali prožnost planiranja« na način, da algoritem kratkoročnega planiranja ne optimizira vedno celotnega procesa proizvodnje, ampak zgolj lokalno posamezne dele, da se zagotovi izvedljivost plana na nivoju proizvodne delavnice. **Izzivi:**

- prepustiti ML upravljanje matičnih podatkov (samostojno prepoznavanje anomalij v podatkih, ki jih samostojno prečisti in popravlja),
- zagotoviti vključitev podatkov o trenutnih razmerah na nivoju izvajanja (npr. spremembe v naročilih) v proces odločanja prilagajanja planov na višjih hierarhičnih nivojih (in nazaj), s pogledom preko celotnega E2E procesa,

- vzpostaviti zaupanje v ML pri pripravi predlogov optimalnih proizvodnih planov (avtomatizirana priprava odločitev).

Korist 2: Znižanje stroškov priprave proizvodnih planov, posledično skrajšanje dobavnih časov

Združenje APQC (Brown, 2020) na vzorcu 554 podjetij ugotavlja, da podjetja, ki imajo v proces planiranja implementirano napredno analitiko in napovedne algoritme, dosegajo v povprečju za 9 % krajše dobavne čase do kupcev kot podjetja, kjer odločitve pri pripravi planov bazirajo le na izkušnjah človeka, in za 5,5 % krajše od podjetij, kjer priprava planov vključuje klasično statistično analizo preteklih odločitev in posledic. **Izzivi:**

- zelo različna ponudba novih digitalnih tehnologij naslavlja koristnost uporabe pri planiranju proizvodnje, od napovedne analitike, rešitev v oblaku, RPA, AI ipd., kar vodi do izbire nekompatibilnih platform in težav z upravičevanjem koristi nove tehnologije. Priporoča se sistematičen pristop, ki natančno naslavlja doseganje zelenih ciljev v podjetju in na samem procesu planiranja.
- Izboljšanje planiranja ne dosegamo z najboljšo digitalno tehnologijo na trgu, najbolj celovitimi naprednimi algoritmi ML ipd. Ključno je, kako se z uporabo digitalne tehnologije izboljša konkreten proces planiranja, kako bo bolje izpolnjevalo proizvodne in poslovne zahteve.

Korist 3: Konkurenčna prednost

Združenje ASCM (James, 2021) je med 10 ključnih trendov za izboljšanje konkurenčnosti oskrbovalnih verig za leto 2022 kar v tri uvrstilo tehnologijo ML: na področje napredne analitike, na področje avtomatizacije procesov v oskrbovalnih verigah (vključuje planiranje proizvodnje) in na področju industrije 5.0, ki vključuje sodelovanje oz. partnerstvo med ljudmi in roboti. **Izzivi:**

- Predvidevajo, da bo imelo prav sodelovanje med ljudmi in roboti največji vpliv na procese planiranja in izpolnjevanja naročil. Zato je

potrebno zagotoviti tudi pametne stroje, ki bodo omogočili še bolj kvalitetne podatke in vpogled v resnično dogajanje na mikro nivoju proizvodnje, kar bo vodilo do še boljših odločitev ML. Za večino proizvodnih podjetij bo to velik finančni zalogaj.

V tabeli 2 smo na podlagi raziskave in predstavitve izbora znanstvenih in strokovnih virov razvrstili neposredne in posredne izzive uvajanja ML na področje operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje. Razvrstili smo jih v dve kategoriji: tiste, ki jih je potrebno rešiti pred projektom digitalizacije, in tiste, ki jih je potrebno rešiti med projektom digitalizacije.

Tabela 2: Izzivi uvajanja ML na področje operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje

Področje izziva	Izziv
I. Izzivi, ki jih je potrebno razrešiti pred implementacijo ML	
1. Strateško načrtovanje	<ul style="list-style-type: none"> – izbrati sistematičen pristop, ki natančno naslavlja doseganje zelenih ciljev v podjetju in na samem procesu planiranja, – izbrati ML rešitev, ki ustreza značilnostim procesa proizvodnje in operativnega planiranja. Merilo so KPI za izboljšanje procesa planiranja (in ne za izbor najbolj napredne ML tehnologije), – v dogovoru s ponudnikom rešitve izbrati način za povračilo naložbe v novo tehnologijo, ki je vezan na neposredne in posredne koristi.
2. Informacijska infrastruktura	<ul style="list-style-type: none"> – pred uvajanjem zagotoviti stabilno strojno in mrežno infrastrukturo na nivoju proizvodne delavnice, – zagotovitev informacijske varnosti.
3. Kompatibilnost info. sistemov	<ul style="list-style-type: none"> – zagotoviti popolno vertikalno in horizontalno integracijo in kompatibilnost med vsemi obstoječimi IS podjetja, ki se jih uporablja v procesu planiranja in realizacije naročila, – izbrati rešitev ML na platformi, ki je kompatibilna z informacijskimi sistemi, še posebno z ERP in MES.
II. Izzivi, ki jih je potrebno razrešiti med implementacijo ML	
4. Razpoložljivost podatkov	<ul style="list-style-type: none"> – zagotoviti dostop do velike količine prometnih proizvodnih podatkov iz proizvodnega procesa s pametnimi stroji (izziv zastarelih strojev), – zagotoviti vključitev podatkov o trenutnih razmerah na nivoju izvajanja (npr. spremembe v naročilih) v proces prilagajanja planov na višjih hierarhičnih nivojih (in nazaj), s pogledom preko celotnega E2E procesa, – zagotoviti dostop do podatkov izven poslovnega sistema.
5. Upravljanje podatkov	<ul style="list-style-type: none"> – prepustiti ML upravljanje matičnih podatkov, – umakniti človeka iz kreiranja prometnih proizvodnih podatkov v proizvodnem procesu.

Področje izziva	Izziv
6. Prehod	– v uvajanje ML že v začetek projekta vključiti planerje in mojstre iz proizvodnje in s tem vzpostaviti zaupanje da so avtomatizirano (z algoritmi) pripravljeni razporedi optimalni.

V nadaljevanju bomo z analizo primera ugotavljali, koliko se izsledki raziskav o izzivih iz znanstvene in strokovne literature ujemajo s konkretnim projektom implementacije nove digitalne tehnologije v konkretno proizvodno podjetje.

5 Analiza primera

Primer bazira na večjem slovenskem podjetju¹⁸, ki ima širok proizvodni program: od izdelkov za končnega kupca do izdelkov, namenjenih kot sklopi za vgradnjo v kompleksne izdelke. Podjetje ima več proizvodnih obratov v Sloveniji in v tujini. Dominantno sodeluje v mednarodnih globalnih oskrbovalnih verigah, ki obsegajo transportne poti čez celo zemeljsko oblo.

5.1 Strateško načrtovanje uvedbe digitalizacije operativnega planiranja

Podjetje je leta 2019 začelo razvijati »strategijo poslovanja« za obdobje 2020 do 2025 in kot eno strateških aktivnosti za to obdobje identificiralo »SA-digitalizacijo procesov«. Eden izmed začetnih izdelkov te aktivnosti, ki določa smernice digitalizacije, je bila priprava »digitalne strategije«, ki je pokrivala želeno stanje digitalizacije procesov v obdobju 2022 do 2027, in je bila pripravljena leta 2021. Vključevala je:

- metodologijo priprave digitalne strategije; ki je izhajala iz priporočil priprave digitalnih strategij podjetja Gartner in Siemens,
- identifikacijo 440 bolečin v vseh procesih, od poslovnih do proizvodnih; to so bili izzivi (ne samo informacijski), zaradi katerih podjetje že danes ne dosega planiranih poslovnih rezultatov, postavljenih za leto 2025 in zapisanih v »strategiji poslovanja«. Podjetje se ni lotilo detajlnega posnetka procesov. Izdelalo je grobo mrežo procesov in ključnih medsebojnih relacij, da je z vključitvijo v

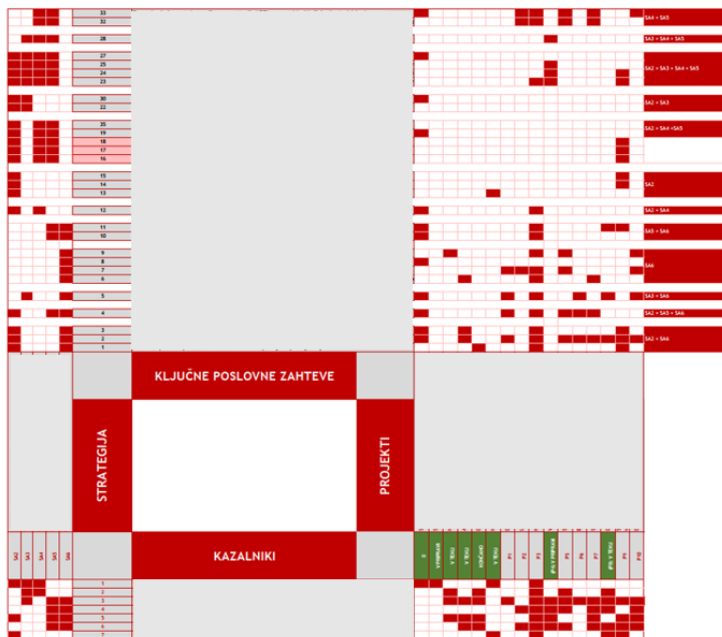
¹⁸ Zaradi varovanja konkurenčne prednosti se za dostop do podrobnih podatkov, ki dokazujejo verodostojnost analize primera ali jih želite uporabiti pri nadaljnjih raziskavah, obrnite na prvega avtorja prispevka.

time zagotovilo popolno vsebinsko pokritje celotnih E2E procesov, vključno s povezanimi procesi,

- po grupaciji bolečin po podobnosti in identificiranih izvornih vzrokih se je za celo podjetje oblikovala »lista 35 ključnih poslovnih zahtev«, ki jih je potrebno izpolniti/izboljšati v procesih podjetja. Seznam ključnih poslovnih zahtev sta obdelali skupina internih ekspertov za informacijsko-komunikacijsko tehnologijo, digitalizacijo, podatkovno analitiko in skupina vsebinskih specialistov s posameznih področij podjetja, kombinirana z zunanjimi eksperti, z namenom, da ocenita, kakšen je možen doprinos izrabe digitalnih oz. IKT¹⁹ tehnologij k uresničitvi posamezne poslovne zahteve in kakšna je zahtevana radikalnost spremembe, ki jo prinaša predlagana digitalna oz. IKT tehnologija glede na trenutno stanje. Izločilo se je zahteve brez ocenjenega doprinosa IKT,
- nato se je s sodelavci, ki so jih predlagali direktorji poslovnih področij, pristopilo k nizanju idejnih predlogov digitalnih projektov, ki lahko prispevajo k izpolnjevanju ključnih poslovnih zahtev, vključno s presojo vključitve digitalnih projektov, ki so bili že v delu v času priprave »strategije digitalizacije«. Predlaganih je bilo 33 projektov z različnih področij, ki so se glede na skupne značilnosti agregirali v 10 usklajenih predlogov projektov za digitalizacijo v podjetju za predvideno obdobje (slika 2). Matrika opisuje relacije med strategijo podjetja, poslovnimi zahtevami do procesov in izbranimi digitalnimi projekti ter nabor KPI, s katerimi projekti direktno naslavlja želene vrednosti strateških poslovnih rezultatov²⁰.

¹⁹ IKT = informacijsko-komunikacijske tehnologije

²⁰ Vsebina je zamegljena zaradi poslovne tajnosti.



Slika 2: Matrika digitalnih projektov podjetja

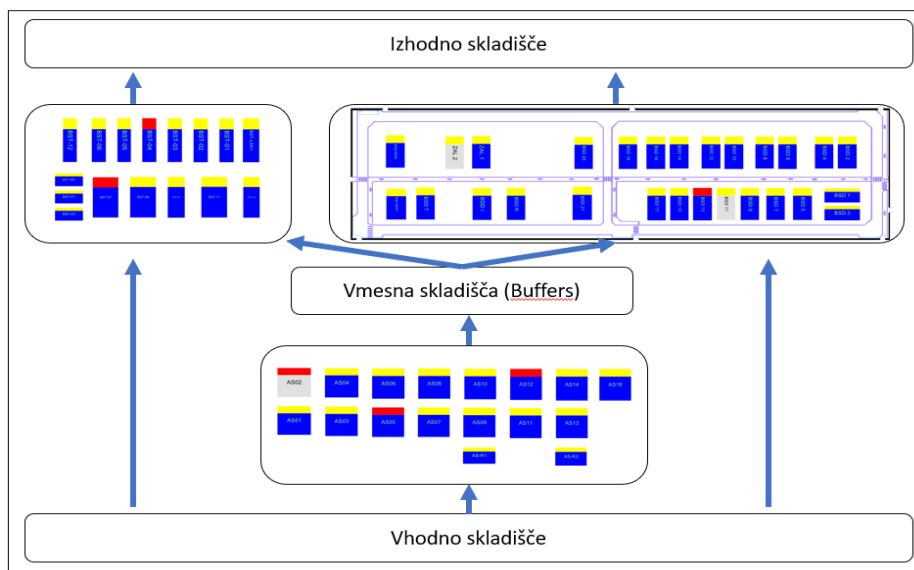
Vir: lasten.

Po predstavljenem postopku se je cca. 10 % prepoznanih bolečin v procesih poenotilo v poslovno zahtevo »uravnotežen proizvodni raspored (manj zamud naročil, višja zasedenost kapacitet, bolj enakomerna zasedenost kapacitet, z manj menjalnimi časi, z nižjimi zalogami polizdelkov) je pridobljen v realnem času«. Poslovna zahteva je naslavljala projekt »Uvedba umetne inteligence za predvidevanje in sestavo optimalnih proizvodnih rasporedov«, ki je bil aktiven že v času priprave »strategije digitalizacije«. S tem je bil tudi revidiran pomen projekta v smislu utemeljene umeščenosti v »strategijo digitalizacije« in podpiranja »strategije poslovanja podjetja«.

5.2 Značilnosti proizvodnega procesa

Prva predprojektna aktivnost je vključevala detaljne posnetke zahtev procesov operativnega planiranja in same proizvodnje. Podjetje ni imelo izkušenj z uvedbo ML tehnologije v različna področja poslovanja. Za vzpostavitev zaupanja v koristi nove tehnologije, minimiziranje tveganja za neuspeh in nadzor nad porabo stroškov,

se je najprej implementacija izvedla na enem proizvodnem obratu. Njegove splošne značilnosti so predstavljene na sliki 3:



Slika 3: Shema kapacitivnih mest, delavnic skladišč in glavni materialni tokovi podjetja
Vir: lasten.

Na dan 1. 1. 2022 je bila proizvodnja razdeljena na 3 proizvodne oddelke, ki imajo skupaj 60 oskrbovanih kapacitivnih mest in so znotraj oddelkov razporejena po »delavnični razporeditvi«. Stroji znotraj posamezne delavnice so istovrstni, na večini kapacitivnih mest so avtomatsko krmiljeni, človek opravlja funkcijo strežbe materiala in odvoza polizdelkov ali izdelkov. Stroji so v prvi fazi proizvodnje univerzalni glede izdelkov (znani so dovoljeni alternativni stroji). V drugi fazi proizvodnje (če je potrebna) so tako univerzalni (namenjeni izdelavi različnih izdelkov) kot specialni stroji (vezani na izdelavo določenega izdelka). Nekaj delovnih mest v drugi fazi proizvodnega procesa (če jo izdelek potrebuje) je ročnih. Vsi stroji so povezani v WiFi omrežje. Prometni podatki iz strojev se preko SCADA sistema neposredno beležijo v MES preko brezžičnega omrežja. Proizvodni delavec je v funkciji potrjevanja in izvedbe morebitnih korekcij podatkov zaradi nepričakovanih dogodkov. Iz MES se podatki posredujejo v različne prometne entitete ERP sistema. Osnovni zapisi o zastojih se beležijo avtomatsko (trajanje), deloma stanja dogodkov opredeli človek (vrsta zastoja).

Izdelki se večinoma proizvajajo z uporabo orodij. Znotraj prve faze proizvodnje se v celoti proizvedejo na enem stroju, v drugi fazi proizvodnje gredo lahko čez več različnih kapacitivnih mest (odvisno od proizvodnega postopka). Nekatera kapacitivna mesta v drugi fazi so aktivna le občasno, da se zagotovi skladnost izdelka po specifikacijah kupca. Na dan 1. 1. 2022 je celotni obrat operiral s 160 različnimi vhodnimi materiali in 620 različnimi polizdelki in izdelki.

Z vidika operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje obvladujeta obrat 2 planerja. Prvi pokriva prvo fazo proizvodnje, drugi drugo fazo proizvodnje. Za planiranje se uporablja ERP sistem, razporejanje dela (zaporedje) po strojih se izvaja v MES sistemu. Planerji morajo na mikro nivoju sočasno delati hkrati z obema sistemoma. Vsaka želena ali potrebna sprememba v zaporedju dela na nekem stroju v oddelku proizvodnje (MES) mora obvezno skozi ERP kontrolo pokritosti materialov in medoddelčno sinhronizacijo, preden je s strani obeh planerjev potrjena.

Značilnosti proizvodnje

- **Nestabilen proizvodni proces** (ob zagonu in tekom izvajanja); s strojem in orodjem je zelo težko ujeti skladnost izdelkov s specifikacijami. Pogoste so odpovedi orodja ali stroja. To zahteva pogosto spreminjanje zaporedov.
- **Nestabilen prodajni proces**; razlike med napovedmi in dejanskimi odpoklici so velike ($MAPE^{21} > 100\%$), dobavni časi kupcem so kratki ($LT^{22}_{kupca} \ll LT_{materiala}$). To zahteva pogoste spremembe v zaporedju proizvodnje.
- **Vhodni materiali so logistično zahtevni** (teža); ko je embalažna enota materiala na stroju (v uporabi), je racionalno, da se jo porabi do konca. S tem se proizvaja več, kot je določeno s proizvodnim zaporedom.
- **Nestabilen nabavni proces**; materiali so globalni in odvisni od dolgih transportnih časov. Pogosto zamujajo ali prispe le del

²¹ MAPE = angl. Mean Absolute Percentage Error

²² LT = angl. Lead Time

naročene količine. To vpliva na pogoste spremembe v razporedu proizvodnje.

- **Nezanesljivi vhodi razvojnih testiranj** v redno proizvodnjo; imajo posebne značilnosti glede dovoljene proizvodne izmene testiranja, nezanesljivo trajanje in rok začetka testiranja, kar zahteva spreminjanje postavljenih razporedov.
- **Z orodjem se hkrati proizvaja več različnih izdelkov.** Pogosto je primer, da ima en izdelek večji izmet kot drugi. Kar pomeni, da se »obvezno« proizvodja tudi izdelek, ki ga sploh ne potrebujemo.
- **Alternativni stroji imajo različno izmensko/dnevno zmogljivost.** Pri iskanju alternativnega razporeda je potrebno na novo prerazporediti oskrbo in posledično proizvodnjo.
- **Matični tehnološki podatki** (proizvodni postopek in normativi), ki se uporabljajo za izračunavanje trajanja proizvodnih nalogov in posledično za pripravo razporedov, so pripravljene na obdobje v življenjskem ciklu izdelka, ko bo proizvodnja optimizirana. To povzroča stalne korekcije sicer nereálnih razporedov, da so plani pripravljene na zmogljivost proizvodnje.
- problemi s **sekundarnimi omejitvami**: zaradi različnih razlogov zmanjka delavcev (s pravim znanjem) za posluževanje strojev in se zahteva spremembe mikro razporedov; kupec zadržuje vračanje ekskluzivne vračljive embalaže in ni možno proizvodjati – polniti (ali se proizvodja v alternativno embalažo), zato je treba prilagajati razporede na mikro nivoju.
- Lahko se pojavi tudi **logistični razlog** za spremembo razporeda, npr. nerazpoložljivost skladišča končnih izdelkov (odstopanje od ciljnih zalog iz različnih razlogov) ipd.

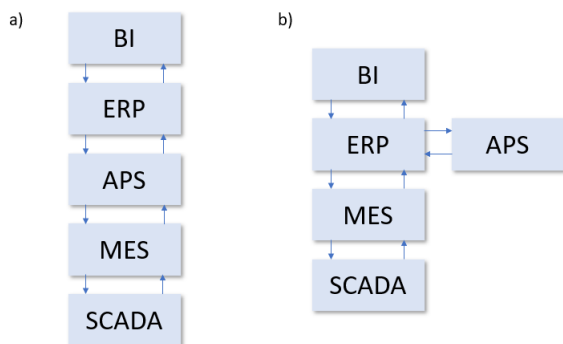
Vse te značilnosti so bile predstavljene ponudnikom APS rešitev tekom pilotnih projektov. Pogostost različnih tipov sprememb je bila ocenjena ali izračunana iz statistike dogodkov.

5.3 Izbira ustrezne ML rešitve

Pred izbiro ustrezne rešitve za uresničitev poslovne zahteve so bile izvedene naslednje predprojektne aktivnosti: definiranje platformskih in integracijskih zahtev (do planiranega ERP, MES), raziskava zrelosti rešitev in ponudnikov na trgu ter izvedba kontrolnih predkalkulacij, da smo lahko pričakovane dobrobiti različnih rešitev vrednotili preko predvidenega učinka na strateške rezultate podjetja.

Ko je bila »strategija digitalizacije podjetja« končana, sta bila že zaključena 2 pilotna projekta testiranja primernih rešitev APS. Prepoznali smo **dve glavnih funkciji** RPA za podporo operativnega planiranja in razporejanja, ki bi izpolnili poslovno zahtevo iz »strategije digitalizacije«: **avtomatizacija predvidevanja proizvodnje in avtomatizacija optimalnega razporeda**. Vplive njunih učinkov smo predračunavali na izpolnjevanje poslovnih KPI.

Na podlagi rezultatov 2 pilotnih projektov smo najprej izvedli popravke na obstoječi IT infrastrukturi v podjetju, na integraciji obstoječih ERP in MES sistemov in na kvaliteti zajema prometnih podatkov iz proizvodnega procesa. Pri tem smo se v nasprotju s predlagano umestitvijo APS (slika 4, a.) (Kletti, 2007) odločili za rešitev, ki prepoznava ERP kot vodilni sistem, in je APS z ML njegova napredna tehnološka nadgradnja (slika 4, b.).

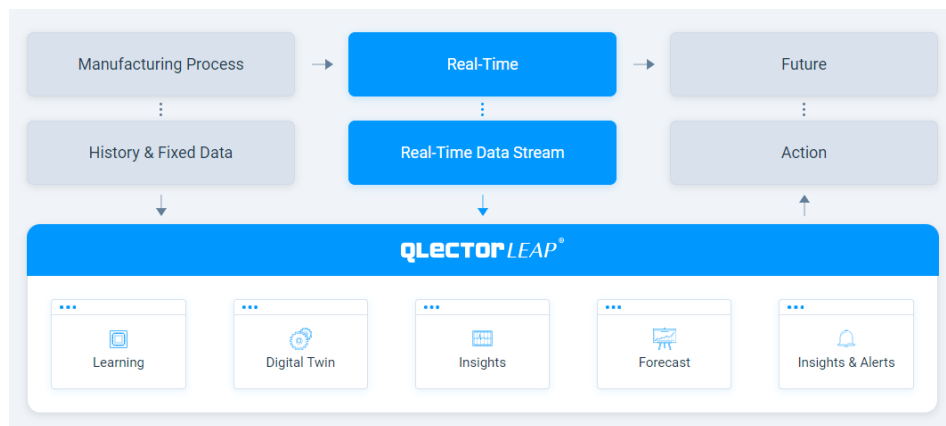


Slika 4: Umestitev APS (z ML) v hierarhijo informacijskih sistemov podjetja

Vir: lasten.

5.4 Konkretni izzivi tekom implementacije APS z ML

Izbrana je bila rešitev Leap (APS z ML) podjetja Qlector, njegovo arhitekturo opisuje slika 5.



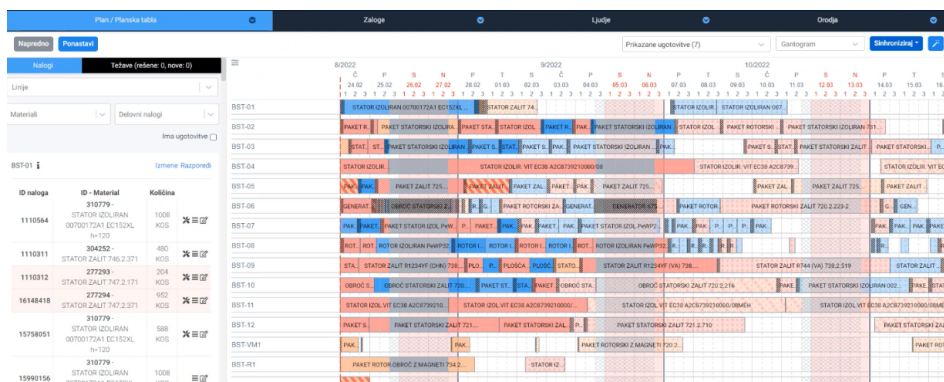
Slika 5: Arhitektura izdelka Qlector Leap

Vir: Qlector, 2022

Odkriti in rešeni funkcionalni izzivi pri simulaciji optimalnih razporedov tekom implementacije (slika 6):

- dodana opcija izbire upoštevanja kriterija maksimalne zaloge,
- dodana opcija izbire upoštevanja razvojnih nalogov,
- dodan pregled stanja zalog materiala po izvedeni simulaciji,
- dodan pregled o upoštevanju varnostnih zalog pri simulaciji,
- dodan takojšnji izračun kvalitete simulacij razporeda preko izbranih KPI: na izhodiščne KPI zamud in menjav, dodani kriteriji: izkoristek delovnega časa stroja (ozka grla), enakomerna zasedenost strojev (za postrojenja znotraj določene proizvodnje), vmesne in nedokončane zaloge (med proizvodnjami ali v postrojenjih),
- dodan prikaz/izbira primerjave izhodiščnega razporeda z razporedi med različnimi simulacijami preko KPI, da se planerju predlaga najboljša izvedljiva rešitev,

- dodano začasno arhiviranje KPI simulacije z zapisom (Log) sporočenih »neresenih« težav, z možnostjo izvoza v npr. Excel (za analitično obdelavo uporabe APS po različnih filtrih: planer, lokacija razporejanja),
- dodano omejevanje simulacije: po potrebi omogočeno izključevanje razporeda delovnih nalogov na izbranem stroju/postrojenju,
- dodana opcija izbire upoštevanja že lansiranih (a ne začeti) proizvodnih nalogov,
- dodano shranjevanje konfiguracij parametrov/uteži za izvedbo simulacij v poimenovane skupine: npr. konfiguracija za osnovno optimizacijo, konfiguracije za optimizacijo v posebnih okoliščinah,
- k avtomatski frekvenci osveževanja podatkov med APS in ERP dodana opcija »osveži na zahtevo«.



Slika 6: Na podlagi izzivov APS ML nadgrajeni uporabniški vmesnik za planerja

Vir: lasten.

Pred prehodom na produkcijo se je skupaj z implementatorjem pripravila lista možnih izzivov (tveganj), ki se lahko pojavijo tekom uporabe APS z ML:

1. Izzivi iz naslova skritih tehničnih in programskih napak:
 - nepopoln prenos podatkov iz APS v ERP in obratno,
 - izpad povezave med ERP, APS z ML in MES.

2. Človeške napake:

- planer pomotoma prerazporedi »vse« proizvodne naloge in shrani v ERP. Izziv: če APS nima ažurne informacije o lansiranih nalogih in nalogih v izvajanju, bodo prerazporejeni tudi nalogi v izvajanju. Zaradi frekvence ažuriranja podatkov med sistemi nov razpored proizvodnih nalogov ne bo takoj viden delavcem v proizvodnji (v MES),
- planer v Leap prerazporedi naloge za celotno delavnico za predolgo obdobje in vse naloge pošlje v ERP. Problem: MRP ne bo mogel več prilagajati planskih nalogov spremembam potreb: pri povečanju potreb bo po nepotrebnem kreiral nove planske naloge, pri zmanjšanju potreb bo samo javljal obvestila izjem, zaradi česar se zamegli slika dejanskih potreb in situacija postane nepregledna in težko obvladljiva. Planerji so navajeni uveljavljati že izvedene spremembe s spreminjanjem odprtih v fiksirane planske naloge. Ker bodo vsi prej odprti in fiksirani planski nalogi v APS razporejeni za daljše časovne obdobje, jih v ERP ne bo več mogoče spreminjati.

3. Konfliktne situacije znotraj APS in z drugimi sistemi:

- pojavljanje konfliktnih situacij zaradi sočasnih sprememb v ERP, APS in MES, npr.: kreiranje novih planskih nalogov v ERP, spremembe proizvodnih nalogov (datumi, količine, status naloge), sprememba planskega naloga v ERP (datum, količina, proizvodna verzija) in brisanje planskih nalogov v ERP, medtem ko se ravno izvaja razporejanje v APS,
- izziv sočasnega razporejanje v APS: več planerjev hkrati razporeja naloge in shrani rezultat. Nevarnost je, da drug drugemu spremenijo, pokvarijo izdelan plan, še posebno pri ločenem optimiranju interne proizvodne verige delavnic.

4. Izvajanje razporejanja nalogov, shranjevanje v ERP, osveževanje iz ERP traja nekaj časa (lahko več minut):

- človeški izziv: čakanje na izvedbo razporeda, čakanje na prepis v ERP, čakanje na osveževanje iz ERP v APS. To uporabnika

dekoncentrira in lahko pozabi, kaj je pravzaprav delal v APS oziroma je nameraval narediti.

6 Diskusija in zaključki

Primerjava med analizo primera in ugotovitvami iz znanstvene in strokovne literature kaže, da so bili vsi izzivi iz tabele 2, ki se nanašajo na strateško načrtovanje, informacijsko infrastrukturo in kompatibilnost informacijskih sistemov prepoznani in obdelani pred izbiro ML rešitve in jih tako iz analize primera lahko potrdimo tudi na izvedbeni ravni.

Prav tako smo v analizi primera prepoznali, da je pomembno pred projektom natančno predstaviti proces planiranja, njegove posebnosti in strateške ter operativne cilje projekta ter stroške/najem rešitve vezati pogodbeno na dokazano izmerjeno dobrobit. Potencialnim implementatorjem je potrebno predstaviti tudi trenutno kakovost dosegljivih podatkov in stopnjo avtomatizacije zajemanja podatkov iz proizvodnega procesa. Tudi ti izzivi primera se skladajo z izzivi v literaturi. Razpoložljivost podatkov je prikazana v tabeli 2.

Izkazalo se je tudi, da raziskovalci in strokovnjaki ne morejo z raziskavami prepoznati in predvideti vseh izzivov, ki jih prinaša uporaba ML pri operativnem planiranju proizvodnje. Na splošno smo pri prepoznavanju izzivov iz konkretnega primera ugotovili, da so ti enaki, ko gre za uvajanje ali uporabo katerekoli informacijske rešitve (ne le ML): za realno uporabnost v konkretni proizvodnji so potrebni popravki in dopolnila funkcionalnosti, izzivi so z izmenjavo in obsegom prometa podatkov in tudi s človeškimi navadami, ki izhajajo iz obstoječega procesa planiranja. Ugotavljamo, da drugih posebnih izzivov uvajanje ML za podjetje ne predstavlja.

Za natančne kvantitativne meritve učinkov na sam proces planiranja in na delo neposredno (planerji, mojstri, delavci) in posredno vključenih zaposlenih (tehnologi, pripravljavci osnovnih matičnih podatkov za planiranje) je od implementacije tehnologije ML na področje operativnega planiranja in razporejanja proizvodnje preteklo premalo časa, da bi lahko iz interpretacije meritev izločili vplive faze uvajanja oz. vpliv prehoda na spremenjen proces planiranja. Meritve bomo opravili

in primerjali s predvidenimi dobrotbitmi (skladno po pogodbi s ponudnikom rešitve) eno leto po implementaciji rešitve.

Literatura

- Anyoha, R. (2017). Sitn.hms. Pridobljeno iz The History of Artificial Intelligence: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>. 24. 2. 2022
- Banker, S. (2019). 20 Things To Know About Artificial Intelligence For Supply Chain Management. Pridobljeno iz forbes.com: <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2019/01/01/20-things-to-know-about-artificial-intelligence-for-supply-chain-management/?sh=3877b67a5371>. 24. 2. 2022
- Baryannis, G., Dani, S., Antoniou, G. (2019). Future Generation Computer Systems 101. Predicting supply chain risks using machine learning: The trade-off, str. 993–1004.
- Brown, M. (2020). Planning for the Supply Chain of the Future. APQC. Pridobljeno iz <https://www.apqc.org/resource-library/resource-listing/planning-supply-chain-future>.
- Cadavid, J. P., Lamouri, S., Grabot, B., Fortin, A. (2019). Machine Learning in Production Planning and Control: A Review of Empirical Literature. IFAC PaperOnLine 52–13, 385–390.
- Finlay, J., Dix, A. (1996). An introduction to Artificial Intelligence. London in New York: CRC Press.
- Goertzel, B., Wang, P. (2007). Advances in Artificial General Intelligence: Concepts, Architectures and Algorithms. Amsterdam: IOS Press. Pridobljeno iz https://books.google.si/books?hl=en&lr=&id=t2G5srpFRhEC&oi=fnd&pg=PA17&dq=different+definition+of+artificial+intelligence&ots=hBWskQPIR0&sig=41YNdC-I_FvFTtCXdy7euAHsmMc&redir_esc=y#v=onepage&q=different%20definition%20of%20artificial%20intelligence&f=false. 24.02.2022
- Günther, H.-O. (2005). Supply Chain Management and Advanced Planning Systems: A Tutorial. Berlin: Physica-Verlag Heidelberg.
- Hartley, J. L., Sawaya, W. J. (2019). Tortoise, not the hare: Digital transformation of supply chain business processes. Business Horizons, 707–715.
- Iriondo, R. (2018). Machine Learning (ML) vs. Artificial Intelligence (AI) — Crucial Differences. Pridobljeno iz <https://towardsai.net/p/machine-learning/differences-between-ai-and-machine-learning-1255b182fc6>. 24. 2. 2022
- Jacobs, F. R., Berry, W., Whybark, D., Vollmann, T. (2018) Manufacturing planning and control for supply chain management: the CPIM reference, 2nd edition. McGraw Hill
- James, A. (2021). 10 Supply Chain Trends to Watch for in 2022. ASCM Insights. Pridobljeno iz <https://www.ascm.org/ascm-insights/10-supply-chain-trends-to-watch-for-in-2022/>.
- Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., Abonyi, J. (2020). Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools. Computers in industry 123, 103300.
- Javatpoint. (2021). javatpoint.com. Pridobljeno iz <https://www.javatpoint.com/difference-between-artificial-intelligence-and-machine-learning>. 4. 3. 2021
- Kang, Z., Catal, C., Tekinerdogan, B. (2020). Machine learning applications in production lines: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering 149.
- Kenton, W. (2020). Supply Chain. Pridobljeno iz Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/s/supplychain.asp#:~:text=The%20functions%20in%20a%20supply,and%20a%20faster%20production%20cycle>. 24. 2. 2022
- Kletti, J. (2007). Manufacturing Execution System – MES. Springer. Kindle edition, May 1, 2007.
- Koesch, J. R. (2019). AutomationWorld. Pridobljeno iz The Role of MES in an IIoT World: <https://www.automationworld.com/home/article/21096844/the-role-of-mes-in-an-iiot-world>. 24. 2. 2022

- Payne, T., (2019). Supply Chain Brief: Counter the Four Evils of Supply Chain Planning to Improve Plan Quality, GartnerGroup. Pridobljeno iz <https://www.gartner.com/>.
- Phuyal, S., Bista, D., Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. Sustainable Feauters 2.
- PlanetTogether. (2019). planettogether.com. Pridobljeno iz The 5 Functions of Supply Chain Management: <https://www.planettogether.com/blog/the-five-functions-of-supply-chain-management>. 27.06.2019
- Qlector. (2022). Produkt Leap. Pridobljeno iz <https://qlector.com/qlector-leap.html>, 14.02.2021.
- Salley, A., Payne, T., Lund P.O. (2021). Magic Quadrant for Supply Chain Planning Solutions, GartnerGroup, Pridobljeno iz <https://www.gartner.com/>.
- De Santa-Eulalia, L. A., D'Amours, S., Frayret, J.-M., César, C. (2011). Supply chain management pathways for research and practice. Intechopen. Pridobljeno iz <https://www.intechopen.com/books/supply-chain-management-pathways-for-research-and-practice/advanced-supply-chain-planning-systems-aps-today-and-tomorrow>. 24. 2. 2022
- SCOR. (2017). Supply Chain Operations Reference Model, Version 12.0. APICS. Chicago.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems. Volume 48, Part C, Pages 157–169.
- 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.
- Zhang, L., Zhou, L., Ren, L., Laili, Y. (2019). Modeling and simulation in intelligent manufacturing. Computers in Industry 112, 103123.
- Zupan, S. (2010). Uvedba informacijsko podprtega terminiranja operacij v proizvodnji podbojev v podjetju LIP Bled: magistrsko delo. University of Ljubljana

VIZIJA DINAMIČNE VPETOSTI ERGONOMIJE V MANAGEMENT I4.0

ZVONE BALANTIČ,¹ BRANKA JARC KOVAČIČ²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
zvone.balantic@um.si

² ŠC Kranj, VSS, Kranj, Slovenija
branka.jarc@guest.um.si

Sinopsis Ergonomija je znanost, ki človeka povezuje z njegovim delom, pri tem pa proučuje anatomsko, fiziološko, mehansko, kognitivno in organizacijska načela vplivov na zmogljivost človeka pri delu. Opredeljuje tudi proces interdisciplinarnega proučevanja delovnih obremenitev ter iskanje razbremenitev, kadar obremenitev povzroča neudobje ali celo prekoračuje tolerančne okvire ergonomskih faktorjev. Z integracijo Industrije 4.0 v poslovne in produkcijske sisteme postaja klasična množična proizvodnja del zgodovine. Človek in ergonomija se prepletata s strategijo vitke proizvodnje, ki ima velik vpliv na stalno izboljševanje procesov, na celovito kakovost in na organiziranje delovnih ciklov. Tudi v strategiji vitke proizvodnje je človek ključni vitalni člen stremjenja k popolnosti in optimalnosti. V proces izboljševanja ekstremnih delovnih pogojev, ki jim je človek izpostavljen, vključujemo avtomatizacijo. Posebno je to pomembno pri apliciranju I4.0, saj stalna in neprekinjena izmenjava podatkov med ključnimi točkami procesa, obdelovanci, orodji, stroji, roboti in človekom v nove okvire postavlja tudi ergonomijo.

Ključne besede:

management,
ergonomija,
industrija 4.0,
inženiring,
digitalni dvojčki

VISION OF DYNAMIC INTEGRATION OF ERGONOMICS IN I4.0 MANAGEMENT

ZVONE BALANTIČ,¹ BRANKA JARC KOVAČIČ²

¹ University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
zvone.balantic@um.si

² ŠC Kranj, VSS, Kranj, Slovenija
branka.jarc@guest.um.si

Abstract Ergonomics is a science that connects man with his work, while studying the anatomical, physiological, mechanical, cognitive and organizational principles of influences on human performance at work. It also defines the process of interdisciplinary study of workloads and the search for reliefs when the load causes discomfort or even exceeds the tolerance limits of ergonomic factors. With the integration of Industry 4.0 into business and production systems, classic mass production is becoming part of history. Man and ergonomics are intertwined with a strategy of lean production, which has a great impact on the continuous improvement of processes, on overall quality and on the organization of work cycles. Even in the strategy of lean production, man is that vital link in the pursuit of perfection and optimality. We include automation in the process of improving the extreme working conditions to which humans are exposed. This is especially important when applying I4.0, as the constant and uninterrupted exchange of data between key process points, workpieces, tools, machines, robots and humans also places ergonomics in new frameworks.

Keywords:
management,
ergonomics,
industry 4.0,
engineering,
digital twins

1 Uvod

Kdo je človek? Tako preprosto vprašanje. Tudi odgovor bi moral biti preprost, saj človeka vendarle poznamo. Človek je vendar hodeče inteligentno bitje, ki komunicira in gestikulira, ustvarja civilizacijo in je bitje, ki premore največjo stopnjo zvokovnega sporazumevanja ... Človek zna razvijati ideje, zna upati in zna ljubiti. Ob tem zna tudi sovražiti in čutiti bolečino. Človek je postal zelo povezano družbeno bitje, ki živi v skupnosti in ustvarja v delovnih okoljih. Naštevati bi lahko do onemoglosti in bolj kot bi se oddaljevali od osnovne človeške strukture, bolj bi se zapletali v protislovja, celo bolj kot kjerkoli drugje. Človek se je razvijal v času in se prilagajal aktualnim spoznanjem, med katerimi se je vse bolj porajalo vprašanje produktivnosti, racionalizacije in humanizacije. Človek potuje vse hitreje v času in zaradi te hitrosti svet postaja majhen prostor, na katerem se gnete velika množica ljudi – vsak s svojo zgodbo, informacijo, odnosom do življenja, do soljudi in tudi do dela. Človek je največje čudo tega sveta, ki je vpeto v nešteto naravnih procesov v različnih okoljih. Za svoje življenje človek potrebuje svetlobo, zrak, vodo, hrano in ustrezno bivalno in delovno okolje. Energijo črpa iz osnovnih življenjskih elementov in jo želi pretočiti v smisel svojega življenja, ki ga išče tudi v delu in to v vseh življenjskih obdobjih. Ko človek začne uživati v smislu svojega dela in pri tem ne čuti fizikalnih, kognitivnih in organizacijskih utesnjenosti, je verjetno šel po poti, na kateri se je srečal z ergonomijo.

In kako dolgo se človek srečuje z ergonomijo? Dolgo, zelo dolgo, saj je že v pradavnini poskušal prilagoditi prva orodja, ki jih je iznašel in kasneje dodeloval. Arheološke najdbe dokazujejo, da je že pračlovek klesal in oblikoval enostavna orodja po svoji meri, da si je s tem olajšal delo. Vrednost ergonomije je zlahka razumljiva vsakomur, ki je kadar koli poskušal opraviti delo z napačnim orodjem. Ob uporabi neustreznega orodja lahko traja delo dlje ali pa ga sploh ne opravimo. Od tega je odvisna kakovost opravljenega dela in nenazadnje visoko tveganje za nastanek poškodb pri delu. Vse to lahko povzroči nezadovoljstvo in padec motivacije. Slabo načrtovanje delovnih mest lahko privede do neučinkovitosti, izpostavljenosti tveganjem, do povečanja števila nesreč in do odsotnosti z dela.

2 Ergonomija

Nekateri arheološki dokazi dokazujejo, da so Grki v 5. stoletju pr. n. št. pri načrtovanju orodij, dela in delovnih mest uporabljali ergonomska načela (Marmaras, Poulakakis, & Papakostopoulos, 1999). Podobno arheološki dokazi kažejo tudi, da so zgodnje egipčanske dinastije med drugim izdelovale orodje in gospodinjstvo opremo v skladu z ergonomskimi načeli (Okorji, 2022). Prvi, ki pa je v moderno okolje znanosti vnesel ime ergonomija, je bil Wojciech Bogumił Jastrzębowski (1799–1882). Znanstvenik, ki se je ukvarjal z raziskovanjem interaktivnih odnosov med človekom in delovnim okoljem, je leta 1857 pojem ergonomija uporabil v svojem članku z naslovom "Rys ergonomji czyli nauki o pracy, opartej na prawdach poczerpniętych z Nauki Przyrody" (Pregled ergonomije, tj. vede o delu na podlagi ugotovitev, ki izhajajo iz naravoslovnih ved) (Jastrzębowski, Koradecka, Baluk-Ulewiczowa, & Golebiowska, 1997).

Področje znanosti, ki jo danes imenujemo ergonomija, pa je uradno ime dobilo poleti leta 1949, ko se je skupina znanstvenikov zbrala v Oxfordu, v Angliji, da bi razpravljala o tematiki delovanja človeka. V omenjeni skupini so se zbrali strokovnjaki s področja anatomije, fiziologije, psihologije, medicine dela, industrijske higijene, projektiranja, študija dela, arhitekture, elektrotehnike, strojništva in vseh, katerih področje se je prepletalo s pojmom človeške zmogljivosti (Murrell, 1965). Na tem srečanju je bil predstavljen predlog, da bi skovali besedo za nastajajoče področje. Dogovorili so se za kombinacijo grških besed ergos (delo) in nomos (naravni zakoni). Skupina se je odločila sprejeti ta izraz in tako je znanstveno področje poimenovala ergonomija.

Znanstvena veja, imenovana ergonomija, izpostavlja držo pri delu in premikanje telesa v delovnem prostoru. Pri tem pogledu smo pozorni na sedenje in stanje ter na dviganje in premikanje bremen. Poleg teh parametrov so značilni še ostali fizikalni parametri, kot so svetloba, hrup, aerosoli, sevanja itd., ki vplivajo na fiziologijo dela in oblikovanje inženirskih in ostalih sistemov. Z ergonomijo je neposredno povezano varovanje in zdravje pri delu pri vseh delovnih pogojih in značilnostih in sposobnostih ljudi v posameznih življenjskih obdobjih.

Če preskočimo množico pomembnih mejnikov v razvoju ergonomije, lahko pojasnimo še sodobno ergonomijo, ki danes povezuje udobje in ugodje, zdravje ter produktivnost, kar pomeni, da prepleta medicinsko, biološko in inženirsko znanost. Med posameznimi znanstvenimi disciplinami se razvija interdisciplinarnost, ki povezuje medicino, biomehaniko, antropologijo, kineziologijo, fiziologijo, psihologijo, sociologijo, ekologijo, ekonomijo, organizacijo dela, teorijo sistemov, mehanski in industrijski inženiring in industrijsko oblikovanje. Skupno vsem naštetim pogledom je obravnavanje fizioloških in kognitivnih (spoznavnih) lastnosti človeka in njegovega delovnega okolja. Pri tem okolje ne pomeni samo delovno okolje, temveč tudi delovne naprave in material, metode človekovega dela in organizacijo le-tega. 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 zmožnostmi in s potrebami v sodobnem svetu je pozornost ergonomije usmerjena v sistem med človekom in okolico (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

Človek je najpomembnejši del organizacijskih struktur, saj je od njega odvisna pretočnost snovi, energije in informacij, s katerimi upravlja neposredno ali posredno. Gospodarska dejavnost je neposredno odvisna od človeka in njegove učinkovitosti, kjer pa ergonomija odigra zelo pomembno vlogo.

2.1 Sodobni pogled na ergonomijo

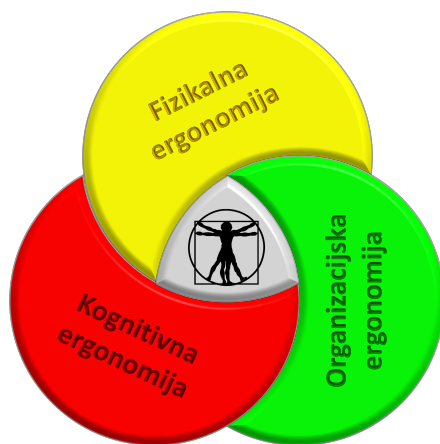
Ergonomija je tesno povezana z ekonomijo, saj pravilni pristopi v ergonomiji omogočijo racionalnejše delo in funkcioniranje družbe kot celote. Sodobne definicije vpletajo tudi trajnostni razvoj, ta pa načeloma predstavlja zadovoljevanje potreb aktualnega prebivalstva, ki ne gre na račun omejevanja potreb prihajajočih rodov (White, 2008). Ergonomsko urejanje delovnih okolij danes nima neposrednega vpliva na prihajajoče rodove, pa vendar se ergonomija ukvarja tudi z bivalnim okoljem, ki ga gradimo danes in v katerem bodo funkcionirale tudi naslednje generacije.

Dobra ergonomska načela krepijo družbeno odgovornost, ki je temelj trajnostnemu razvoju. Ergonomske principe je treba vgrajevati v izdelke in storitve ter v znanje, kar pa je potrebno stalno poglobljati. Nove tehnologije zahtevajo vzporedni razvoj ergonomije in njeno vključevanje na vseh možnih točkah. Ergonomija je za delodajalca sinonim za racionalizacijo in humanizacijo dela. Če pocenimo produkcijo

in pri tem poskrbimo za boljše počutje delavcev, ki so manj obremenjeni, potem smo se uspešno vključili v trajnostni razvoj družbe. Gospodarski in socialni razvoj ter varstvo okolja so trije glavni stebri trajnostnega razvoja in praktično povsod najdemo elemente ergonomije, ki jih vgrajujemo v vse tri stebre. Ergonomija preučuje človekove telesne in duševne zmožnosti, povezane z delom, delovnim okoljem in delovnimi obremenitvami. S preučevanjem prilagodljivosti dela (orodja, delovne naloge, delovni prostor, procesi ...) človeku omogočimo večjo učinkovitost pri opravljanju dela. Z ustreznim oblikovanjem vplivamo na uporabnost in varnost orodij, strojev in naprav ter delovnih in poslovnih sistemov.

Za ergonomijo je značilno, da v literaturi najdemo veliko definicij in še več pojasnil. Univerzalno definicijo lahko oblikujemo matematično logično, saj presek množic skoraj vseh definicij ergonomije predstavljata – optimizacija/racionalizacija in humanizacija dela. Pa vendar so našteje podmnožice lahko le del organizacijskega razumevanja ergonomije.

Sodobno razumevanje ergonomije, kot ga predstavljajo na številnih univerzah po svetu, je sicer dokaj kompleksno, vendar je v osnovi razdeljeno na področje fizikalne, kognitivne in organizacijske ergonomije (slika 1).



Slika 1: Sodobno razumevanje ergonomije v treh podsklopih – fizikalna ergonomija, kognitivna ergonomija in organizacijska ergonomija

Vir: lasten.

2.1.1 Fizikalna ergonomija

Fizikalna ergonomija (slika 2) se nanaša predvsem na anatomijo in antropometrijo človeka, na fiziološke in biološke lastnosti, povezane s prehrano ter fizično aktivnostjo. Človek vsa ta področja praktično srečuje pri stalno ponavljajočih se gibih pri delu. Človeka utrujajo neustrezni delovni položaji in s tem povezana mišična obolenja ter pojav ortopedskih deviacij. Zaradi neprimernih delovnih mest se lahko pojavijo kostno-mišična obolenja. V človeškem telesu potekajo metabolizem (katabolizem in anabolizem) in pretvorba energije, potrebna za življenje in dinamično delo. Gibajoče telo zahteva primeren gibalni prostor, ki je postavljen v okolje fizikalno merljivih parametrov (svetloba, zvok, koncentracija snovi, mikroklimatski parametri ...) (Balantič, 2012).



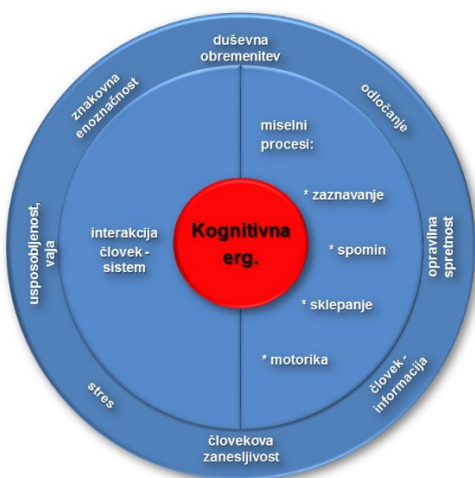
Slika 2: Fizikalna ergonomija

Vir: lasten.

2.1.2 Kognitivna ergonomija

Kognitivna ergonomija (slika 3) se ukvarja z miselnimi procesi, kot so zaznavanje, spomin, sklepanje in motorika ter interakcija med človekom in sistemom, v katerega je vključen (poslovni ali delovni sistem).

Človek to tematiko srečuje pri vsakokratnem odločanju in pri opravljeni spretnosti, kjer je ključnega pomena vsaka informacija, ki mora biti seveda ustrezno zajeta, obdelana in posredovana. Človek je načeloma manj zanesljiv kot stroj, vendar pa je človek še vedno ključni element povratnih zvez. Usposobljenost in stalna vaja omogočata vedno bolj zanesljivo in verodostojno povratno informacijo.



Slika 3: Kognitivna ergonomija

Vir: lasten.

Ob neustrezni uravnoveženosti miselnih transferov lahko prihaja do pojava stresa in drugih duševnih obremenitev. Ko omenjamo miselne procese, se že do neke mere povezujemo z organizacijsko ergonomijo. Miselni procesi morajo potekati enoznačno in morajo biti izzvani z ustreznim znakovnim in/ali miselnim sporočilom (Balantič, 2012).

2.1.3 Organizacijska ergonomija

Organizacijska ergonomija (slika 4) se ukvarja z optimizacijo, s humanizacijo in z racionalizacijo tehniških in poslovnih sistemov, poznavanjem organizacijskih struktur, politik in postopkov oziroma protokolov.

Ergonomska zasnova organizacije potrebuje zanesljivo komunikacijo v realnem in virtualnem delu organizacije in v duhu timskega dela. Kvantitativno vrednotenje potrebuje zanesljivo analizo delovnega časa. Okolica sistema potrebuje elemente makroergonomije, ki se interaktivno povezujejo z mikroergonomijo (slika 5). Ergonomska kultura v organizaciji se v paradigmi dela (vzorci in metode dela) kaže z dvigom kakovosti. Cilj je uravnotežen delovni sistem, ki se izkaže z zadovoljstvom pri delu in zavezanosti delu.



Slika 4: Organizacijska ergonomija

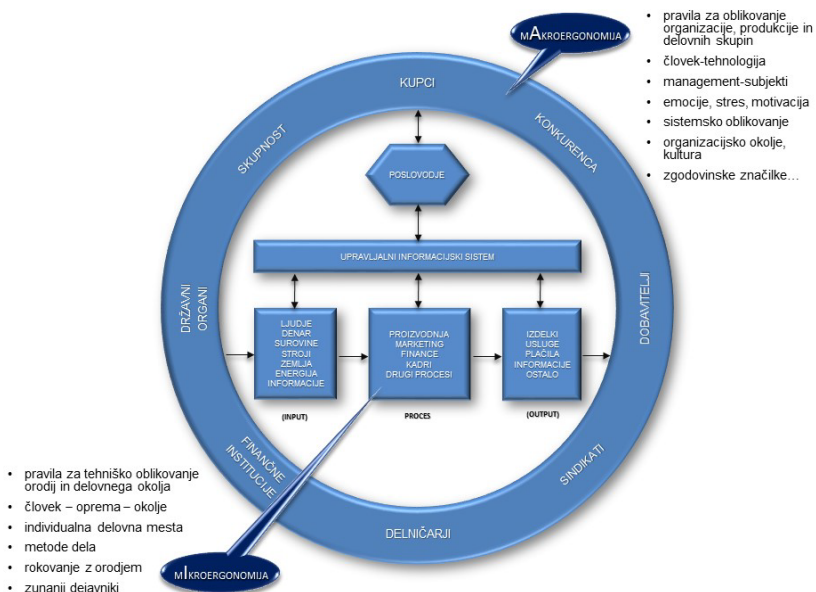
Vir: lasten.

Osnovno ravnotežje zahteva uravnoteženje elementov modela človek, okolje, orodja in tehnologija, organizacija in dejavnosti. Vsaka sprememba v sistemu medsebojno vpliva na elemente sistema. Za podjetje pomeni ergonomski proces konkurenčno prednost z vidika sprememb v organizaciji (Balantič, 2012).

2.2 Mikro- in makroergonomija

Človek najbolj občuti pozitivni ali negativni vpliv ergonomskih učinkov, ko ti delujejo v njegovi neposredni okolici oziroma v neposrednem mikro delovnem okolju. Ergonomijo, ki jo povezujemo z neposrednim procesom (proizvodnja, marketing, finance, kadri ...), vplivi na človeka iz okolja ter vplivi človeka na okolje, imenujemo mikroergonomija (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

Budnick (Budnick, 2001) definira ergonomijo kot proaktivno misel, kjer pravi, da ergonomija odpravlja ovire za kakovost, produktivnost in varno delovanje človeka v sistemu med človekom in strojem s povezavo proizvodov, opreme, orodja, sistemov, nalog, delovnih mest in okolja do ljudi.



Slika 5: Mikro- in makroergonomija v organizaciji

Mikroergonomija proučuje odnos med človekom, opremo in delovnim okoljem, obravnava individualna delovna mesta, metode dela, skrbi za pravilno rokovanje z orodjem in proučuje ter vključuje zunanje faktorje, ki vplivajo na delo. Mikroergonomija skrbi za pravilno tehniško oblikovanje orodij in delovnih okolij (slika 5).

Ergonomija omogoča tudi širši pogled na delovno okolje. V proces vstopajo od širše okolice odvisne spremenljivke, kot so kupci, konkurenca, dobavitelji, sindikati, delničarji, finančne institucije, državni organi, skupnost, v kateri se nahaja organizacija ... Vplivi te okolice se na mikrookolje prenašajo z vodenjem in drugimi vstopnimi in izstopnimi povezavami (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

Makroergonomija človeka povezuje s tehnologijo in z menedžmentom. Oblikovanje obravnava sistemsko. Odnosi med ljudmi vključujejo problematiko povezav med več delovnimi mesti, zato stres in motivacijo obravnavamo na nivoju makroergonomije. Makroergonomija spoštuje zgodovinske značilke in kulturne različnosti, ki pogojujejo organizacijske diferenciacije tudi pri sistemskem oblikovanju organizacije, produkcije in delovnih skupin.

Ustrezni ergonomski interakciji na mikro- in makronivoju omogočata učinkovito organiziranje delovnih procesov in izboljšujeta ekonomsko učinkovitost. Ker so cilji vsakega poslovnega sistema hitrejši tehnološki razvoj, večja prožnost in odzivnost, inovativnost in sposobnost prilagajanja razmeram na trgu, postaja ergonomija temelj dobre organizacijske klime in večje učinkovitosti človeka.

Ergonomija povezuje produktivnost, učinkovitost, varnost, udobje in ugodje med izvajanjem delovnih dejavnosti. Delovno dejavnost je treba prilagoditi človeku ter njegovim sposobnostim in ne obratno.

3 Ergonomska načela

Ergonomska načela so zelo pomembna za dvig zavedanja o pomenu ergonomije, ki ima neposredni in posredni vpliv na izdelke, storitve in nenazadnje na znanje. Če nam v organizaciji uspe izpostaviti ergonomska načela in oblikovati kulturo varnega dela, potem lahko računamo na dolgoročno stabilno zmanjševanje stroška dela, ki izhaja iz skrbi za varno in zdravo delo. Produktivnost v organizacijah se poveča zaradi zmanjšane števila telesnih poškodb, odsotnosti z dela (absentizma) in zmanjšanja števila napak zaradi nezbranosti ali zmanjšane telesne zmogljivosti zaradi bolnega zaposlenega na delovnem mestu (prezentizma). Oblikovana so štiri načela, ki jih je prvič predstavil McCormick (McCormick, 1970). Ti principi so uporabni za velik del problematike oblikovanj delovnih okolij, kjer se sprašujemo "*Kaj dati kam?*". Gre za razmišljanje o kontrolnih in kazalnih elementih, ki jih nameščamo za spremljanje in upravljanje procesov, kjer nastopi človek kot upravni sistem (kuhinje, stroji, trgovine, delavnice, baze podatkov, bolnice, banke ...) (Pheasant & Haslegrave, 2005). Ta načela so:

- načelo pomembnosti – najpomembnejši elementi morajo biti na najbolj dostopnih mestih;

- načelo frekvence – najbolj pogosto uporabljene stvari morajo biti na najbolj dostopnih mestih;
- načelo funkcije – stvari oziroma predmeti s podobnimi funkcijami morajo biti združeni v sklope;
- načelo sekvence – stvari, ki se običajno uporabljajo in pojavljajo v določenih zaporedjih, je treba umeščati v enakih zaporedjih.



Slika 6: 12 dejavnikov ergonomskega tveganja

Pogoj za dobro oblikovanje delovnega okolja je korektno sledenje ergonomskega načelom, toda vedno ne gre vse po načrtih. Ob tem se moramo zavedati določenih tveganj in se jim pravočasno izogniti.

Ocena tveganja je utečen izraz, ki v prvi fazi prepoznava nevarnost in identificira ogrožene osebe. V naslednji fazi ocenimo moč dejavnika tveganja in ta tveganja razvrstimo. V tretji fazi določimo protokol preventivnega ukrepanja, kateremu sledi dejansko ukrepanje. V zadnji, tj. peti fazi, pride na vrsto spremljanje izvajanja ukrepov in morebitno posodabljanje ukrepov.

Tudi na področju ergonomije poznamo morebitna neskladja s priporočili, ki lahko zelo hitro postanejo dejavniki tveganja v ergonomiji (slika 6), kjer lahko izpostavimo predvsem dolgotrajno sedenje in dolgotrajno stanje, nepravilno rokovanje z bremenimi, napačna gibanja v področju dinamične in statične antropometrije, težave z vidom, s sluhom, toploto ...

Konkretizacija ergonomskih načel je v vsaki organizaciji praktično neomejena.

4 Kibernetiski sistem človek – stroj

Z receptorji človek od stroja oziroma delovnega okolja sprejema podatke o karakteristikah procesa. V tej povratni zanki sodelujejo kazalni oziroma kontrolni elementi. Pri tem je izredno pomembno ergonomsko oblikovanje in razporejanje teh elementov. Ustrezna postavitve omogoča celovitejši nadzor procesa, od koder prihajata vidna in zvočna informacija. Skoraj 80 % informacij človek sprejema skozi oko, tj. čutilo vida, v obliki svetlobnih signalov. Človek v obliki zvoka skozi uho sprejme približno 13 % celotnih informacij. Preostale informacije se običajno porazdeli na otip, vonj in okus (Balantič, 2012).

Človek in delo sta že vseskozi nerazdružljiva člena v kibernetiskem sistemu, imenovanem regulacijski krog. V tej sistemski zanki človek nastopa kot upravni sistem (US), delo oziroma delovno okolje pa kot objekt upravljanja (OU). Od US pa do OU potuje informacija po osnovni zvezi (OZ) in se vrača po povratni zvezi (PZ). V sodobni praksi si želimo, da bi delo potekalo povezano in brez prekinitev, zato je treba poskrbeti za zaključen regulacijski krog (slika 7), ki je razpet med US in OU. Marsikdaj se dogaja ravno obratno, ko vlogo US prevzame delovno okolje, ki vpliva na OU oziroma človeka. Seveda taka situacija ergonomsko ni sprejemljiva (Balantič, 2012).



Slika 7: Temeljni kibernetiski sistem med človekom in strojem

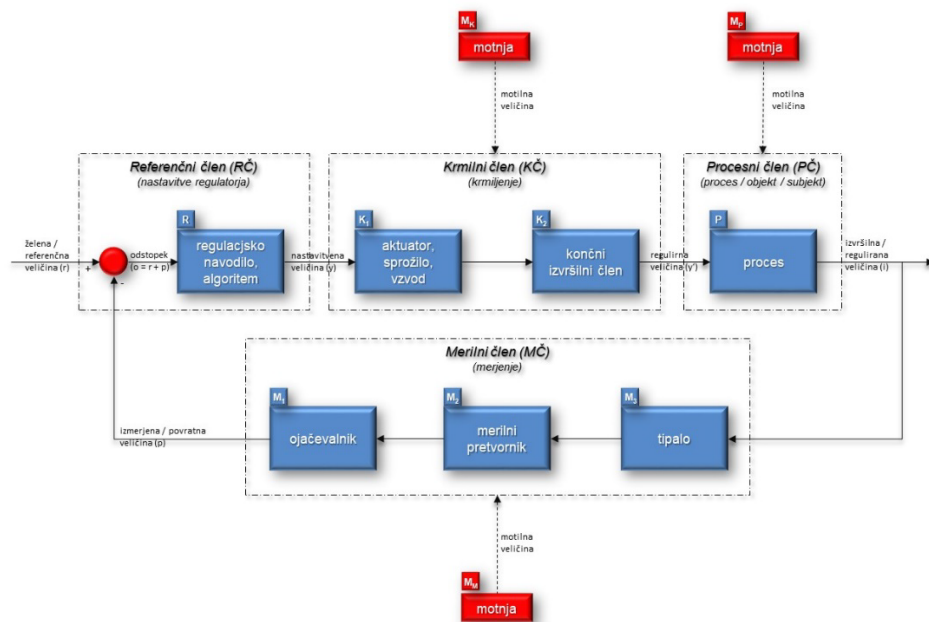
Vir: lasten.

V regulacijskem krogu mora veljati zaupanje in prepričanje, da bodo vse povratne informacije korektno obdelane in vgrajene v izboljšane komunikacijske procese (Balantič, Fležar, & Balantič, 2005; Balantič, 2002).

Za obravnavanje in obdelavo informacij tudi na področju ergonomije je potreben referenčni člen (RČ), ki primerja podatke o resničnem poteku procesa z zahtevami za njegov potek. V primeru odstopanj od zahtev mora sprožiti potrebne spremembe v delovanju. V referenčnem členu (RČ) so zapisane zahteve za delovanje sistema. V sporočilni poti sledi t. i. krmilni člen (KČ), ki krmili procesni člen (PČ) in tako ustrezno modulira (spreminja) signal oz. informacijo. KČ krmili informacijski tok v PČ in s tem omogoča in hkrati regulira opravljanje posamezne delne funkcije. Pomnilnik mora biti dovolj neposredno povezan z merilnim členom (MČ), lahko pa je celo njegov sestavni del. MČ zbira podatke o resničnem (dejanskem) poteku procesa. MČ ugotavlja, kakšen je izhod iz PČ – neposredno uravnavanje, in ugotavlja, kakšno je delovanje PČ – posredno uravnavanje. Podatke, ki jih zbere MČ, je potrebno urediti, razvrstiti, primerjati v RČ.

Vseskozi se v celem sistemu lahko pojavljajo motnje, ki delujejo na vse člene regulacijskega kroga, najpogosteje pa delujejo na procesni člen (PČ), krmilni člen (KČ) in tudi na merilni člen (MČ).

Motnje (vplivi iz okolja) povzročajo, da sistem ne deluje tako, kot je zahtevano s smotrom delovanja. Izhodna veličina (i) se ne ujema z zahtevami oz. procesni člen (PČ) ne deluje v skladu z zahtevanim alternativnim predpisom za delovanje. Sistem naj ima sposobnost nevtraliziranja vpliva motenj (če so v pomnilniku vsebovana vsa odstopanja od zahtevanega delovanja) (slika 8) (Balantič, Jarc Kovačič, & Balantič, 2014).



Slika 8: Osnovna struktura regulacijskega kroga

Vir: lasten.

5 Industrija 4.0

Pametne tovarne in pametni izdelki. Ko se srečamo s pojmom Industrija 4.0, verjetno večina pomisli prav na navedeni vzklik, toda tudi najbolj sodobna tovarna ni pametna kar sama po sebi.

Industrija 4.0 (I 4.0) v bistvu sloni na realno uporabni kibernetiki (ključni element je povratna zveza/merilni člen (slika 8)), na internetu stvari (IoT), računalništvu v oblaku in na kognitivnem računalništvu. To iniciativo je oblikovala in podprla nemška vlada. V ZDA tega pojma ne poznajo, pač pa se podobna iniciativa imenuje Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC). To iniciativo pa so podprle velike multinacionalke.

Izraz I4.0 izhaja iz pobude, ki jo je nemška zvezna vlada predstavila na hannovrskem sejmu leta 2001. Abstraktna ideja o industriji 4.0 je kmalu prerasla v strategijo nemških podjetij, katere cilji so usmerjeni v ustvarjanje pametnih izdelkov, postopkov in procesov ter pametnih tovarn. Strategijo I4.0 je podprla celotna

Evropska unija, in sicer tudi finančno preko številnih razpisov v okviru evropskega raziskovalnega programa Horizon 2020. Slovenija je cilje I4.0 integrirala v Strategijo pametne specializacije (SPS) (Evropski strukturni in investicijski skladi, 2017).

Pametne tovarne so sposobne izdelovati dobrine z večjo učinkovitostjo in so manj podvržene zunanjim vplivom ter zastojem. V pametni tovarni bodo ljudje, stroji, izdelki in drugi viri komunicirali drug z drugim na način, kot to omogočajo socialna omrežja. Objekti v pametni tovarni bodo lahko sami komunicirali s kupci in z dobavno verigo. S tem bodo močno povečali učinkovitost proizvodnega procesa ter poskrbeli za skrajšanje pretočnih časov (Herakovič, 2015).

Ko razmišljamo o razvoju in rasti, moramo upoštevati, da se v Sloveniji veliko podjetij in organizacij ni sposobno transformirati v okvire I4.0 z razvojem visokotehnoloških izdelkov, zato je smiselno razmišljati o zniževanju proizvodnih stroškov. Ob tem razmišljanju se takoj pojavi pojem "lean" oz. vitkost. Danes je v splošni uporabi nešteto izdelkov iz nabora sodobne informacijsko-komunikacijske tehnologije (pametni telefoni, tablice, prenosniki, storitve v oblaku, kolaborativni roboti ...), ki pa zaenkrat še ne izkoriščajo polne tehnološke danosti. Današnja proizvodnja je še vedno preveč "ožičena" in premalo dosledna glede natančnega pozicioniranja izdelkov v prostoru, prepoznavanja trenutnega stanja v delovnem okolju in s tem s premajhno možnostjo deterministične doslednosti v tehnoloških postopkih.

Zaradi zunanjih konkurenčnih dejavnikov, predvsem zaradi pritiska trga po krajših delovnih ciklih oz. po skrajšanju pretočnih časov, zaradi potreb po bolj individualizirani proizvodnji, zaradi povečane mednarodne konkurence in tudi zahtev po visoki in ponovljivi kakovosti izdelkov itd. uvajamo v proizvodnjo različne spremembe in optimizacijske pristope, kot sta vitka organizacija in modularna gradnja sistemov, procesov in tudi izdelkov, namesto hierarhičnosti distribuiranih sistemov, brezžične komunikacije, spreminjajoče se lokacije modulov proizvodnih sistemov, natančnega pozicioniranja delov in izdelkov, da vemo, kje so itd. Vsi ti ukrepi zagotovo prispevajo k povečanju učinkovitosti in konkurenčnosti proizvodnje in k bolj racionalni rabi energije. Še vedno pa to ni pametna tovarna. Pametni izdelki, stroji, postopki, procesi itd. so fokus I 4.0. Vse skupaj lahko imenujemo pametne tovarne, ki so ključni steber I 4.0 in bodo morale biti sposobne upravljati kompleksne procese ter sisteme, izdelovati dobrine z večjo učinkovitostjo in biti manj podvržene zunanjim vplivom ter zastojem. V pametni tovarni bodo

ljudje, stroji, izdelki in drugi viri komunicirali drug z drugim, kot to omogočajo socialna omrežja. Posebej je mogoče treba poudariti, da bodo lahko objekti v pametni tovarni sami komunicirali s kupci in predvsem tudi z dobavno verigo, s čimer bodo močno povečali učinkovitost proizvodnega procesa ter skrajšali pretočne čase. Zaradi vsega navedenega bo morala imeti pametna tovarna standardizirane mrežne vmesnike, ki bodo omogočili komunikacijo, edinstveno identiteto in spomin, avtonomnost, možnost lokaliziranja v vsakem trenutku in, kar je še posebej pomembno, vsi procesi, postopki, izdelki, stroji in storitve bodo morali biti popisani z modeli v digitalnem okolju (Herakovič, 2016).

V vsem tem informacijskem blodnjaku bo potrebno poskrbeti za varnost podatkov, saj se bo celotno delo preselilo v oblak in na tuje najete strežnike. Ogromne količine podatkov se bodo pretakale v realnem času, na informacijskih odvezemnih točkah pa bo potrebno podatke selekcionirati in jih zaupati za to odgovornim in verificiranim subjektom.

6 Digitalni dvojčki

6.1 Modeliranje

Kako načrtovati in preizkusiti velike delujoče sisteme, npr. ladje, letala, turbine ipd.? Klasična znanja s področja modeliranja nas seznanjajo z modelno teorijo, s katero si pomagamo pri preizkušanju izjemno dragih izdelkov. Proučevanje kompleksnih lastnosti velikih sistemov je povezano z modelno teorijo in uporabo brezdimenzijskih števil, kot so Reynoldsovo število (Re) za pretok tekočin, Arhimedovo število (Ar) za proučevanje vpliva gostote tekočin, Rayleighovo število (Ra) za proučevanje vzgona tekočin, Eulerjevo število (Eu) za proučevanje hidrodinamike, Strouhalovo število (Sr) za dinamiko tekočin, Machovo število (Ma) za dinamiko plinov, Sherwoodovo število (Sh) za prisilni prestop toplote, Nusseltovo število (Nu) za prenos toplote, Pecletovo število (Pe) za prestop toplote itd. Našteli smo nekaj klasičnih brezrazsežnih števil, ki jih uporabljamo v energetskem strojništvu. Uporaba teh modelnih števil morda še najbolj spominja na sodobno obliko modeliranja, ki ga dandanes izvajamo s pomočjo digitalnih dvojčkov – DD (angl. Digital Twin - DTwin). Digitalni dvojček je v bistvu digitalni dvojnik določenega fizičnega predmeta ali procesa, ki ga lahko proučujemo v digitalnem svetu, ugotovitve pa prenesemo v realno fizično okolje, le da tokrat nimamo v mislih le naštetih brezdimenzijskih števil, pač pa neskončno množico

abstrahiranih primerov, kjer pri proučevanju zanemarimo nepomembne veličine in se ukvarjamo le s tistimi, ki imajo za delovanje realnega sistema ključni in vsebinski pomen. Miselna izhodišča, ki temeljijo na proučevanju razmerij pri modelih, lahko s pravilnim razumevanjem neovirano prenesemo v realno okolje. Več spremenljivk je vsaka za sebe lahko sestavljena iz podobnih razsežnosti, kar pomeni, da število spremenljivk lahko zmanjšamo za število teh podobnih razsežnosti. Preostane nam neodvisnost neodvisnih brezrazsežnostnih količin, s katerimi lahko pri simulaciji v modelni teoriji lažje operiramo. Te brezrazsežnostne količine lahko ustvarjamo sami in jih uporabljamo v svojih (lokalnih) primerih. Pri tem nam pomagajo simulacijska orodja, ki npr. na področju ergonomije omogočijo proučevanje delovnih obremenitev pri določeni vrsti človeka (npr. zdrava mlajša ženska, srednje rasti, določenih antropometričnih razmerij, ki živi v centralnem delu Evrope ...). Ob predpostavki, da poznamo vse ergonomske relacije, lahko pridobljena spoznanja simuliramo in tako proučujemo popolnoma drugo vrsto človeka (visokorasli starejši moški, ki živi v Južni Afriki in ima probleme s hrbtenico). Torej nam za razvoj digitalnega vzporednega sveta preostane zbiranje podatkov in proučevanje interaktivnih neodvisnosti, ki jih ujamejo v nabor dinamičnih brezrazsežnostnih količin. V primeru aplikacije na področju ergonomije posežemo po podatkih iz realnega okolja, ki jih modeli potrebujejo za približevanje dejanskim stanjem (podatki o delavcih, opremi, postavitvi, procesu, metodah, kakovosti, starosti, varnosti ...). DD, ki uporabi podatke, vsebuje običajno uporabljene standardizirane ergonomske metode (OWAS, RULA, REBA). Sodobni modeli temeljijo na senzoriki, umetni inteligenci, fiziki, medicini in inženiringu. DD običajno vsebuje vmesnik, s pomočjo katerega lahko pri simulaciji zajemamo dinamične podatke iz realnega okolja in jih vključujemo v simulacijo.

V ergonomskih modelih je raven abstrakcije uporabniku zelo prijazna. Simulacije so običajno zelo razumljive in prilagojene razumevanju brez dodatnih konverzij pretakajočih se informacij in signalov. Večina modelov je zgrajena modularno z namenom, da jih lahko dograjujemo v večje in bolj kompleksne hierarhične modele (komponenta DD, sestav, proizvodna linija), združenja (povezave med DD) in Peer-to-peer sisteme (združenja DD, ki opravljajo enake ali podobne funkcije) (Balantič, Balantič, & Jarc Kovačič, 2021).

6.2 Razvojna pot DD

Zgodovinski začetek obdobja digitalnih dvojčkov pripisujemo kultnemu klicu na pomoč "Houston, we've had a problem", ki ga je tretji dan misije iz lunine orbite na 330.000 km oddaljeno zemljo poslal astronaut Apollo 13, John L. Swigert. Leta 1970 je namreč na vesoljski ladji Apollo 13 prišlo do eksplozije rezervoarja z utekočinjenim kisikom, pri čemer je začel kisik uhajati. K sreči so v vesoljski bazi na zemlji imeli kopijo Apollo 13, na katerem so nemudoma stekla proučevanja in simulacije čiščenja kisika. Na podlagi "dvojčka" Apollo 13 so znanstveniki na zemlji našli rešitev za nastalo situacijo in astronautom posredovali realna navodila za varen povratek domov (NASA, 2020).

Izraz DTwin je bil prvič uporabljen v knjigi *Mirror Worlds* Davida Gelernterja (Gelerter, 1991), koncept DTwin v proizvodnji pa je prvič uporabil Michael Grieves s Florida Institute of Technology, ki je digitalnega dvojčka predlagal kot konceptualni model upravljanja življenjskega cikla izdelka (PLM) (Grieves, 2019). Koncept digitalnih dvojčkov je sestavljen iz treh ločenih delov: fizičnega izdelka, digitalnega/navideznega izdelka in povezav med obema izdelkoma. Povezave med fizičnim izdelkom in digitalnim/navideznim izdelkom so podatki, ki prehajajo iz fizičnega izdelka v digitalni/navidezni izdelek, in informacije, ki so na voljo iz digitalnega/navideznega izdelka v fizično okolje (Piascik, et al., 2010).

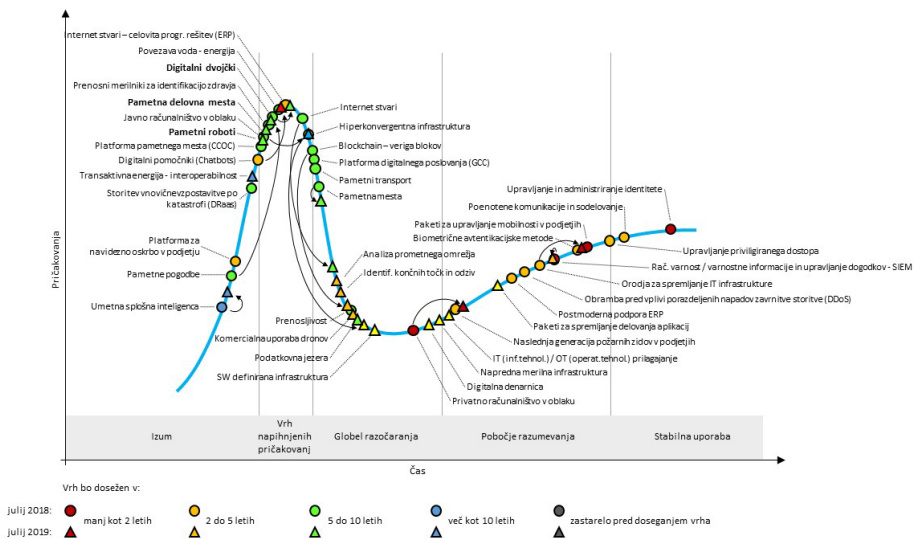
Sodobni dodelani digitalni modeli nam omogočajo pridobivanje in izjemno hitro obdelovanje trenutno zabeleženih fizikalnih podatkov. Analiza teh podatkov omogoča tekoče spreminjanje in prilagajanje odločitvenih postopkov tudi na bazi deduktivne logistike znanih postopkov in njihovih izidov. Vključevanje in rast umetne inteligence (angl. Artificial Intelligence – AI) z vsakim novim trenutkom izboljšuje in krepi povezanost digitalnih dvojčkov v realnem svetu sodobnih sistemov.

6.3 Razvoj tehnologij

Gartner, Inc., ki je vodilno svetovno raziskovalno in svetovalno podjetje in je član S&P 500 (cca. 80 % razpoložljive svetovne tržne kapitalizacije), opredeljuje pojav in razvoj tehnologij, ki v različnih obdobjih dosežejo različne razvojne nivoje. Kdor spremlja omenjene trende, ugotavlja, da se v določenem obdobju na Gartnerjevi

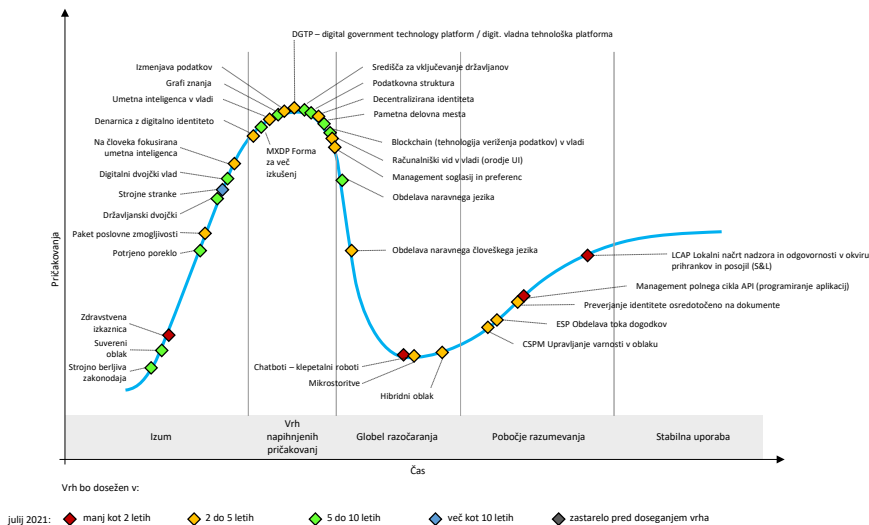
krivulji pričakovanj pojavi določena tehnologija ali struktura, ki ji strokovnjaki napovedujejo razvoj ali zamiranje.

V hitro spreminjajočem se svetu nenehnega razvoja postane današnji dan takoj zgodovina. Če naredimo časovni presek v letih 2018 in 2019 (slika 9), lahko vidimo dinamiko nekaterih tehnologij (premiki na krivulji pričakovanj, označeni s puščicami). Med temi tehnologijami najdemo tudi DTwin/DD, ki je ob prehodu 2018/19 celo okrepil svoj položaj (Gartner, 2018; Gartner, 2019). Na samem vrhu pričakovanj so se poleg digitalnih dvojčkov v omenjenem napovednem območju nahajala tudi pametna delovna mesta in nenazadnje tudi pametni roboti (slika 9).



Slika 9: Splošna uveljavitev tehnologij v 5 do 10 letih glede na leti 2018 in 2019

Vir: (prirejeno po Gartnerju iz leta 2018 in 2019)



Slika 10: Najboljši strateški tehnološki trendi Gartner za leto 2021

Vir: (prirejeno po Gartnerju iz leta 2021)

Digitalni dvojčki niso bili edina nova tehnologija, pač pa moramo v tem sklopu omeniti še internet stvari (IS, angl. Internet of things - IoT), umetno inteligenco (UI, angl. Artificial Intelligence - AI), veriženje blokov (VB, angl. Block Chain - BC) in strojno učenje (SU, angl. Machine learning - ML).

Če natančneje pogledamo določene tehnologije, npr. Internet stvari (IoT), vidimo, da so "napihnjena pričakovanja" v letu dni zdrsnila v "globel razočaranja". Danes je ta tehnologija že v področju razumevanja in stabilne uporabe. Privatno računalništvo v oblaku je imelo tako v letih 2018 in 2019 velik potencial z napovedjo doseganja vrha v manj kot dveh letih, kar se je po ocenah strokovnjakov tudi zgodilo. V letih 2018/19 se je veliko pričakovalo od t. i Chatbotov (klepetalni roboti/digitalni pomočniki), medtem ko jih v napovedi iz leta 2021 najdemo že blizu dna "globeli razočaranja" (slika 10).

Določeni trendi so popolnoma novi, izrazi zanje pa so v mednarodnem prostoru že oblikovani. Žal pa vsi izrazi še niso oblikovani v slovenskem jeziku, zato dopuščamo možnost, da se bodo z leti oblikovali in privzeli nekoliko drugačna imena, kot ta, ki jih opisujemo.

Gartner na svoji spletni strani že ponuja napoved za 12 najbolj vidnih tehnoloških trendov za leto 2022 (Gartner, 2022):

1. Data Fabric/podatkovna struktura
2. Cybersecurity Mesh/mreža kibernetne varnosti
3. Privacy-Enhancing Computation/računalništvo za izboljšanje zasebnosti
4. Cloud-Native Platforms/oblačne izvorne platforme
5. Composable Applications/sestavljive aplikacije
6. Decision Intelligence/inteligenca odločanja
7. Hyperautomation/hiperavtomatizacija
8. AI Engineering/inženiring umetne inteligence
9. Distributed Enterprises/porazdeljena podjetja
10. Total Experience/popolna izkušnja
11. Autonomic Systems/avtonomni sistemi
12. Generative AI/generativna umetna inteligenca

Predvidevamo, da bo čez nekaj let vsa našeta tehnologija postala cenena oz. dostopna na vsakem koraku, zato jo bomo lahko vse bolj pogosto srečali tudi na področju ergonomije.

Vemo, da so v vseh časovnih obdobjih montažne linije najbolj zapleteni delujoči sistemi, odvisni od nešteti faktorjev in medsebojno povezanih spremenljivk. Take sisteme danes vodijo neposredni vodje, ki s svojimi izkušnjami in znanji obdelujejo podatke in načrtujejo delo s preprostimi cilji, ki vodi do pozitivne ekonomike podjetja. Višji nivo odločanja vključuje tudi sisteme za podporo odločanju, ki jih imenujemo digitalni dvojčki (DD). Z njihovo pomočjo lahko simuliramo zelo specifične zahteve, ki izhajajo iz različnosti zaposlenih, kot je antropometrija človeka, rasa, spol, starost, stopnja stresa, pojav utrujenosti, bolezen itd.

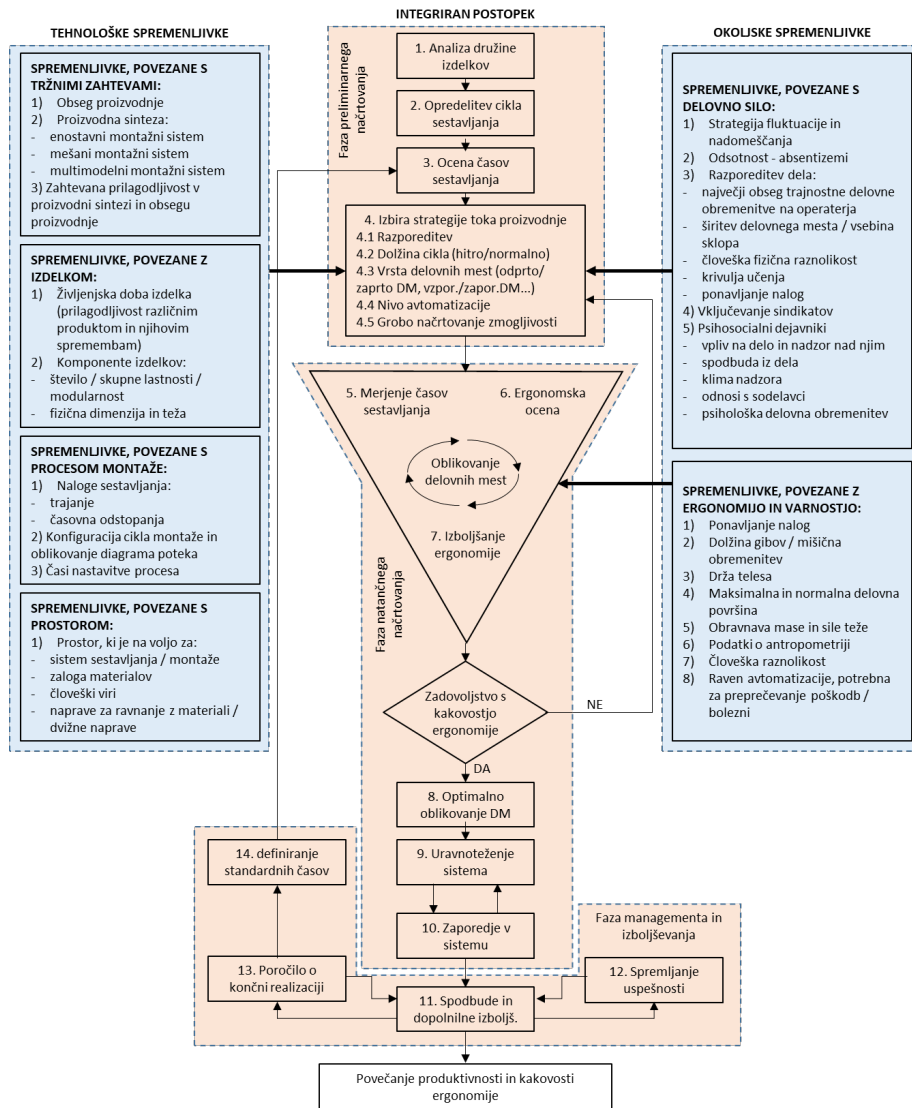
Najbolj izpostavljena so področja, kjer v danem trenutku ni na razpolago dovolj znanja in resursov, kar se pogosto pokaže pri načrtovalcih (tehnologi, konstruktorji, organizatorji, logistiki ...), ki včasih premalo poznajo ergonomijo ali ji ne posvečajo dovolj pozornosti. Razveseljivo je, da se v organizacijah vse bolj zavedajo, da mora ergonomija postati del inicialnih zahtev oblikovanja delovnih mest, kjer je potrebno proaktivno prepoznavanje ergonomskega tveganja že v fazi načrtovanja. Priložnost upoštevanja vseh ergonomskih načel se skriva v uporabi DD, kar nam že danes

omogoča sodobna računalniška podpora s simulacijami del na proučevanih delovnih mestih (Balantič, Balantič, & Jarc Kovačič, 2021).

7 Metodološki okvir izboljšanja produktivnosti in ergonomije

V metodologiji načrtovanja delovnih mest se pogosto srečamo z dejstvom, da ergonomsko oceno izdelajo strokovnjaki s področja ergonomije, delovna mesta pa načrtujejo konstruktorji in tehnologi. Zaradi teh razhajanj se pogosto soočamo s produktivnostjo, nižjo od želene. Zaradi teh morebitnih pomanjkljivosti lahko v načrtovanje izboljšav vključimo fizikalno, kognitivno in organizacijsko ergonomijo, metode študija dela, medicino dela itd.

Na sliki 8 je prikazan konceptualni okvir, razvit za oceno načrtovanja in optimizacije sistema montaže, ki povezuje produktivnost z vidiki ergonomije. Model prikazuje vse glavne spremenljivke in odločitve, vključene v integrirani postopek. Postopek je sestavljen iz treh različnih delov – tehnoloških spremenljivk, okoljskih spremenljivk in integriranega postopka. Tehnološke spremenljivke sestavljajo spremenljivke, povezane s tržnimi zahtevami, značilnostmi izdelka, montažo in razpoložljivim prostorom za proizvodnjo izdelka. Okoljske spremenljivke sestavljajo vse spremenljivke, povezane z delovno silo in njeno fiziološko in psihološko varnostjo ter dobrim počutjem, upoštevajoč tudi psihosocialne dejavnike.



Slika 11: Metodološki okvir za potrjevanje zasnove oblikovanja delovnega mesta na podlagi ergonomskih analiz

Vir: prirejeno po (Battini, Faccio, Persona, Sgarbossa, 2011)

Diagram poteka (slika 11) prikazuje integrirani postopek, razčlenjen v 14 korakov, ki so zajeti v tri faze:

- faza preliminarnega načrtovanja (1, 2, 3 in 4),

- faza natančnega načrtovanja (5, 6, 7, 8, 9 in 10) in
- faza managementa in izboljševanja (11, 12, 13 in 14).

Metodološki okvir za potrjevanje zasnove oblikovanja delovnega mesta na podlagi ergonomskih analiz je možno prilagajati specifičnim potrebam organizacije, zato ni presenetljivo, če izvorni model najdemo v mnogih izpeljankah.

Ergonomija vstopa v fazo natančnega načrtovanja (od 5. do 10. koraka), kjer začnemo z merjenjem časov sestavljanja in vrednotenjem skozi ergonomsko oceno (OWAS, RULA, REBA, OCRA, SI indeks ...) in uvedemo izboljšave, ki vodijo do optimalno oblikovanega delovnega mesta. Ob zaključku te faze nam preostane še uravnoteženje sistema (Balantič, Balantič, & Jarc Kovačič, 2021).

V praksi najdemo celo vrsto vrhunskih orodij za modeliranje in simulacijo virtualnega dela v virtualnih okoljih. Modeli omogočajo osupljivo prilagoditev človekovih značilnosti realnim okoljem, v katerih dejansko potekajo obremenitve zaradi dela. Pri tem lahko simuliramo obremenilna tveganja in preverimo oceno tveganja, odkrivamo nevarnosti pri delu, preverimo udobje na delovnem mestu, dosege telesnih segmentov/okončin, preglednost, utrujenost, meje zmogljivosti itd. Uporaba takih orodij lahko prihrani čas in zmanjša stroške ergonomskih analiz. Najbolj znana orodja so Siemens Technomatix Jack, NAWO ergo simulation (Raschke & Cort, 2019). V zadnjih letih pa se na trgu pojavlja tudi orodje ViveLab Ergo.

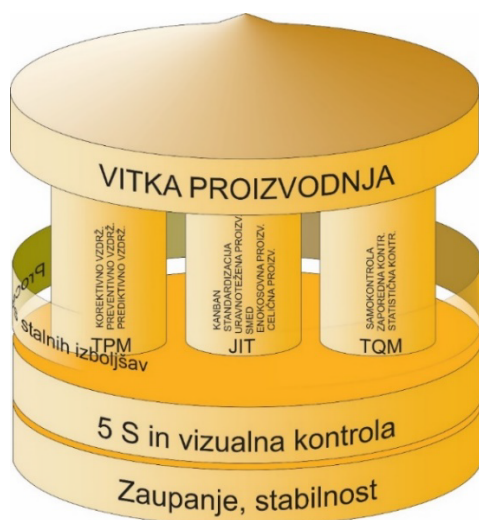
8 Vitkost

Pogosto rečemo, da je ergonomijo potrebno živeti, saj je to pravzaprav razmišljanje o optimalnem delovnem prostoru, minimalnih obremenitvah, humanizaciji dela, racionalizaciji in podobnem – živeti ergonomijo je neke vrste življenjska filozofija, ki se vsak trenutek zaveda korektnih relacij med človekom in okolico. Nekaj podobnega bi lahko trdili tudi za vitkost, ki jo vpeljemo v proizvodnjo, le da jo razumemo kot neke vrste minimalizem v proizvodnji/proizvodnji. Vitka proizvodnja (angl.: Lean production) mora biti vseobsegajoč projekt lastnikov, managementa, razvoja, konstrukcije, tehnologije, proizvodnje, marketinga, vzdrževanja in skupnih, presečnih enot določene organizacije oz. podjetja. V okviru vitke proizvodnje teče

veliko bolj ali manj znanih ter bolj ali manj uspešnih procesov, kot so Just in time, Kaizen, 6 sigma, 5S oz. 6S, TQM, SMED, OEE ... (slika 12)

Vsi procesi si prizadevajo delo opraviti z minimalnimi časovnimi in ekonomskimi izgubami, filozofija vitkosti želi odpraviti neproduktivne zastoje, želi zmanjšati transport, zaloge, želi odpraviti pojav nenačrtovanih napak, kadrovske zablode ... V okviru filozofije vitkosti naj bi delo opravili s čim manjšim človeškim naporom in največjo stopnjo kakovosti. Želimo se hitro odzivati in slediti željam kupcev ter učinkovito proizvajati produkt z zagotovljenim kakovostnim vzdrževanjem. V tem procesu je človeku dodeljen dobršen del odgovornosti, saj je s sistemom vlečenja materiala skozi proizvodnjo (angl.: pull) prevzel stalno kontrolo kakovosti vsak posameznik sam.

Trije stebri in dva procesa z vidika ergonomije osvetljujejo pogoje dela za človeka na določenem delovnem mestu, omejevanje obremenitev, zmanjševanje vplivov okoljskih parametrov na človeka, oblikovanje delovnih priprav in postopkov dela s skrbjo za zdravje zaposlenih itd. Delo je treba oblikovati tako, da se poleg manjše obremenjenosti zaposlenega zmanjšajo tudi izgube časa in materiala ter da omogočimo še višjo kakovost.



Slika 12: Osnovni elementi vitke proizvodnje

Vir: (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016)

Pri načrtovanju moramo biti še posebej pozorni na izboljševanje varnosti in zdravja pri delu. Oblikovanje lahko razdelimo na štiri osnovna področja, in sicer ergonomsko oblikovanje delovnega mesta, študij gibov, oblikovanje in uporaba delovnih priprav ter tehnološko oblikovanje.

Če hočemo, da sistem v praksi deluje, je treba zaposlene poučiti in jih spodbujati k zavestnemu razvoju vitkega razmišljanja. Strategija vitkosti je na prvi pogled enostavna, vendar je dejansko bolj zapletena, saj od vsakega zaposlenega zahteva spremembo filozofije proizvodjanja (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

9 Integracija ergonomije v I4.0

I4.0 bo s pomočjo informacijske tehnologije preko omrežij informacijskih sistemov povezala stroje, naprave, procese, delovna sredstva in tudi aktivne upravjalce – ljudi, ki bodo sodelovali v teh sodobnih procesih. Vsa informacijska tehnologija, ki je trenutno v uporabi, in rešitve, ki šele prihajajo (inteligentni vid, uporaba dronov, avtonomija upravljanja sistemov, krajšanje delovnega časa ...), se bo kljub skokovitemu razvoju morala ukvarjati tudi z vprašanjem človeških faktorjev, ki se spreminjajo v okvirih evolucije. Človek se bo še naprej moral ukvarjati s težavami zaradi preobremenitev, ki bodo v prihodnosti morda fokusirane v drugačno polje naše biti. Že danes se ukvarjamo s težavami, ki se kažejo v kostno-mišičnih obolenjih. Prav te težave se še vedno vztrajno povečujejo in pomikajo v vse bolj zgodnje življenjsko obdobje. Čeprav v okviru I4.0 govorimo o avtomatizaciji in prepletenosti raznih krmilnih in regulacijskih sistemov, bodo človeški faktorji še vedno postavljali meje zmogljivosti najbolj inteligentnih sesalcev (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2017).

Ker bo tradicionalna množična proizvodnja kmalu stvar preteklosti in jo postopoma nadomešča serijska proizvodnja prilagojenih posameznih kosov, je namen inteligentnega povezovanja vseh postaj v verigi dodane vrednosti doseči prilagodljivo in prilagojeno proizvodnjo. Da bi to uspelo, morajo višje in nižje razvrščeni procesi v proizvodnji stalno med seboj izmenjevati podatke in to na vseh stopnjah proizvodnega procesa. To ne pomeni, da se bo industrijsko delovno okolje močno spremenilo, pač pa to pomeni, da nove tehnologije (internet stvari, 3D tisk, avtonomni roboti, simulacije, masovni podatki, navidezna resničnost ...) zahtevajo vzporedni razvoj ergonomije in njeno vključevanje na vseh možnih nivojih proizvodnje. Edini način, s katerim lahko proizvodna podjetja v današnjem hitro

spreminjajočem se okolju I4.0 ostanejo konkurenčna, je izvajanje fizikalne, kognitivne in organizacijske ergonomije kot del celovitega pristopa, upoštevajoč procese nenehnega izboljševanja (slika 13).

Ergonomska načela tako še naprej igrajo pomembno vlogo pri oblikovanju delovnih mest, saj v veliki meri pomagajo povečati produktivnost in zdravje zaposlenih. Pri tem je ključnega pomena individualizacija delovnega mesta. Primer so delovni stoli in mize z nastavljivo višino, ki jih je mogoče popolnoma prilagoditi vsakemu telesu. Preoblikovanje stoječega delovnega mesta v sedeče (in obratno) je prav tako enostavno izvedljivo. Še več, prilagojeno pozicioniranje materialov in orodij na delovni mizi preprečuje neenakomerno fizično obremenitev. V delovnih okoljih je pogosto spregledano, da prava osvetlitev delovnega mesta pripomore k povečanju delavčeve koncentracije in s tem pripomore tudi k zmanjšanju tveganja za pojav napak. Modularno zasnovan sistem delovne mize omogoča enostavno prilagajanje tako potrebam delavca kot zahtevam delovnega procesa.



Slika 13: Simbioza ergonomije in I4.0

Vir: lasten.

Z uporabo nastavljivih monitorjev (višina, globina, naklon, rotacija), ki zagotavljajo, da je delovni prostor organiziran natančno in po meri delavca, se prepreči nepotrebno fizično naprežanje. Ker se kljub naraščajočemu trendu avtomatizacije nikoli v celoti ne bomo mogli izogniti nalogam ročnega sestavljanja, je ergonomijo v

I4.0 potrebno obravnavati kot način zmanjšanja obremenitev zaposlenih (Item, 2019).

Način dela se bo v prihodnosti povsem spremenil, saj se bo v realni svet povsem integriral tudi virtualni svet. Pridružujemo se mnenju strokovnjakov z raznih področij, da razlogov za strah, da bodo roboti v proizvodnji v celoti nadomestili delavce, ni. Res je, da se število rutinskih del že danes zmanjšuje na račun dela, ki ga opravijo klasični ali kolaborativni roboti. Povečalo pa se bo število delovnih mest z višjo dodano vrednostjo. Bistvo I4.0 je namreč usposobiti človeka za sodelovanje z inteligentnimi stroji in napravami. Posamezna celična delovna mesta danes opremljamo z video kontrolniki in vodiči. Delavec na delovnem mestu lahko dobiva sprotna video in grafična navodila za delo. Navodila so jasna in nedvoumna, tako da "I4.0 mentor" brez težav uvede delavca v delo. Uvajanje lahko poteka krajši ali daljši čas – toliko, kolikor je potrebno za normalno vključitev v delovni proces z ostalimi zaposlenimi.

I4.0 mentor lahko "govori" več sintetičnih jezikov in s tem zlahka premosti kulturne in jezikovne ovire pri vpeljevanju tujca v delo. V tovarnah prihodnosti od človeka pričakujemo interdisciplinaren pristop, hitro sprejemanje lastnih odločitev in hitro prilagajanje zapletenim procesom. Kot rečeno, se z razvojem I4.0 razvija tudi ergonomija, ki s pridom izkorišča nove tehnologije. V konceptualni načrt ergonomije je vse pogosteje vključena virtualna ergonomija, s pomočjo katere je mogoče pridobiti dragoceno podporo pri načrtovanju npr. novih proizvodnih linij ali njihovih delov, zmanjšanju potreb po fizičnih prototipih in skrajšanju časa in predvsem zmanjšanju stroškov razvoja. Virtualna ergonomija omogoča oceno vplivov vpeljave človeških dejavnikov v virtualna okolja, ustvarjena za prototipe izdelkov in procesov, virtualne lutke, digitalne biomehanske modele, ki simulirajo človeka, tako s kinematičnega kot dinamičnega vidika. Uporaba digitalnih modelov omogoča matematični opis gibanja delavca med delovnimi operacijami, ki so vzporedne s tehnikami vizualizacije virtualnih okolij. Industrija 4.0 se sooča tudi z izzivi razvoja, usposabljanja in upravljanja zaposlenih za potrebe okolja I4.0. Tovarna prihodnosti vzpostavlja novo raven interakcije med človekom in strojem. Vloga človeka se spreminja, saj ga bo novo digitalno okolje usmerjalo k novim izkušnjam in od njega zahtevalo več strokovnega znanja za načrtovanje, uporabo in nadzor inteligentnih strojev, ki mu bodo pomagali pri lažjem in varnejšem izvajanju delovnih nalog (Balantič, Balantič, & Jarc Kovačič, 2019).

Zaposleni so odgovorni za zdravje in kompetence, delodajalci pa za organizacijo in urejanje dela. Tako zaposleni kot delodajalec morata med seboj intenzivno sodelovati. Zaposleni pridobijo znanje o varnem in zdravem načinu življenja na delovnem mestu, ki ga lahko prenesejo tudi v svoj življenjski slog in tako izboljšajo svoje zdravje. Bolj zdrav delavec je bolj zadovoljen, hkrati pa pomeni tudi manjše stroške za delodajalca in zdravstveno zavarovalni sistem zaradi bolniških odsotnosti. Vsaka znanstvena ali strokovna disciplina zahteva definicijo ključnih kompetenc, saj potencialni zaposleni lahko v njih tudi vidi pravi izbor svojega strokovnega profila. Proaktivna ergonomija vnaprej rešuje probleme zaradi neustreznih človeških faktorjev, medtem ko reaktivna ergonomija te težave ureja potem, ko so težave že nastopile (Balantič, Jarc Kovačič, & Balantič, 2018).

Ključne kompetence iz ergonomije lahko uporabimo na različne načine:

- razvoj kurikulumov (nabor učnih vsebin) v ergonomiji,
- razvoj celovitih in nepristranskih ocen za razvoj kompetenc,
- priznavanje usposobljenosti diplomantov, ki imajo ergonomske kvalifikacije, priznane s strani uradnih ustanov za potrjevanje ergonomije.

Kompetence vključujejo več kot samo znanja in spretnosti, saj vključujejo še sposobnosti zadovoljevanja opredeljenih zahtev in vedenje, kar pa je bistveno za uporabo spretnosti. V ergonomiji je zagotavljanje kompetenc izrazito povezano s ključnimi odgovornostmi, dejavnostmi in nalogami, opredeljenimi pri ocenah tveganja, in to za vse, ki so povezani v sistem zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu – vključno z managerji.

Literatura

- Balantič, B., Jarc Kovačič, B., & Balantič, Z. (2014). Model sporočilnih poti v sistemu reflektivne prakse za spodbujanje sinergije med pedagoškim in poslovnim okoljem. *Uporabna informatika*, 173-181.
- Balantič, Z. (2002). The man-work-efficiency electronic publication and multimedia supported study. *Current trends in commodity science: proceedings of the 7th International Commodity Science Conference*, (str. 14–19). Poznań.
- Balantič, Z. (2012). Sistemska pogled na ergonomijo. *Delo in varnost; revija za varstvo pri delu in varstvo pred požarom*, 48–54.
- Balantič, Z., Balantič, B., & Jarc Kovačič, B. (2019). Konceptualni načrt vpetosti ergonomije v I4.0. *Vzgoja in izobraževanje v informacijski družbi / Education in Information Society* (str. 19–22). Ljubljana: IJS.
- Balantič, Z., Balantič, B., & Jarc Kovačič, B. (2021). Digitalni dvojčki v ergonomskih ureditvah delovnih mest. *40. mednarodna konferenca o razvoju organizacijskih znanosti* (str. 43–55). Virtualni prostor MS Teams: Univerza v Mariboru.

- Balantič, Z., Fležar, M., & Balantič, B. (2005). Interactive multimedia learning environment (IMLE) for patients' understanding of respiratory system. *WSEAS transactions on communications* (str. 921–928). Athens, New Jersey: WSEAS.
- Balantič, Z., Jarc Kovačič, B., & Balantič, B. (2018). Od znanja do kompetenc v ergonomiji. 37. mednarodna konferenca o razvoju organizacijskih znanosti (str. 57–69). Portorož: Univerzitetna založba Maribor.
- Balantič, Z., Polajnar, A., & Jevšnik, S. (2016). *Ergonomija v teoriji in praksi*. Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje.
- Balantič, Z., Polajnar, A., & Jevšnik, S. (2017). Izzivi človeških faktorjev v industriji 4.0. *IRT 3000 - inovacije, razvoj, tehnologije, letn.12/4*, 178–182.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. (2011). New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41, 30–42.
- Budnick, P. (2001). Commentary: What is Ergonomics Really About? *Ergo Web Ergonomics Today*.
- Evropski strukturni in investicijski skladi. (2017). *Slovenska strategija pametne specializacije S4*. Pridobljeno iz str. 20:
https://www.eu-skladi.si/sl/dokumenti/kljucni-dokumenti/s4_strategija_v_dec17.pdf
- Gartner. (13. dec. 2018). *Newsroom - Press Releases*. Pridobljeno iz Gartner 2018 Hype Cycle for IT in GCC Identifies Six Technologies That Will Reach Mainstream Adoption in Five to 10 Years :
<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-12-13-gartner-2018-hype-cycle-for-it-in-gcc-identifies-six-technologies-that-will-reach-mainstream-adoption-in-five-to-10-years>
- Gartner. (14. 10. 2019). *Newsroom*. Pridobljeno iz Gartner's 2019 Hype Cycle for IT in GCC Indicates Public Cloud Computing Will Transform Businesses:
<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-14-gartner-s-2019-hype-cycle-for-it-in-gcc-indicates-pub>
- Gartner. (januar 2022). *Gartner*. Pridobljeno iz Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022:
https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technology-trends?utm_source=press-release&utm_medium=promotion&utm_campaign=RM_GB_2022_ITTRND_NPP_PR1_TT12&utm_term=hubpage
- Gelenter, D. H. (1991). *Mirror Worlds: or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox—How It Will Happen and What It Will Mean*. Oxford; New York: Oxford University.
- Grieves, M. (2019). Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins, in *Complex Systems Engineering. Theory and Practice*, 175–200.
- Herakovič, N. (2015). Izzivi industrije 4.0. *Avtomatizacija streg in montaže 2015 - ASM'15*. Ljubljana.
- Herakovič, N. (2016). Nekateri tehnološki izzivi Industrije 4.0. 1, str. 10–16.
- Item. (20. 08 2019). *Your ideas are worth it*. Pridobljeno iz Industry 4.0 in production – the ergonomic aspect: <https://item24us.news/industry-4-0-in-production-the-ergonomic-aspect/>
- Jastrzębowski, W. B., Koradecka, D., Baluk-Ulewiczowa, T., & Gołębiowska, A. (1997). *Rys ergonomji czyli nauki o pracy opartej na prawdach poczerpniętych z nauki przyrody : 1857*. Warszawa: Instytut Ochrony Pracy.
- Marmaras, N., Poulakakis, G., & Papakostopoulos. (1999). Ergonomic design in ancient Greece. *Applied Ergonomics*, 30 (4), 361–368.
- McCormick, E. J. (1970). *Human Factors Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Murrell, K. (1965). *Ergonomics, Man in his working environment*. London: Chapman and Hall Ltd.
- NASA. (13. april 2020). *NASA History*. Pridobljeno iz 50 Years Ago: “Houston, We’ve Had a Problem” : <https://www.nasa.gov/feature/50-years-ago-houston-we-ve-had-a-problem>
- Okorji, I. G. (januar 2022). *Occupational safety and health*. Pridobljeno iz Workplace environment and ergonomics, The history of ergonomics: <https://cupdf.com/document/chapter-7-workplace-environment-and-ergonomics.html>
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. (2005). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Third Edition*. London: Taylor & Francis Ltd.

- Piasecik, R., et al. (2010). Technology Area 12. *Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing Road Map*.
- Raschke, U., & Cort, C. (2019). Siemens jack. *DHM and Posturography*.
- White, C. M. (2008). Ergonomics: What is it? Clearing away the confusion. *C.P.E. Michigan Gamma '99*, (str. 24–27). Michigan.

DELO NA DALJAVO – IZZIVI ZAGOTAVLJANJA VARNOSTI IN ZDRAVJA PRI DELU V DOMAČEM OKOLJU

BRANKA JARC KOVAČIČ,¹ ZVONE BALANTIČ²

¹ ŠC Kranj, VSS, Kranj, Slovenija

branka.jarc@guest.um.si

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija

zvone.balantic@um.si

Sinopsis Zaradi ukrepov, povezanih s preprečevanjem širjenja koronavirusa, vse več ljudi delo opravlja od doma. Delo na daljavo prinaša določene prednosti in težave. Delavec si tako lahko bolj svobodno razporeja delovni in prosti čas, ima večji vpliv na organizacijo dela, vendar se pogosto sooča z neustrezno ergonomsko ureditvijo delovnega mesta in s statičnim delom. Ergonomska nedoslednost pogosto povzroči poslabšanje zdravja zaposlenih in pojav kostno-mišičnih obolenj. Da bi bilo delo od doma lahko produktivno in čim bolj varno, je potrebno, da delodajalec tudi za to obliko dela sprejme ustrezne ukrepe na področju varnosti in zdravja pri delu. Izpostavljamo participativne pristope k ergonomiji in opredelitev učinkovitosti pri obravnavi dejavnikov tveganja za kostno-mišična obolenja na »domačih« delovnih mestih.

Ključne besede:

organizacija dela
na daljavo,
varnost in zdravje
pri delu,
sedeče delo,
kostno-mišična
obolenja,
participativna
ergonomija

TELEWORKING - THE CHALLENGES OF ENSURING SAFETY AND HEALTH AT WORK IN THE HOME ENVIRONMENT

BRANKA JARC KOVAČIČ,¹ ZVONE BALANTIČ²

¹ ŠC Kranj, VSS, Kranj, Slovenija
branka.jarc@guest.um.si

² University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
zvone.balantic@um.si

Abstract Due to measures to prevent the spread of coronavirus, more and more people are working from home. Teleworking brings certain advantages and problems. The worker can thus distribute work and leisure time more freely, has a greater influence on the organization of work, but is often faced with inadequate ergonomic workplace arrangements and static work. Ergonomic inconsistencies often lead to deteriorating employee health and the occurrence of musculoskeletal disorders. To be able to work from home productively and as safely as possible, the employer must respond appropriately in the areas of safety and health at work for this form of work as well. We highlight participatory approaches to ergonomics and the definition of effectiveness in addressing risk factors for musculoskeletal disorders in “home” workplaces.

Keywords:

organization of
telework,
safety and health at
work,
sedentary work,
musculoskeletal
disorders,
participatory
ergonomics

1 Uvod

Pandemija covid-19, s katero se je v začetku leta 2020 soočil ves svet, je korenito posegla v zdravstvene in delovne sisteme posameznih držav. Vsem deležnikom, povezanih z delom, od delodajalcev do zaposlenih, je pandemija predstavljala velik izziv. Spremenila je pogoje in razmere na trgu dela. Ti so zahtevali posodobitve organizacije dela oziroma načinov, na katere se delo opravlja. Delo na daljavo v domačem okolju je postalo najpogostejša oblika dela na daljavo. Številni delodajalci so bili zaradi ukrepov javnega zdravja, namenjenih preprečevanju širjenja virusa, prisiljeni zapreti delovna mesta in preiti v druge oblike dela. Posledično je za mnoge zaposlene delo na daljavo v domačem okolju, ne glede na njihove dotedanje izkušnje s takim načinom dela, postalo vsakdanja praksa (Sostero, Milasi, Hurley, Fernández-Macías, & Bisello, 2020). Pri tem velja izpostaviti pisarniške in administrativne delavce, ki jim je zaradi vse večje digitalizacije in razpoložljivosti sodobnih tehnologij in orodij delo na daljavo v domačem okolju najbolj dostopno (Daenen, Van den Hoof, & Godderis, 2021). Rezultati e-raziskav, ki jih je oktobra 2020 in marca 2021 izvedel Eurofond med zaposlenimi in vodji podjetij, kažejo na to, da ko se bodo omejitve, povezane s covid-19, ublažile, bo delo na daljavo ostalo na podobni ravni kot trenutno ali pa se bo morda le nekoliko zmanjšalo. Pričakuje se uvedba »hibridnega modela« dela, v okviru katerega bodo zaposleni del časa opravljali delo na daljavo, preostanek časa pa v prostorih delodajalca (Predotova & Vargas Llave, 2021) (Eurofound, 2020). Delo na daljavo predstavlja številne izzive, tako na področju organizacije delovnega časa kot na področju dobrega počutja in fizičnega delovnega okolja, zato se morajo tako delodajalci kot zaposleni zavedati tveganj, ki jih tovrstna oblika dela prinaša.

Naš namen je predstaviti in analizirati učinke opravljanja dela na daljavo na zdravje in varnost zaposlenih v okviru širjenja obsega dela na daljavo po pandemiji covid-19. Pomembno je zavedanje izpostavljenosti tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj, na katere morajo biti pozorni tako delodajalci kot zaposleni pri opravljanju dela na daljavo v domačem okolju. Potreben je objektivni pogled na preventivne in korektivne ukrepe za odpravo ali zmanjšanje teh tveganj.

2 Zagotavljanje varnega in zdravega delovnega okolja

2.1 Zakonodajni okvir

Predpis, ki zaposlenim znotraj EU zagotavlja minimalne varnostne in zdravstvene zahteve, delodajalce pa zavezuje k sprejetju ustreznih preprečevalnih ukrepov za varnejše in bolj zdravo delo, je Direktiva 89/391 – „Okvirna direktiva“ o varnosti in zdravju pri delu z dne 12. junija 1989 o uvajanju ukrepov za spodbujanje izboljšav varnosti in zdravja delavcev pri delu (Uradni list EU, št. 183/1, 1989).

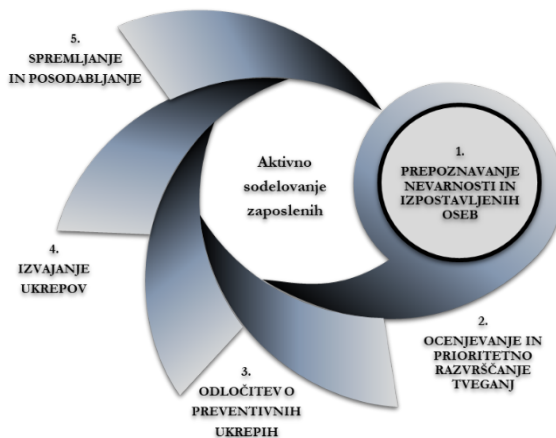
V Republiki Sloveniji področje varnosti in zdravja pri delu urejata Zakon o delovnih razmerjih (ZDR-1) (Uradni list RS, št. 21/13, 78/13 – popr., 47/15 – ZZSDT, 33/16 – PZ-F, 52/16, 15/17 – odl. US, 22/19 – ZPosS, 81/19, 203/20 – ZIUPOPDVE, 119/21 – ZČmIS-A in 202/21 – odl. US, 2013) in krovni predpis Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1) (Uradni list RS, št. 43/11, 2011). ZDR-1 v 45. členu delodajalcu nalaga obveznost zagotavljanja varnih delovnih razmer za varnost in zdravje delavcev v skladu s posebnimi predpisi o varnosti in zdravju pri delu, v 35. členu pa obveznosti delavca, ki mora spoštovati in izvajati predpise in ukrepe o varnosti in zdravju pri delu ter opravljati delo s takšno pazljivostjo, da zavaruje svoje življenje in zdravje ter življenje in zdravje drugih oseb. Delodajalec mora zagotoviti varnost in zdravje delavcev pri delu (1. odstavek 5. člena ZVZD-1). V ta namen mora delodajalec izvajati ukrepe za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev, vključno s preprečevanjem, odpravljanjem in obvladovanjem nevarnosti pri delu, obveščanjem in usposabljanjem delavcev, z ustrezno organiziranostjo in potrebnimi materialnimi sredstvi. Te ukrepe izvaja tako, da upošteva naslednja temeljna načela (9. člen ZVZD-1): izogibanje nevarnostim, ocenjevanje tveganj, obvladovanje nevarnosti pri viru, prilagajanje dela posamezniku z ustreznim oblikovanjem delovnega mesta in delovnega okolja, delovnih prostorov, delovnih in tehnoloških postopkov, izbiro delovne in osebne varovalne opreme ter delovnih in proizvodjalnih metod, še zlasti pa tako, da odpravlja monotono delo ter pogoje z vsiljenim ritmom dela in ostale zdravju škodljive okoliščine (humanizacija dela), prilagajanje tehničnemu napredku, nadomeščanje nevarnega z nenevarnim ali manj nevarnim, razvijanje celovite varnostne politike, ki vključuje tehnologijo, organizacijo dela, delovne pogoje, medčloveške odnose ter dejavnike delovnega okolja, dajanje prednosti kolektivnim varnostnim ukrepom pred individualnimi, dajanje ustreznih navodil in obvestil delavcem.

2.1.1 Obveznosti delodajalca

Med obveznostmi, ki jih je v skladu z ZVZD-1 dolžan izvajati delodajalec za zagotavljanje varnosti in zdravja velja izpostaviti (19. člen ZVZD-1):

- obveščanje delavcev o uvajanju novih tehnologij in sredstev za delo ter o nevarnostih za nezgode, poklicne bolezni in bolezni, povezane z delom, ter izdajo navodil za varno delo,
- usposabljanje delavcev za varno in zdravo delo,
- zagotavljanje osebne varovalne opreme delavcem,
- preverjanje ustreznosti delovnih razmer z obdobjimi preiskavami škodljivosti delovnega okolja,
- izvajanje obdobjih pregledov in preizkusov delovne opreme,
- zagotavljanje varnega delovnega okolja in uporabo varne delovne opreme.

Delodajalec za vsako delovno mesto oceni tveganje po postopku (1. odstavek 17. člena ZVZD-1), kot ga prikazuje slika 1.



Slika 1: Koraki izdelave ocene tveganja

Vir: Lasten.

Delodajalec se mora o oceni tveganja posvetovati z zaposlenimi ter na njeni podlagi določiti ukrepe za zagotavljanje varnih pogojev dela. ZVZD-1 še določa, da mora delodajalec oceno tveganja popraviti oziroma dopolniti, če se ugotovi, da obstoječi preventivni ukrepi za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu niso več ustrezni ali so se spremenili podatki, na katerih je ocenjevanje temeljilo (2. odstavek 17. člena ZVZD-1). Med ukrepi, ki jih je delodajalec dolžan izvajati za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev pri delu, je zelo pomembno usposabljanje delavcev za varno opravljanje dela (38. člen ZVZD-1). To se izvede ob sklenitvi delovnega razmerja, pred razporeditvijo na drugo delo, pred uvajanjem nove tehnologije in novih sredstev za delo ter ob spremembi v delovnem procesu, ki lahko povzroči spremembo varnosti pri delu. Delodajalec mora usposabljanje prilagoditi posebnostim delovnega mesta in ga izvajati po programu, katerega vsebino mora spreminjati glede na pojavnost novih oblik in vrst nevarnosti. V skladu s 4. členom Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih mora delodajalec delovna mesta urediti tako, da nista ogrožena varnost in zdravje delavcev pri delu. Z ustrežno organizacijo dela je treba preprečiti ali omejiti tveganja, ki lahko nastopijo na delovnih mestih, predvideti pa je potrebno ukrepe za izredne okoliščine, ki se lahko pojavijo na delovnih mestih. Delodajalec mora delovna mesta, na katerih delavci opravljajo delo, urediti in vzdrževati tako, da sama po sebi ne predstavljajo tveganj za varnost in zdravje pri delu (Uradni list RS, št. 89/99, 39/05 in 43/11 – ZVZD-1, 2011). Skladno s 4. členom Pravilnika o varnosti in zdravju pri uporabi delovne opreme mora delodajalec delavcem zagotavljati brezhibno delovno opremo, ki ne ogroža varnosti in zdravja, varnosti njihovega imetja in naravnega okolja ter jih usposobiti za pravilno in varno uporabo delovne opreme s teoretičnim in praktičnim usposabljanjem ter seznaniti z nevarnostmi, ki se lahko pojavijo pri uporabi takšne opreme (12. člen) (Uradni list RS, št. 101/04 in 43/11 – ZVZD-1, 2011).

2.1.2 Obveznosti delavca

Za delavca pa 11. člen ZVZD-1 določa, da ima pravico do dela in delovnega okolja, ki mu zagotavljata varnost in zdravje pri delu, hkrati pa mora spoštovati in izvajati ukrepe za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu, delo opravljati s tolikšno pazljivostjo, da varuje svoje življenje in zdravje ter življenje in zdravje drugih oseb, in uporabljati sredstva za delo, varnostne naprave in osebno varovalno opremo

skladno z njihovim namenom in navodili delodajalca, pazljivo ravnati z njimi in skrbeti, da so v brezhibnem stanju (12. člen ZVZD-1).

3 Delo na daljavo

Koncept dela na daljavo izhaja iz 70. let prejšnjega stoletja, ko je naftna kriza svet dela spodbudila k ponovnemu razmisleku o oblikah organizacije dela oziroma k iskanju rešitev, kako bi zaposleni lahko opravljali delo od doma (Buomprisco, Ricci, Perri, & De Sio, 2021). Čeprav tej sodobni obliki dela posvečamo veliko pozornosti, pa zanjo še vedno ni splošno sprejete definicije niti soglasja, saj v literaturi najdemo številne različne izraze: delo na daljavo, delo od doma, pametno delo, e-delo, virtualno delo itd. (angl. telework, work-from home, telecommuting, remote work, smart working, e-work).

Evropski okvirni sporazum o delu na daljavo iz leta 2002 je delo na daljavo opredelil kot »obliko organizacije in/ali izvajanje dela ob uporabi informacijskih in komunikacijskih tehnologij (pametni telefoni, tablični računalniki, prenosni in namizni računalniki), v povezavi s pogodbo o zaposlitvi oziroma pogodbo o delovnem razmerju, kjer se delo, ki bi sicer bilo izvajano v prostorih delodajalca, redno izvaja izven teh prostorov«. Sporazum se nanaša tudi na »delavca, ki dela na daljavo«, in ga opredeljuje kot »vsakega zaposlenega, ki uporablja informacijske tehnologije in vsaj enkrat na mesec delo opravlja izven prostorov delodajalca (European Framework Agreement on Telework, 2005). Cilj sporazuma je zagotoviti enako splošno varnost delavcev, ki opravljajo delo na daljavo, kot delavcev, ki delo opravljajo v prostorih delodajalca. Sporazum obravnava več različnih področij, na katerih je treba upoštevati posebnosti dela na daljavo. Med drugim zajema tudi področje varnosti in zdravja, ki določa, da je delodajalec v skladu z Direktivo 89/391, nacionalno zakonodajo in kolektivnimi pogodbami odgovoren za varovanje zdravja in varnosti pri delu delavcev na daljavo. To pomeni, da imajo delodajalec in/ali njegov predstavnik z namenom, da bi preveril izpolnjevanje varnostnih in zdravstvenih pogojev, pravico dostopa do delovnega mesta. V primeru, da delavec delo na daljavo opravlja v domačem okolju, mora biti o takem dostopu predhodno obveščen in mora zanj podati soglasje. Delavec, ki dela na daljavo, ima pravico zahtevati inšpekcijski obisk. Sporazum opredeljuje tudi opremo, potrebno za opravljanje dela na daljavo. Za njeno zagotavljanje, namestitve in vzdrževanje je praviloma odgovoren delodajalec, razen če delavec pri opravljanju dela na daljavo

uporablja svojo opremo. Sporazum izpostavlja tudi področje organizacije dela, ki mora delavcu omogočiti, da si organizira dan tako, da lahko sam upravlja s svojim delovnim časom (Eurofound and the International Labour Office, 2017).

Analize kažejo, da je delež zaposlenih oseb v Evropski uniji (EU), starih od 15 do 64 let, ki običajno delajo od doma, v obdobju od 2011 do 2019 dosegal vrednost 5,4 %. V letu 2020 se je ta delež povečal na 12,0 % (Eurostat, 2022). Delež dela na daljavo je bil odvisen od trenutne stopnje razvoja in razširjenosti ter dostopnosti informacijsko-komunikacijskih tehnologij v posameznih državah.

Poznamo več oblik dela na daljavo (Trček, 2000): delo na daljavo doma; delo na daljavo na lokacijah, ki so običajno bližje kot tradicionalna delovna okolja (npr. informacijske pisarne); delo na daljavo v novih delovnih okoljih, kjer delo na daljavo omogoča telekomunikacijska opremljenost (npr. klicni centri); mobilno ali nomadsko delo na daljavo; mednarodno delo na daljavo; delo na daljavo, ki ne potrebuje uporabe informacijskih tehnologij in kombinacije posameznih oblik dela na daljavo.

Na splošno še pri vsaki izmed oblik ločimo stalno in občasno delo na daljavo. Prva oblika je redkejša od druge, saj zahteva, da delavec delo opravlja samo doma, s podjetjem pa si preko telekomunikacij izmenjuje le delovne dokumente. Občasno delo na daljavo pa je bolj pogosto, saj v tem primeru delavec nekaj časa dela doma, nekaj pa v podjetju. Za takšno delo je primerno precej več nalog, saj lahko v podjetju delavec pridobi vse informacije, delo pa nato opravi doma.

Skrivnost uspeha občasnega dela na daljavo ali t. i. hibridnega dela so jasna pričakovanja. Če se delo organizira tako, da zaposleni lahko sami izbirajo, kateri dan bodo prišli na delo, je treba jasno določiti, katere vrste dela lahko opravijo samostojno in za katere se morajo povezati s sodelavci ali se sestati z njimi, jasno opredeliti, kdaj morajo odgovoriti na e-poštno sporočilo ... Spodbujanje protokolov "ne moti" povečuje uspešnost hibridnih sestankov in zmanjšuje verjetnost, da bodo zaposleni po nepotrebnem vznemirjeni (Bartleby, 2022).

3.1 Značilnosti dela na daljavo

Delo na daljavo doma postaja vse pogostejša oblika dela in od zaposlenega zahteva, da delo opravlja samo doma, z delodajalcem pa si preko telekomunikacij izmenjuje le delovne dokumente in informacije. Ureditev dela na daljavo delodajalcem in zaposlenim prinaša prednosti in pomanjkljivosti. Pri obeh razlikujemo med tistimi, ki so bolj praktične narave, in tistimi, ki so povezane z zdravjem. Med prednostmi številni avtorji izpostavljajo večjo fleksibilnost in boljše ravnovesje med poklicnim in zasebnim življenjem, kar pogosto spremlja povečana produktivnost (Montreuil & Lippel, 2003). Avtorji med koristi za zaposlene uvrščajo še prihranek časa, ki ga sicer namenijo prevozu na delo, večjo osredotočenost na delo, saj niso izpostavljeni motnjam, ki so sicer prisotne v prostorih delodajalca, bolj prilagodljiv urnik in svobodno izbiro lokacije za opravljanje dela. Poleg tega lahko delo s krajšim delovnim časom in občasno delo na daljavo zmanjšata oblike nasilja in nadlegovanja (ILO, 2020). Takšna organizacija dela je poleg tipičnega pisarniškega dela primerna za različna dela in za ljudi iz različnih starostnih skupin z raznoliko zdravstveno kondicijo.

V primeru pomanjkanja ali neustreznega managementa dela na daljavo lahko omenjene prednosti postanejo pomanjkljivosti, ki se največkrat kažejo kot nevarnosti, ki zaposlene izpostavljajo tveganjem za okvaro njihovega zdravja. Glavne nevarnosti za zdravje zaposlenih, ki delajo na daljavo, so: nerazpoložljivost ergonomske delovne opreme in s tem ergonomska neurejenost delovnega prostora, tveganje preobremenjenosti ter psihosocialne posledice takega dela. Prednosti in pomanjkljivosti dela na daljavo za delodajalce in zaposlene povzema tabela 1.

Tabela 1: Prednosti in pomanjkljivosti dela na daljavo

Vir: Prirejeno po (Buomprisco, Ricci, Perri, & De Sio, 2021), (Munar, 2021).

	Prednosti	Pomanjkljivosti
Zaposleni	<p>Boljše ravnovesje med poklicnim in zasebnim življenjem.</p> <p>Opravljanje dela glede na lastni bioritem.</p> <p>Možnost dela v primeru gibalne oviranosti</p> <p>Krajši čas prevoza na delo, manj stresa, utrujenosti, povezane s prevozom.</p> <p>Prilagodljiv urnik, večja avtonomija.</p> <p>Prosta izbira kraja bivanja.</p>	<p>Slabša prepoznavnost in razvoj kariernih priložnosti.</p> <p>Socialna izoliranost.</p> <p>Spremembe socialno-delovnih odnosov (sodelavci, vodstvo).</p> <p>Prepletanje poklicnega in družinskega življenja (zabrisane razlike med domom in delovnim mestom).</p> <p>Podaljšan delovni čas (če si ne določi časovnih omejitev).</p> <p>Tveganja za razvoj kostno-mišičnih obolenj.</p>
Delodajalec	<p>Povečana motivacija zaposlenih.</p> <p>Povečana produktivnost.</p> <p>Nižji poslovni stroški (najem prostorov, stroški za elektriko, vodo, ogrevanje ...).</p> <p>Večja prilagodljivost poslovnih dejavnosti in storitev.</p> <p>Manjše število srednjih managerjev.</p> <p>Večja privlačnost podjetja (ohranjanje delovnih mest, privabljanje novih zaposlenih).</p>	<p>Težave pri vodenju zaposlenih, otežena notranja komunikacija.</p> <p>Težave pri zagotavljanju potrebne podpore zaposlenim.</p> <p>Reorganizacija poslovnih procesov.</p> <p>Višji stroški za IKT opremo in usposabljanja</p> <p>Povečana tveganja za okvaro zdravja zaposlenih (v primeru neizvedenih ustreznih ocen tveganja).</p>

4 Dejavniki tveganja za okvaro zdravja zaposlenih, ki delajo od doma

Zaposleni so pri opravljanju dela na daljavo, tj. v domačem okolju, lahko izpostavljeni številnim nevarnostim, ki predstavljajo tveganje za spremembo njihovega zdravja. Evropska agencija za varnost in zdravje pri delu (EU-OSHA) v okviru Kampanje za zdravo delovno okolje za obdobje 2020–2022 opozarja takole: Naredimo breme lažje. Med dejavniki tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj pri zaposlenih, ki opravljajo delo na daljavo, izpostavlja naslednje dejavnike (EU-OSHA, 2022): ergonomijo delovnega mesta in telesno držo, sedeče delo in fizično (ne)aktivnost, organizacijo dela, delovno okolje, psihosocialne dejavnike tveganja ter individualne dejavnike.

Dejavnike tveganja za okvaro zdravja zaposlenih, ki delajo od doma, lahko razdelimo v dve večji skupini, in sicer na fizične in psihosocialne dejavnike (Buomprisco, Ricci, Perri, & Sio, 2021).

Prvo in največkrat izpostavljeno tveganje izhaja neposredno iz domačega delovnega okolja, to je iz uporabe informacijsko-komunikacijskih tehnologij in slikovnih zaslonov. Pri opravljanju dela na daljavo od doma najpogosteje uporabljamo prenosne računalnike in improvizirane domače delovne postaje. Rezultati študij o možnih škodljivih učinkih pisarniškega dela na zdravje zaposlenih so pokazali, da so bolečine v vratu lahko posledica dolgotrajnega sedenja, bolečine v zgornjih okončinah pa so lahko povezane z uporabo računalnika. (Ariens, Van Mechelen, Bongers, Bouter, & Van der Wal, 2000). Neustrezna postavitev slikovnega zaslona, tipkovnice ali miške in pomanjkanje opore za podlaket pri zaposlenem povzročata nelagodje in obremenitev mišic zgornjih okončin in hrbtenice (Jensen, 2003). Nepravilna drža telesa povzroča nelagodje, preobremenitev in celo bolezensko stanje v kostno-mišičnem sistemu. Statistični podatki dokazujejo, da je najbolj izpostavljen sistem človeškega telesa prav kostno-mišični sistem. Pri opravljanju delovnih nalog se gibi pogosto ponavljajo, kar posledično lahko vodi do pojava bolečine v predelu vratu, rok in zapestja (Jansen, in drugi, 2012). Kombinacija slabe ergonomije delovnega mesta in odsotnosti stika s sodelavci lahko negativno vpliva na zdravje zaposlenih ter vodi do pojava ali poslabšanja kostno-mišičnih obolenj (Celik, Celik, Dirimese, Taşdemir, & Arik, 2018). Takšen način dela zaposlene sili v daljša obdobja neprekinjenega dela, povečano pogostost neprekinjenega sedenja in nerodne telesne drže (Coenen, in drugi, 2019). Nedavna študija je pokazala, da delo zaposlenih, ki delajo od doma, v primerjavi z opravljanjem dela na sedežu delodajalca vključuje daljša obdobja sedenja z manjšimi prekinitvami dela (manj odmori) in manj fizičnih aktivnosti med delovnim časom (Fukushima, in drugi, 2021). Nov način dela zaposlene sili k dolgotrajnemu sedenju, katerega vplivi zaradi pomanjkanja gibanja vodijo do utrujenosti živčnega sistema in mišic. Posledice tega se največkrat izrazijo z bolečinami v križu. Dejavniki tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj izhajajo tudi iz izzivov pri usklajevanju zasebnega in poklicnega življenja, saj je meja pri opravljanju dela na daljavo med obema močno zabrisana. Delovni čas zaposlenih, da bi izpolnili delovne naloge ali presegli pričakovanja delodajalca, se običajno podaljša (EU-OSHA, 2022). Posledično se podaljša čas sedenja in s tem tudi tveganje za pojav kostno-mišičnih obolenj.

Pri opravljanju dela na daljavo je pomembno upoštevati tudi psihosocialne dejavnike tveganja. Dejavniki, kot so povečana delovna obremenitev, povečana socialna izolacija, pomanjkanje osebne interakcije s sodelavci in nadrejenimi, lahko vplivajo na dobro počutje zaposlenih (Buomprisco, Ricci, Perri, & Sio, 2021) in na

poslabšanje njihovega duševnega zdravja (Mann & Holdsworth, 2003). Če zaposleni v svojem domačem delovnem okolju ne pridobijo dovolj socialne podpore s strani sodelavcev in nadrejenih, se lahko poslabša tudi učinkovitost dela od doma (Ward & Shabha, 2001), kar ponovno vodi v povečano tveganje za pojav kostno-mišičnih obolenj (Kaliniene, Ustinaviciene, Skemiene, & Januskevicius, 2013), (Buscemi, Chang, & Liston, 2017).

Druge nevarnosti iz neposrednega delovnega okolja, ki prav tako lahko predstavljajo tveganje za okvaro zdravja zaposlenih, ki delo opravljajo od doma, so slabe mikroklimatske razmere (temperatura, relativna vlažnost, hitrost gibanja zraka in njegova kakovost). Izpostavljenost slabi kakovosti notranjega zraka lahko povzroči simptome suhih oči, draženja in srbenja v očeh, draženja dihalnih poti, slabšo delovno učinkovitost, težave s kožo, glavobol, utrujenost in nizko kakovost spanja. Ti simptomi so lahko še posebej izraziti pri zaposlenih, ki trpijo za astmo ali kroničnimi obstruktivnimi pljučnimi boleznimi (Wolkoff, 2018). Na zdravje in dobro počutje zaposlenega, ki dela na daljavo od doma, lahko vpliva tudi hrup v ozadju (Korhonen, Ketola, & Toivonen, 2003). V domačem delovnem okolju ne smemo pozabiti tudi na tveganja za spotike in padce čez številne kable in podaljške, ki se vijejo po tleh ali na delovni površini in nevarnosti, povezane z električnim tokom.

Čeprav je delodajalec dolžan zagotavljati varne in zdrave razmere za delo ne glede na vrsto dela, delovno mesto ali lokacijo, kjer delavec opravlja delo, se je v času epidemije covid-19 pokazalo, da številnim delodajalcem vseh predpisanih ukrepov na področju varnosti in zdravja pri delu ni uspelo izvesti. To dejstvo je pričakovano, saj so izjemne okoliščine od delodajalcev zahtevale, da praktično čez noč delo organizirajo na drugačen način oziroma odredijo delo na daljavo od doma. Opustitev ukrepov se nanaša predvsem na ogled delovnega mesta doma in na izdelavo ocene tveganja za to delovno mesto. Razloge za to lahko pripišemo splošni oceni, da gre v primerih dela na domu največkrat za pisarniška dela, ki so praviloma manj tvegana in zdravju škodljiva. Kljub temu bi morali delodajalci zaposlene »opremiti« vsaj s smernicami o zdravstvenih in varnostnih tveganjih, ki izhajajo iz domačega delovnega okolja, in jih pozvati, da sami opravijo osnovno oceno tveganja za delo na domu. Na ta način bi delodajalec pridobil informacije, ali v domačem delovnem okolju zaposlenega obstajajo tveganja, ki izhajajo iz vrste dela, ki ga opravlja od

doma, ali to delo lahko opravlja na varen način in ali je potrebno sprejeti kakšne ukrepe za zaščito zaposlenega pred ugotovljenimi tveganji.

5 Ocena tveganja dela na daljavo v domačem okolju

Čeprav zaposleni delo opravljajo na daljavo od doma, odgovornost za izdelavo ocene tveganja delovnega mesta ostaja na delodajalcu. Zato je pomembno, da imajo delodajalci, ki organizirajo delo na daljavo, oblikovane politike in vzpostavljene postopke, ki jim zagotavljajo obvladovanje tveganj za okvaro zdravja zaposlenih, ki opravljajo delo na daljavo (Daenen, Meers, Verwimp, Selis, & Godderis, 2021). Prvi korak pri ugotavljanju dejavnikov tveganja, povezanih z delom na daljavo, predstavlja celovita ocena tveganja. Ocena tveganja je postopek, pri katerem se na sistematičen način ovrednotijo vsi dejavniki tveganja, ki so jim zaposleni izpostavljeni pri opravljanju dela na daljavo, in bi lahko vplivali na njihovo zdravje in varnost. Ocena tveganja delodajalcu poda informacije, na osnovi katerih lahko sprejme ustrezne ukrepe za odpravo tveganj. Če tveganj na podlagi informacij ni mogoče odpraviti, pa so zbrane informacije potrebne za oblikovanje akcijskega načrta za zmanjšanje in spremljanje tveganj. Pri tem je pomembno, da se na podlagi zakonskih določil in interne politike podjetja najprej opredeli način izvedbe ocenjevanja tveganja (kdo, kdaj, kako). Za vsakega zaposlenega, ki dela od doma, se nato izdelata individualna ocena tveganja, ki jo običajno izvedemo v naslednjih petih korakih:

1. korak: Prepoznavanje zaposlenih, ki opravljajo delo na daljavo od doma, in identificiranje nevarnosti na vseh dejavnikih tveganja (ergonomija delovnega mesta in telesne drža, sedeče delo in fizična (ne)aktivnost, organizacija dela, delovno okolje, psihosocialni dejavniki tveganja ter individualni dejavniki z delom na daljavo).
2. korak: Ocena tveganja glede na resnost in verjetnost okvare zdravja in/ali poškodbe ter postavitev prioritete.
3. korak: Določitev ustreznih preventivnih ukrepov za odpravo tveganj, ocena stroškov ter določitev časovnega okvira za izvedbo preventivnih ukrepov.
4. korak: Izvedba predlaganih preventivnih ukrepov ali akcijskega načrta.
5. korak: Revizija obstoječe ocene tveganja in učinkov preventivnih ukrepov ter po potrebi prilagoditev ocene in preventivnih ukrepov ali akcijskega načrta.

V primerih, ko se delovno mesto nahaja v prostorih delodajalca, je za izvedbo ocene tveganja odgovoren delodajalec oziroma strokovno usposobljen zaposleni, ki mu delodajalec poveri opravljanje nalog s področja varnosti pri delu. V primeru dela na daljavo prvi korak ocenjevanja običajno izvede zaposleni sam, ki pa mora biti ustrezno usposobljen, na voljo pa mora imeti tudi kontrolni seznam dejavnikov tveganja. Ta seznam mora zaposleni preveriti in ovrednotiti na podlagi svojih opažanj in ugotovitev. Seznam – kontrolnik zaposlenemu pomaga prepoznati nevarnosti in tveganja, ki jim je pri opravljanju dela izpostavljen. Ta korak ob predhodnem soglasju za obisk domačega delovnega okolja lahko izvede tudi delodajalec ali strokovni delavec za varnost pri delu. Kontrolni seznam, ki ga je razvila in pripravila EU-OSHA, je sestavljen iz dveh delov. Prvi del je namenjen zaposlenemu, ki dela na daljavo, drugi pa delodajalcu. Osnovan je na pozitivnih izjavah, ki vabijo k razmisleku in po potrebi k ukrepanju. Odgovor »da« pomeni, da »nevarnosti ni«, odgovor »ne« pa zahteva razmislek in ukrepanje (EU-OSHA, 2021). Nekateri ukrepe, ki vključujejo optimizacijo delovnega mesta, lahko zaposleni izvede sam. V primeru kompleksnejših tveganj, do katerih pride zaradi interakcij med različnimi ugotovljenimi nevarnostmi ali dejavniki tveganja, pa je potrebna pomoč strokovnjaka, ki bo rešitev poiskal v sodelovanju z zaposlenim (Daenen, Meers, Verwimp, Selis, & Godderis, 2021). Pozornost je treba nameniti tudi ustreznosti posameznih preventivnih ukrepov, saj ukrep, ki je namenjen zmanjšanju izpostavljenosti enemu od dejavnikov tveganja, lahko poveča tveganje za izpostavljenost drugim dejavnikom tveganja.

6 Priporočila za odpravljanje tveganj varnosti in zdravja pri delu, povezanih z delom na daljavo od doma

Za preprečevanje zdravstvenih tveganj, ki izhajajo iz dela na daljavo, je mednarodni urad za delo v svojem dokumentu, pripravljenem med epidemijo covid-19, leta 2020 podal vrsto koristnih priporočil, ki jih delodajalci lahko vključijo v svojo politiko varnosti in zdravja pri delu za zaposlene na daljavo (ILO, 2020):

- obveščanje o zdravstvenih in varnostnih tveganjih, ki pretijo na zaposlene v domačem delovnem okolju (o opremi, ergonomiji, stresu ter drugih težavah, povezanih z duševnim zdravjem),
- zagotavljanje varnostnih in ergonomskih protokolov, zasnovanih posebej za zaposlene, ki delo opravljajo na daljavo od doma,

- ozaveščanje vodij in zaposlenih o pomembnosti zadostnih odmorov za počitek med delom,
- zagotavljanje psihološke podpore zaposlenim,
- zagotavljanje ustrezne ergonomske opreme zaposlenim.

Na podlagi splošno sprejete dobre prakse in evropskih predpisov s področja varnosti in zdravja pri delu lahko pristop k odpravljanju tveganj varnosti in zdravja pri delu, povezanih z delom na daljavo od doma, opredelimo s štirimi osnovnimi koraki:

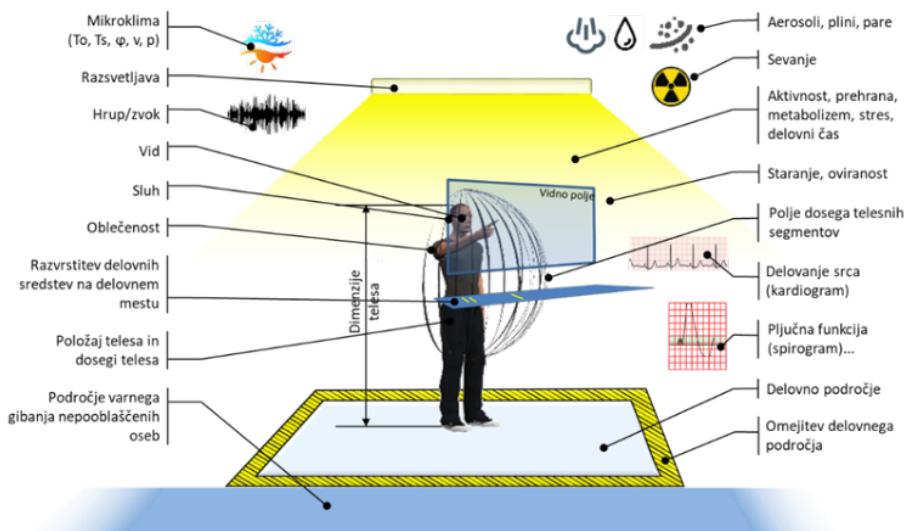
1. Identificiranje nevarnih položajev pri opravljanju dela na daljavo od doma. Pozornost je treba usmeriti na ustreznost ergonomske zasnove delovnega mesta, orodja, tehnične opreme, pohištva, stolov itd.
2. Izdelava ocene tveganja za poškodbe, povezane s statičnimi in prisilnimi držami telesa, ki se jim pri delu z namiznimi ali prenosnimi računalniki, tablicami ali pametnimi telefoni ni mogoče izogniti. Sledi izdelava akcijskega načrta za delovne položaje in gibe, ki povzročajo največje tveganje, ter organizacija dela brez ponavljajočih se ali monotoničnih opravil.
3. Usposabljanje vodstva in zaposlenih o ergonomiji in metodah za preučevanje drže telesa. Usposabljanje se mora ujemati s celostnim pristopom, saj je osredotočeno na spreminjanje vrednot, odnosov, navad in vedenja zaposlenih.
4. Spodbujanje telesne vadbe med zaposlenimi v okviru promocije zdravja pri delu. Obstajajo jasni dokazi, da je telesna vadba pomembna pri preprečevanju kostno-mišičnih obolenj. Usposabljanje mora biti prilagojeno zmožnostim in željam zaposlenega (Op De Beeck, 2020).

7 Metodologija oblikovanja delovnega okolja

Pri oblikovanju delovnega mesta (slika 2) običajno sledimo naslednjim elementom reševanja ergonomskih problemov (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016):

- Smer pogleda: Človek na delovnem mestu bi moral biti sposoben brez navora nastaviti kontrolne mehanizme na stroju ali napravi in prebrati posredovane podatke.

- Ergonomski položaj pri delu: Nepravilna drža telesa in prevelik delež statičnih položajev pri delu povečujeta stopnjo utrujenosti in povzročata hitrejši pojav nesreč. Vsi delovni procesi in načini dela bi morali biti načrtovani tako, da bi zaposlenemu omogočali udobno držo pri delu.
- Prostorsko urejanje delovnega mesta: Omogočiti moramo prosto gibanje med različnimi delovnimi položaji, varen dostop in neovirano verbalno in vizualno komunikacijo med zaposlenimi ter razumljivo in neposredno interaktivnost med človekom in strojem.
- Ugodje: Na ugodje neposredno vplivajo fizikalni parametri, kot so temperatura okolice, srednja temperatura površin, ki obdajajo zaposlenega, relativna vlažnost in hitrost gibanja zraka. Zagotoviti moramo tudi dovolj svetlobe, kakovost vdihanega zraka in hrup v predpisanih okvirih.
- Način dela: Stremeti je potrebno k temu, da bi bil način dela prilagojen zaposlenemu, vendar je za to potrebno stalno spremljanje dela, ocenjevanje in revizija dela.

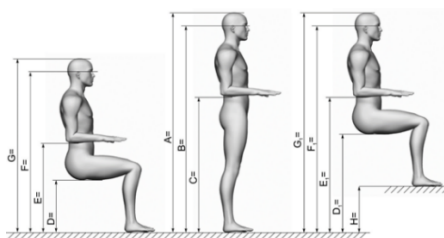


Slika 2: Vplivi na ergonomsko oblikovanje delovnega prostora

Vir: (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

7.1 Analiza delovnega mesta

Prva faza analize delovnega mesta je namenjena seznanitvi z zaposlenim in njegovim delovnim okoljem. Z delovnim mestom se lahko seznanimo na dva načina: prvič z neposrednim opazovanjem zaposlenih pri opravljanju delovnih nalog v običajnih pogojih in drugič z razgovori oziroma intervjuji z zaposlenimi. V uvodnem delu intervjuja od zaposlenih pridobimo demografske podatke (ime, spol, starost, telesna višina, naziv delovnega mesta, obdobje zaposlitve na analiziranem delovnem mestu), v drugem delu pa se osredotočimo na pridobitev informacij za oceno dejanske prisotnosti težav. V ta namen si lahko pomagamo s strukturiranimi vprašalniki, ki vključujejo vprašanja o zaposlenih in o njihovem delovnem mestu (dejavnost, ustreznost dela, sprememba dolžnosti, predlogi izboljšav, pojavnost in prisotnost bolečin, povezanih z delom ...). V naslednjem koraku pridobimo ustrezne antropometrične podatke zaposlenih. Antropometrija se ukvarja z merjenjem dimenzij in mas človeškega telesa ter določa tudi telesno konstitucijo človeka. Antropometrijo delimo v statično in dinamično. Za ergonomsko preoblikovanje delovnega mesta najprej pridobimo podatke v okviru izbranih antropometričnih dimenzij statične antropometrije (slika 3).



Legenda:

Antropometrična dimenzija	Primeri uporabe pri načrtovanju
A: Telesna višina v stoječem položaju.	Minimalna višina predmetov nad glavo.
B: Očesna višina v stoječem položaju.	Vidno polje, višina zaslonov, vidne prepreke.
C: Višina komolcev pri stoječem položaju.	Višina delovne površine za lahko telesno delo, lokacija krmilnih elementov, delovno območje rok.
D: Sedežna višina.	Priporočena višina za pravilno sedenje pri delu.
E: Višina komolcev pri sedečem položaju.	Višina naslonov za roke, tipkovnic ali krmilnih elementov, nivoji fokusa montaže.
F: Očesna višina pri sedečem položaju.	Vidno polje, višina zaslonov, vidne prepreke.
G: Telesna višina pri sedečem položaju.	Minimalna višina predmetov/stropa nad glavo.
H: Višina opore za noge pri sedečem položaju.	Potrebna višina opore, če želimo doseči enak nivo oči pri sedenju in stanju.
D ₁ , E ₁ , F ₁ , G ₁	Enako kot D, E, F in G pri klasičnem sedenju, le da gre tu za enak nivo oči kot pri stoječem položaju.

Slika 3: Izbrane antropometrične dimenzije zaposlenih v okviru statične antropometrije

Vir: (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016)

Na podlagi podatkov, pridobljenih z opazovanjem zaposlenih pri opravljanju delovnih nalog v okolju pri običajnih pogojih, in podatkov, pridobljenih z razgovori z zaposlenim, se osredotočimo na izdelavo ergonomске analize obravnavanega delovnega mesta. Ergonomsko analizo lahko izvedemo z uporabo enega ali več orodij: s kontrolnim seznamom ergonomskih tveganj pri delu (ERF Checklist), z vprašalnikom za oceno vpliva bolečine na delo (CMDQ), z metodo za hitro oceno zgornjih okončin (RULA), z metodo za hitro oceno celotnega telesa (REBA) itd.

Kontrolni seznam ergonomskih tveganj pri delu (ERF Checklist) uporabimo za prepoznavanje posameznih tveganj v telesnih segmentih. Seznam je zasnovan tako, da pomaga ugotoviti kombinacijo ergonomskih dejavnikov tveganja, ki predstavljajo največje tveganje za pojav kostno-mišičnih obolenj. Seznam je sestavljen iz treh podsklopov, A, B in C (slika 4), kjer se sklop A osredotoča na oceno ergonomskih tveganj v zgornjem predelu telesa, sklop B na oceno ergonomskih tveganj za hrbtenico in spodnji predel telesa in sklop C na oceno ergonomskih tveganj pri rokovanju s predmeti in materiali.

V vsakem podsklopu so dejavnikom tveganja dodeljene vrednosti, ki se s trajanjem izpostavljenosti povečujejo. Seštevek vrednosti vseh treh podsklopov predstavlja skupno ergonomsko oceno tveganj. Pri interpretaciji rezultatov velja, da je delo nevarno, če je skupna ocena večja ali enaka 7. Posamezne ocene dejavnikov tveganja, ki so večje od 2, pa kažejo, da je slednjim potrebno nameniti posebno pozornost in jih podrobneje obravnavati. Med pogovorom z zaposlenim najprej ugotovimo, katerim dejavnikom iz kontrolnega seznama ergonomskih tveganj je zaposleni pri opravljanju delovnih nalog izpostavljen, nato pa za vsak dejavnik tveganja v podsklopu A (ergonomska tveganja v zgornjem predelu telesa) in podsklopu B (ergonomska tveganja za hrbtenico in spodnji predel telesa), za katerega je bila izpostavljenost s strani zaposlenega potrjena z odgovorom »da«, ocenimo časovno izpostavljenost temu dejavniku. Pri tem zaposlenega prosimo za oceno, kako dolgo doživlja opredeljeni dejavnik tveganja, ne pa koliko časa potrebuje, da opravi neko delovno nalogo ali svoje delo. Ko za določen dejavnik tveganja določimo oceno časovne izpostavljenosti tveganju, izberemo rezultat v ustreznem stolpcu in oceno pripišemo v skrajni desni stolpec. Podsklopa C, ki je namenjen oceni tveganja, povezanega z dvigovanjem in prenašanjem predmetov (oddaljenost bremena od telesa, sila dvignjenega bremena, pogostost dvigovanja ...), v oceni običajno ne obravnavamo, saj tovrstnim tveganjem zaposleni pri opravljanju dela v domači

pisarni niso izpostavljeni. V zadnjem koraku ocene posameznega podsklopa seštejemo.

Razširjenost kostno-mišičnega nelagodja, ki pogosto prehaja v obolelost, lahko določimo tudi z uporabo standardiziranega vprašalnika Univerze Cornell, imenovanega Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ) (Hedge, Morimoto, & McCrobie, 1999). Vprašalnik, ki ga lahko poimenujemo tudi Ocena vpliva bolečine na delo (OVBD) in katerega modificirana oblika je predstavljena na sliki 5, je oblikovan tako, da zaposleni lahko sledi matriki vprašanj z veliko mero intuitivnosti. CMDQ vprašalnik sestavlja 220 polj, razdeljenih v 20 telesnih topografskih območij, ki jih sestavljajo vrat, rame, zgornji del hrbtenice, nadlaket, spodnji del hrbtenice, podlaket, zapestje, medenica, stegnenica, koleno, golenica in stopalo (Balantič, Balantič, & Jarc Kovačič, 2019). Parna telesna topografska območja so razdeljena še na levo in desno stran. CMDQ vprašalnik je nato razdeljen še v tri sklope, kjer v prvem delu izbiramo med petimi nivoji občutka nelagodja v predhodnem delovnem tednu (nikoli, 1-krat do 2-krat v tednu, 3-krat do 4-krat v tednu, 1-krat vsak dan in večkrat dnevno), v drugem delu izbiramo med tremi nivoji nelagodja, ki ga je povzročila bolečina v predhodnem delovnem tednu (rahlo neprijetno, zmerno neprijetno in zelo neprijetno), v tretjem delu pa ocenimo vpliv nelagodja oz. bolečine na sposobnost za aktualno delo (ni vpliva, rahlo moteč, trajno moteč).

Vrsta tveganja	Tveganje	Izpostavljenost			Čestota izpostavljenosti			Te delo traja 8 ur, dovolj dolga	Izbir
		Priljubljenost tveganja pri delu	0 - 25 % dela	25 - 50 % dela	50 - 100 % dela	0 - 25 % dela	25 - 50 % dela		
A. KONTROLNI SEZNAM ERGONOMSKIH TVEGANJ V ZAKLONIH PREDLU TELUSA									
Glavna skupina tveganj	1. Dnevno stalna gljebnja z rednimi premori	da	ne	0	1	2			
	2. Intenzivno hitro stalna gljebnja brez premorov	da	ne	1	2	3			
Uporabna tipologija	3. Tipologija z premori	da	ne	0	0	1			
	4. Intenzivna tipologija	da	ne	0	1	3			
Telo (račun./vitalno)	5. Tržno odprta roka v močan uprjav	da	ne	0	1	3			
	6. Prijemanje med palcem in kazalcem s 500 več kot 7 N	da	ne	1	2	3			
Karakteristika	7. Vrsti obrabljenih naglj obrabljen > 20"	da	ne	0	1	2			
	8. Kramelj: napredni ritaj ali spustil nad njegovim srednje traja	da	ne	1	2	3			
Kosa	9. Nitro vnosja postlati	da	ne	0	1	2			
	10. Vsegljebnja ali devicija uprjava	da	ne	1	2	3			
Neprijetno okolje	11. Trdi in ostri predmeti se vrtajo v kožo	da	ne	0	1	2			
	12. Uporaba dnevi in zapetja kot klobuč	da	ne	1	2	3			
Vibracije	13. Lokalna vibracija (brez dušenja)	da	ne	0	1	2			
	14. Vibracija spregajajo dela telesa (brez dušenja)	da	ne	0	1	2			
Občutek	15. Občutek (stala svetilni ali bičljarije)	da	ne	0	0	1			
	16. Temperatura (neugodna temperatura okolica ni/ali nezadost)	da	ne	0	0	1			
Slab nadzor nad delovnimi tveganji (Bpr: del, traku...)	17. Priljubljenost enega obilaga razlona - L, priljubljenost dveh ali več tveganj - 2	da	ne	1	ali 2				

Telo, lokalna horizontalno odčitavanje (post ravnina)	BILZU			SREDNJE			DALEČ		
	horizontalna oddaljenost od kolena 0 - 100 mm	horizontalna oddaljenost od kolena 100 - 250 mm	horizontalna oddaljenost od kolena > 250 mm	horizontalna oddaljenost od kolena 0 - 100 mm	horizontalna oddaljenost od kolena 100 - 250 mm	horizontalna oddaljenost od kolena > 250 mm	horizontalna oddaljenost od kolena 0 - 100 mm	horizontalna oddaljenost od kolena 100 - 250 mm	horizontalna oddaljenost od kolena > 250 mm
Horizontalna oddaljenost: • uporabite poravnane horizontalno vodilje, če je delovanje uporabno vsajih 20 min. ali manj; • uporabite repenje horizontalno vodilje, če je delovanje poravnano v več kot 20 min. poravnatih.									

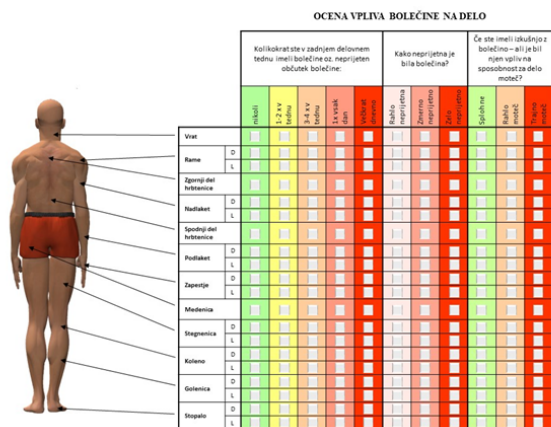
Telo, Občutek sila delovnega bremena	BILZU			SREDNJE			DALEČ		
	brezno obilaga > 100 N (5 - 60 N ali delj. (cm))	brezno obilaga 40 - 100 N	brezno obilaga > 100 N	brezno obilaga 40 - 100 N	brezno obilaga > 100 N	brezno obilaga 40 - 100 N	brezno obilaga > 100 N	brezno obilaga 40 - 100 N	brezno obilaga > 100 N
• Če predmet delovnega vsajih 20 min. ali manj, uporabite poravnane silo. • Če je predmet delovni več kot 20 min., uporabite repenje silo, kramelj srednje delovne. • kramelj srednje delovne, če je sila manjša od 37 N.	območje postavitosti	40 - 100 N	območje postavitosti	40 - 100 N	območje postavitosti	40 - 100 N	območje postavitosti	40 - 100 N	območje postavitosti
	varno območje	< 60 N	varno območje	< 40 N	varno območje	< 40 N	varno območje	< 37 N	0

Vrsta tveganja	Tveganje	Izpostavljenost			Čestota izpostavljenosti			Te delo traja 8 ur, dovolj dolga	Izbir
		Priljubljenost tveganja pri delu	0 - 25 % dela	25 - 50 % dela	50 - 100 % dela	0 - 25 % dela	25 - 50 % dela		
Neprijetna drža	18. Slabo upogibanje trupa naprej ali vztrajno 20° - 45°	da	ne	0	1	2			
	19. Izravilo upogibanje trupa naprej > 45°	da	ne	1	2	3			
Neprijetna drža	20. Naglajanje trupa nazaj do 30°	da	ne	0	1	2			
	21. Rotacija trupa	da	ne	1	2	3			
Neprijetna drža	22. Sedenje na rihu/brez zadostne podpore hrbtenice (ni razlona)	da	ne	0	1	2			
	23. Stojala stojišča (presti), stojišča stojišča (presti), stojišča stojišča (presti)	da	ne	0	0	1			
Neprijetna drža	24. Abdukcija noge v kolkih (pomoč naprej / nazaj / vztrajno) - poravnaljeva / z / poravnaljeva	da	ne	0	1	2			
	25. Vlačenje / puščanje	da	ne	1	2	3			
Neprijetna drža	26. Abdukcija noge v kolkih (pomoč naprej / nazaj / vztrajno) - poravnaljeva / z / poravnaljeva	da	ne	0	1	2			
	27. Presejaljeva vnosjanje in vnosjanje glavo	da	ne	0	1	2			
Neprijetno okolje	28. Trdi in ostri predmeti se vrtajo v kožo	da	ne	0	1	2			
	29. Uporaba kolena kot tlaščilo za dvigovanje utevari	da	ne	1	2	3			
Vibracije	30. Vibracija celotnega telesa (brez dušenja)	da	ne	0	1	2			
	31. Dnevna obrambitev	da	ne	0	1	2			
Slab nadzor nad delovnimi tveganji (Bpr: del, traku...)	32. Visoka obrambitev	da	ne	0	1	2			
	33. Priljubljenost enega obilaga razlona - L, priljubljenost dveh ali več tveganj - 2	da	ne	1	ali 2				

VIŠTA B (PRIKLOPNA NA SPISOK PREDLU TELUSA)

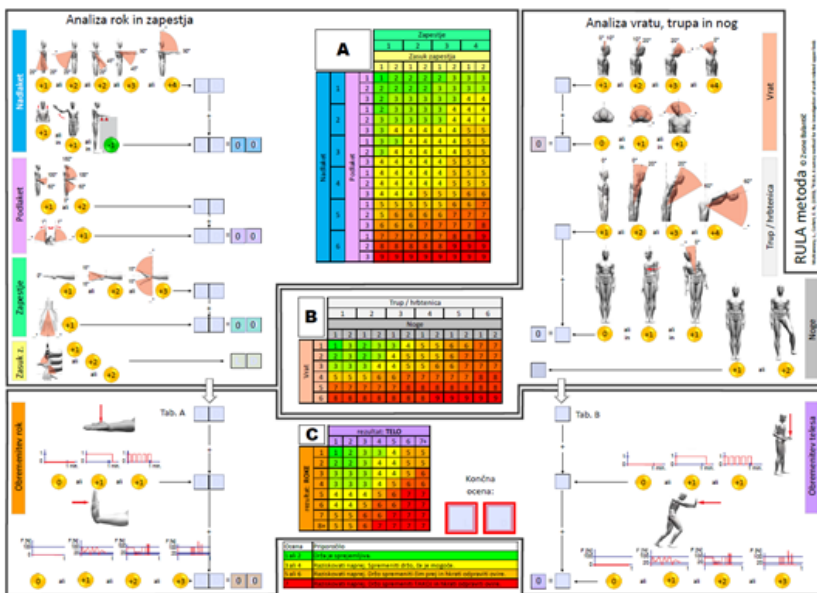
Izbir C1	VIŠTA C (C1 + C2)	VIŠTA D (A + B + C)	Faktor		Izbir
			Obična delovna (t-stam/8ur)	Pogosta delovna (t-stam/8ur)	
34. Količina telesa za dolgo delovno ergonomsko tveganje	35. Količina trupa med dvigovanjem	36. Dvigovanje iz 1. etage	37. Dvigovanje iz 2. etage	38. Dvigovanje iz 3. etage	
39. Dvigovanje iz 1. etage	40. Dvigovanje iz 2. etage	41. Dvigovanje iz 3. etage	42. Dvigovanje iz 4. etage	43. Dvigovanje iz 5. etage	
44. Dvigovanje iz 1. etage	45. Dvigovanje iz 2. etage	46. Dvigovanje iz 3. etage	47. Dvigovanje iz 4. etage	48. Dvigovanje iz 5. etage	
49. Dvigovanje iz 1. etage	50. Dvigovanje iz 2. etage	51. Dvigovanje iz 3. etage	52. Dvigovanje iz 4. etage	53. Dvigovanje iz 5. etage	
54. Dvigovanje iz 1. etage	55. Dvigovanje iz 2. etage	56. Dvigovanje iz 3. etage	57. Dvigovanje iz 4. etage	58. Dvigovanje iz 5. etage	
59. Dvigovanje iz 1. etage	60. Dvigovanje iz 2. etage	61. Dvigovanje iz 3. etage	62. Dvigovanje iz 4. etage	63. Dvigovanje iz 5. etage	
64. Dvigovanje iz 1. etage	65. Dvigovanje iz 2. etage	66. Dvigovanje iz 3. etage	67. Dvigovanje iz 4. etage	68. Dvigovanje iz 5. etage	

Slika 4: Kontrolni seznam za oceno ergonomskih tveganj pri delu
Vir: Prirejeno po (SAFE Work Manitoba, 2022).



Slika 5: OVBD vprašalnik, prirejen po CMDQ
 Vir: Prirejeno po (Hedge, Morimoto, & McCrobie, 1999)

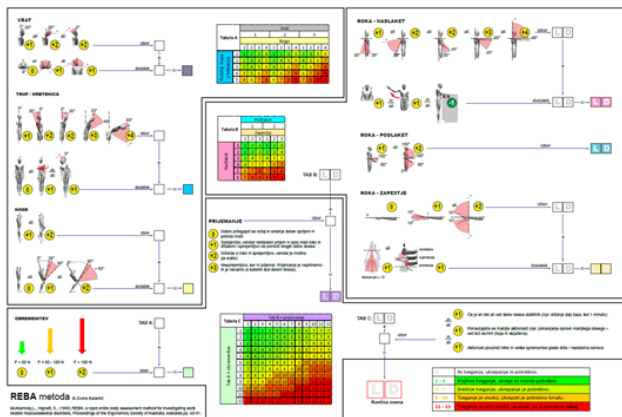
Metoda RULA (R: Rapid – hitro, U: Upper – zgornji, L: Limb – okončine, A: Assessment tool – ocenjevalno orodje) je bila razvita z namenom, da bi lahko pravočasno ocenili stopnjo izpostavljenosti človeka nevarnostim nastanka sektorskih preobremenitev telesa, ki vodijo do kostno-mišičnih obolenj. Metodo RULA sta razvila Lynn Mcatamney in Nigel Corlett (McAtamney & Corlett, 1993) z Univerze Nottingham na Inštitutu za ergonomijo in jo prvič predstavila leta 1992. Metoda RULA je sistemski pripomoček za opazovanje in ocenjevanje biomehanske drže celotnega telesa s posebnim poudarkom na opazovanju nepravilnosti zgornjih okončin, vratu in trupa ter dejavnosti mišic in zunanjih obremenitev (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016). Metoda se je razvila v okviru ergonomskih raziskav na delovnih mestih, kjer je bilo ugotovljenih največ težav oziroma nepravilnosti, ki vplivajo predvsem na zgornji del telesa. Z uporabo metode RULA se lahko izognemo raznim poškodbam in tveganjem, s tem pa lahko prispevamo k boljšemu vzdušju na delovnem mestu. Temelji na anketiranju zaposlenih na posameznih delovnih mestih, zato je v večji meri odvisna od občutka, realnosti in interpretacije podatkov (slika 6).



Slika 6: Formular za RULA metodo

Vir: Lasten

REBA metoda (R: Rapid – hitra, E: Entire – celotno, B: Body – telo, A: Assessment – ocena) podrobno analizira položaj celotnega telesa pri delu (Hignett & McAtamney, 2000). Metoda je bila razvita z namenom analize nepredvidljivih delovnih položajev, kjer je bolj izrazito tudi stoječe delo (slika 7).



Slika 7: Formular za REBA metodo

Vir: Lasten

Metoda je uporabna predvsem v primerih, ko neka analiza v določenem položaju pokaže nizko oceno tveganja, zaposleni pa kljub rezultatom izražajo nelagodje.

7.2 Analiza fizikalnih parametrov delovnega okolja doma

V delovnem okolju je več dejavnikov, ki obremenjujejo organizem zaposlenega. V človekovem organizmu se kot posledica obremenitev pojavi obremenjenost, pri čemer velja, da večje obremenitve povzročajo večjo obremenjenost. Pri tem nastale spremembe so do določenega nivoja združljive z normalnimi fiziološkimi reakcijami človeka. Obremenjenosti lahko ocenimo z merjenjem parametrov v človekovem organizmu (krvna slika, slika urina, pljučna funkcija ...), katerih vrednosti morajo biti v referenčnih okvirih. Obremenitve so lahko fizične, psihične in ekološke, obremenjenosti pa so lahko fizične in psihične. Če sistema akcije (obremenitev) in reakcije (obremenjenost) nista v ravnotežju, se pojavijo utrujenost, poškodbe, poklicne bolezni, invalidnost. To posledično vodi v absentizem, prezentizem ali fluktuacijo delavcev (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

Delovno okolje, v katerem delavec dela, je lahko zelo različno in ustvarja različne obremenitve (toplotne obremenitve, obremenitve vida, obremenitve sluha, obremenitve zaradi stika z aerosoli, obremenitve zaradi vpliva plinov in par, obremenitve zaradi monotonije, obremenitve zaradi učinka delovnih period, obremenitve zaradi mehanskih vibracij, obremenitve zaradi ionizirajočega sevanja ...). Pogosto se v razmerju človek – delovno okolje pojavi težava, da delovnega okolja zaradi specifične tehnoloških postopkov ne moremo prilagoditi človeku. Posledično delavci delajo na neprilagojenih delovnih mestih. Zato je naloga delodajalca, da stori vse, kar je v njegovi moči, da potencialno škodljive vplive, ki prihajajo iz okolja in vplivajo na človeka, prepreči, če pa to ni mogoče, pa jih zmanjša (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016). Pomembno je, da te dejavnike upoštevamo tudi pri analizi delovnih mest. Pri analizi delovnega mesta doma se mora strokovni delavec za varstvo pri delu osredotočiti na tri ključne elemente, ki jih merimo s fizikalnimi parametri: osvetljenost, mikroklimo in hrup.

7.2.1 Osvetljenost delovnega prostora

Že dolgo časa se zavedamo, da ustrezna osvetljenost omogoča večjo produktivnost, kakovost in višjo stopnjo varnosti pri delu. Svetloba deluje tudi motivacijsko, saj medsebojno povezuje vidne sposobnosti, vidno udobje in vizualni ambient. Pri pisarniškem delu je najbolj izpostavljena potreba po enakomerni osvetljenosti delovnih površin.

Priporočila za osvetljenost delovnega prostora so podana v prilogi Pravilnika o varnosti in zdravju pri delu s slikovnim zaslonom (Uradni list RS, št. 30/00, 73/05 in 43/11 – ZVZD-1, 2000). Ta določajo, da mora biti naravna in/ali umetna osvetljenost prostora, če je le mogoče, $400 \text{ lx} \pm 100 \text{ lx}$ in mora zagotavljati zadovoljive svetlobne razmere, upoštevajoč vrsto dela in zmogljivost delavčevega vida. Če je le mogoče, razmerje svetlosti med zaslonom in okoljem v neposrednem vidnem polju ne sme presežati 1 : 3, v ožjem vidnem polju 1 : 10 in v širšem vidnem polju 1 : 20. Delovno mesto mora biti oblikovano tako, da viri svetlobe, kot so okna, svetilke ali druge svetlobne odprtine ali svetle površine, ne povzročajo neposrednega bleščanja ali motečega zrcaljenja na zaslonu. V ta namen morajo imeti okna ustrezna senčila za preprečevanje vpada sončne svetlobe na delovno mesto ali v prostor tako, da opravljanje dela ni moteno. Priporočena osvetljenost na delovnem mestu za opravila, kjer so zahteve v pogledu videnja velike, pa znaša med 750 in 1500 lx (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

Zelo pomembna je tudi prostorska enakomernost osvetljenosti (U_o), ki je definirana kot razmerje med najmanjšo osvetljenostjo v prostoru (E_m) in povprečno vrednostjo osvetljenosti (vseh meritev) (E_{sr}). Zahtevana enakomernost osvetljenosti za delovne naloge (površine) je vsaj 0,4, za širšo okolico (ozadje) pa vsaj 0,1. Velike razlike v svetlosti predmetov v vidnem polju zmanjšujejo vidne sposobnosti, zato kot take niso dopustne. Svetlost mize ne sme biti manjša od $1/3$ svetlosti dokumenta, ki ga prebiramo. Podobno velja tudi za svetlost okolice proti svetlosti mize, kar definiramo s kontrastom. Pomembna je tudi barva svetlobe, kjer ločimo: toplo belo svetlobo (<3300 K), nevtralno belo svetlobo (3300 K–5300 K) in hladno belo svetlobo (>5300 K). Za opravljanje dela v zaprtih prostorih se priporoča uporaba nevtralne bele svetlobe (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016).

7.2.2 Mikroklima

Toplotno ugodje je toplotno ravnotežje telesa z okolico pri različnih fizikalnih vplivih okolice. Na ugodje vplivajo oblečenost, spol, zgradba, zdravje, hrana, starost, letni čas, vrsta dela, razsvetljava, hrup, psiha ..., najpomembnejši vplivi pa so: obleka, temperatura zraka, srednja temperatura sten, ki obdajajo človeka, in sicer z upoštevanjem oken in grelnih teles, relativne in absolutne vlažnosti zraka ter hitrosti gibanja zraka. Kako zaposleni sprejemajo okolico, lahko ugotovimo z vzorčnimi meritvami. Vežano na ugotovitve preverimo, ali je zaznavanje posledica opravljanja delovnih nalog ali vpliva okoljskih parametrov. Če se toplotno ravnovesje v človeku poruši, lahko pride do postopnega dviganja ali zniževanja telesne temperature. Optimalna temperatura zraka v prostoru pri mirnem delu znaša približno 22 °C, najvišja sprejemljiva pa 40 °C. Ker se zrak v prostoru giblje zaradi naravne ali prisilne konvekcije, standardi omejujejo najvišje hitrosti obpihovanja površine kože človeškega telesa. Priporočena hitrost gibanja zraka je 0,1–0,2 m/s, največja dovoljena pa 0,5 m/s. Za opis ugodne klime je treba opredeliti tudi relativno vlažnost. Za obravnavo stanja zraka, ki vsebuje vodo v obliki vodne pare (vlažni zrak), običajno uporabimo Mollierov diagram h-x za vlažni zrak, ki opredeljuje priporočeno področje, ki ustreza ugodju oblečenega človeka (1 clo). Priporočila omejujejo temperaturno območje 20–26 °C ter relativno vlažnost 30–65 %, pri čemer znaša največja absolutna vlažnost 11,5 g vodne pare na 1 kg suhega zraka (Balantič, Polajnar, & Jevšnik, 2016). Priporočila za vzpostavitev ugodnih klimatskih razmer za opravljanje dela pretežno sede določa Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/99, 39/05 in 43/11 – ZVZD-1, 2011) (tabela 2).

Tabela 2: Priporočila za ureditev delovnega okolja - mikroklima

Vir: Lasten

Področje	Zahteva
Umetno prezračevanje (21. člen)	Prezračevalna ali klimatska naprava mora v prostor, kjer ni drugih onesnaževalcev razen prisotnih oseb, dovesti 20-40 m ³ zraka/h na delavca, ki opravlja delo pretežno sede.
Relativna vlažnost (22. člen)	Ne sme presegati 80 % pri $T_{zraka} \leq 20$ °C, 73 % pri $T_{zraka} \leq 22$ °C, 65 % pri $T_{zraka} \leq 24$ °C, 60 % pri $T_{zraka} \leq 26$ °C, 55 % pri $T_{zraka} \leq 28$ °C Ne sme biti nižja od 30 %.
Temperatura zraka v delovnih prostorih (25. člen)	Ne sme presegati 28 °C.

7.2.3 Hrup

Prisotnost hrupa na delovnem mestu je grožnja za zdravje zaposlenih, zato je temu treba posvetiti veliko pozornosti. Največkrat omenjena in uporabljena referenca je raven zvoka oziroma glasnost zvoka. Raven zvoka/hrupa izračunamo s pomočjo zvočnega tlaka, moči zvoka in intenzitete zvoka. Ker je človeško uho na zvok občutljivo glede na frekvenco zvoka, je vsekakor koristno pogledati oktavno analizo zvoka, saj nekatere frekvence (1.000 do 4.000 Hz) slišimo bolje kot druge (pod 200 Hz). Pri analizi zvoka je najbolje slediti zvoku, ki ga pomerimo z instrumentom z vključitvijo filtra A, ki sprejem zvoka filtrira podobno kot človeško uho. Poudariti je treba, da človek povečanja moči zvoka za dvakrat ne pojmuje kot dvakratno povečanje glasnosti. Na primer hrup, katerega raven znaša 93 decibelov, ima dvakrat večjo moč zvoka od hrupa, katerega raven znaša 90 decibelov in povzroči enako škodo glede sluha v polovico krajšem času izpostavljenosti. Pomembno je vedeti, da človeško uho razlike 3 dB ne zaznava tako kot merilni instrumenti. Človek šele povečanje ravni zvoka za 10 dB dojame kot 2-kratno povečanje glasnosti zvoka. Običajen pogovor ima raven hrupa okoli 65 dB, kričanje pa navadno okoli 80 dB. Čeprav je razlika le 15 dB, je moč zvoka pri kričanju 30-krat večja. Če pa bi povečali raven hrupa za 20 dB, bi bila moč zvoka kar stokrat (100-krat) večja (RS, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, 2009).

Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni list RS, št. 17/06, 18/06 - popr. in 43/11_ZVZD-1, priloga, 2006) določa, da je za pretežno mentalno delo, pri katerem je potrebna velika koncentracija in/ali ustvarjalno mišljenje ali so potrebne daljnosežne odločitve ter zahtevnejša pisarniška dela, določena največja dopustna ekvivalentna raven hrupa na delovnem mestu 55 dB(A), za enostavna pisarniška in njim primerljiva dela pa 65 dB(A).

Povzetek analize obstoječega stanja delovnega okolja in fizikalnih parametrov lahko predstavimo z matriko tveganj (tabela 3).

Pri pripravi preventivnih ukrepov in akcijskega načrta sledimo analitičnim zaključkom posameznih izvedenih meritev in vizualnim analizam. Primer akcijskega načrta, vezanega na ugotovitve antropometrične oziroma ergonomske analize, prikazuje slika 8.

Tabela 3: Matrika tveganj

Vir: Lasten

Parameter	Ergonomska analiza	Mikroklima (opt. 22 - 24 °C rel. vlažnost 60 %)	Osvetljenost (opt. 500 lx)	Hrup $L_{Aeq} = 65$ dBA
Opazanja/ ocena/ meritev	Stol ni nastavljen po višini. Miza ni dovolj široka. Zaslon ni nastavljen na pravilno višino. RULA: 4 - 5, REBA: 6 - 8	$T_{zraka} = 22$ °C, Relativna vlažnost = 55 %	480 lx	$L_{Aeq} = 60,4$ dBA (dopustni okvir)

Opomba:	Večje tveganje	Srednje tveganje	Manjše tveganje
---------	----------------	------------------	-----------------

Zaposleni:	Obstoječe stanje - KAJ SPREMENITI?					KAKO IZVESTI?	ZAKAJ SPREMENITI?	TERMINSKI PLAN IZVEDBE	
Področje obravnave	Rezultati analiz	Vrsta obremenitve	Posledica	Stopnja tveganja	Predlog zmanjšanja tveganja	Ukrep	Pričakovana izboljšava	Prioriteta ukrepa	Nosilec/rok za izvedbo
Ergonomija delovnega mesta	RULA: 4-5 REBA: L. 6-7, D. 7-8	Fleksija hrbtenice (nagibanje naprej).	Presežena obremenjenost vratu in hrbtenice.	3	Zmanjšati obremenitev lokomotornega sistema.	Ukladiti višino mize z višino stola ter podlogo za stopala. Zgornja površina mize na višini 660 – 760 mm (brez podloge za stopala – stopala na tleh).	Zmanjšana obremenitev vratu: RULA < 4 REBA < 6	II	
		Sedenje.	Statične obremenitve trupa in nog.	2	Zmanjšati fleksijo nagibanje hrbtenice naprej in navzdol zaradi dosega naprav.	Razporediti po priporočilih za dosege rok.			
		Prisilna drža telesa pri rokovanju z računalnikom in dokumenti.	Statične obremenitve abdukcije roke (nadlahti, podlahti in zapestje).	2	Časovno omejit predolgo vztrajanje rok v prisilnem položaju.	Namnesti prečno podporo za roke		I	
		Previsoko sedenje (sedežna višina 520 mm od opore za noge, 630 mm od tal).	Točkorna obremenitev stegenice - upor pri pretakanju telesnih tekočin, utrujanje mišičnih struktur, ki postanejo boleča.	3	Ohranjati pravičen položaj hrbtenice (dvojni S). Povečati sklepni kot v kolenskih in v gležnju. Sprostiti stegeniške mišice.	Izbrati stol z nastavljivo višino sedeža. Izbrati podporo za stopala (kot med stopalom in golenico $\geq 90^\circ$). Namnesti ergonomsko talno oblogo.		Udobnejša lega telesa, boljša opora za hrbtenico. Manjša utrujenost stopal in nog.	
Stopnja ukrepanja:	1. Ni tveganja: ukrepati ni potrebno	2. Malo tveganje: ukrepati je morda potrebno	3. Srednje tveganje: ukrepati je potrebno kmalu	4. Visoko tveganje: ukrepati je potrebno čimprej	5. Zelo visoko tveganje: ukrepati je potrebno takoj				

Slika 8: Primer dela akcijskega načrta

Vir: lasten.

8 Priporočila za prilagoditev delovnega mesta posamezniku

Zaposleni, ki delajo na daljavo v domačem delovnem okolju, običajno nimajo na voljo takšnih delovnih pogojev kot v prostorih delodajalca. Zato je pomembno, da s strani delodajalca pridobijo osnovna navodila in napotke, kako naj si ustrezno uredijo svoje domače delovno okolje. Primerno delovno okolje doma sestavljajo: soba, ki zaposlenemu omogoča razmejitev med poklicnim in zasebnim delom oziroma prostor s čim manj motečimi zvočnimi in vizualnimi motnjami; ustrezna temperatura, vlažnost in kakovost zraka, ustrezna naravna in umetna osvetlitev,

ustrezna internetna povezava in telefonske povezave, redno vzdrževana oprema in električna napeljava (Munar, 2021). Samo delovno mesto pa mora vključevati vsaj pisarniški stol, pisarniško mizo, računalniški zaslon, miško in tipkovnico ter stojala za dokumente (EU-OSHA, 2022). Pri delu z računalnikom več kot 4 ure je obvezno potrebno izvesti vsa ergonomska priporočila.

8.1 Ergonomska ureditev »domačega« delovnega mesta

Pisarniški stol: Za pravilno držo telesa med sedenjem poskrbimo z ustreznim stolom. Stol naj bo po možnosti nastavljiv po višini, nastavljiva naj bo tudi ledvena podpora, globina in nagib sedežne površine ter nasloni za roke. Če stol ni nastavljiv, prilagodimo višino sedeža tako, da bodo boki nekoliko višji od kolen, stegna pa rahlo nagnjena navzdol. Če spodnji del hrbta nima zadostne podpore, to zagotovimo z dodatno oporo (npr. tanjšo blazino), ki jo namestimo za spodnji del hrbta. Če je sedalo prenizko, nanj položimo debelejšo blazino, ki nam bo pomagala ohranjati udobno držo telesa. Pri sedenju morajo biti stopala v dobrem stiku s tlemi. V nasprotnem primeru pod stopala položimo podlogo ustrezne debeline. Stopala morajo odločno počivati na zanesljivi opori.

Pri različnih delih v sedečem položaju je potrebno omogočiti dinamično sledenje sedežne površine stola tako, da se medenica neovirano nagne naprej (pisanje za mizo) in da se brez težav lahko spreminja kot med trupom in stegni, kar dosežemo tudi z zviševanjem sedežne površine. Ko se človek nagne nazaj, telo potrebuje primerno lumbalno oporo, kombinirano z zmanjšano višino sedenja, drugače prihaja do pretiranega zvrčanja medenice nazaj in s tem izravnava lumbalne krivine. Posledica tega je pojav kifoze z neenakomernim pritiskom na diske. Brez lumbalne opore se nosilni steber hrbtenice odmakne od kolčnega vrtišča in s tem se poveča moment ter posledično pritisk na medprostor med 4. in 5. lumbalnim vretencem (L4-L5). Prav iz te točke pa izhaja največ težav sedečega človeka (Balantič Z., 2002). Glavni razlog za trditev, da je potrebno v človekovo sedeče delo uvesti čim več dinamike, je v primerjavi indeksov pritiska na spodnji del hrbtenice v odvisnosti od različnih tipov sedenja. Človek ima v izravnanim stoječem položaju izhodiščni intervertebralni (medvretenčni) pritisk z indeksom 1. Sedeč položaj povzroča večjo obremenitev spodnjega dela hrbtenice glede na stoječ položaj. Razlog za povečanje obremenitve leži v prisilnem izravnavanju naravne krivine hrbtenice. Vzravnani sedeč položaj telesa oblikuje držo telesa, ki ustreza pravemu kotu v komolcih,

medenici in kolenih (sistem 90–90–90). Ta sistem je bil priporočljiv v preteklosti. Danes priporočamo nekoliko bolj odprto lego telesa (100° - 110°), vendar z opozorilom, da uporabimo ustrezen stol, ki omogoča zanesljivo oporo takemu položaju telesa. Sedenje predstavlja sprostitvev po teku ali hoji, ko se obtok sprošča. Oskrba telesa z energijo postane zadostna, kar blagodejno vpliva na intelektualno delo. Kljub vsemu človek ni ustvarjen za sedenje, saj daljše vztrajanje v sedečem položaju vpliva na elastičnost hrbteničnih medvretenčnih diskov. Medvretenčni prostor, ki ima nalogo dušiti tresljaje s podlage, postaja deformiran in nefunkcionalen. Če se osredotočimo na samo sedenje, lahko ugotovimo, da različni položaji telesa povzročijo ustrezne spremembe obremenitve spodnjega dela hrbtenice. Stol telesu pri naslanjanju nudi oporo in zmanjšuje pritisk na spodnji del hrbtenice. Opora za roke zmanjšuje dodatno obremenitev medvretenčnega prostora, vendar ne nevtralizira ramenskih obremenitev. Klasični "tipkarski" položaj telesa brez opore za roke pa povzroča največji pritisk na spodnji predel hrbtenice. Enotne in edino pravilne drže telesa pri sedenju ne moremo definirati. Pomembno je, da se zavedamo, da je potrebno stalno spreminjati položaj sedečega telesa, saj se tako izognemo nefiziološkemu položaju. Vsaka sprememba položaja sprosti pritisk na medvretenčni prostor in omogoči boljšo prekrvljenost. Brez treninga mišična moč nazaduje in zato želimo, da hrbet ni ves čas podprt. Pasivno sedenje naj v intervalih zamenja tudi aktivno sedenje, ki pa je značilno po tem, da hrbtenica ves čas išče optimalni položaj.

Pri dinamičnem sedenju se osredotočamo na 4 anatomske točke, ki najbolje rišejo položaj sedečega človeka. Te točke se nahajajo v kolenskih vezeh, kolčnih vezeh, v 4. lumbalnem vretencu (L4) in v ramenskih vezeh. Sledenje položaju telesa pri aktivnem sedenju pokaže, da se človek najmanj pripogiba naprej in s tem sedi najbližje fiziološkemu položaju, če ohranja lumbalno lordozo. Sklepamo lahko, da je za dolgotrajno sedenje najprimernejše sedenje v polstoječem položaju, ki omogoča največje razbremenjevanje medvretenčnih pritiskov, vendar tudi zahteva prirejanje pisarniškega delovnega okolja. Po oceni mora višina stola ustrezati cca. $1/3$ višine človeka, višina mize pa cca. $1/2$ višine človeka. Natančnejše prilagojevanje telesnih razmerij lahko dokončno uredimo z nastavljivimi višinami stola in mize ter z uporabo podpore za noge.

Pisarniška miza: Miza mora biti dovolj velika in mora nuditi dovolj prostora za noge. V skladu s standardom SIST EN 527-1:2012, ki določa mere delovnih in pisalnih miz za pisarniške naloge, ki naj bi se izvajale stoje, sede ali v kombinaciji obeh položajev, naj bi bila širina mize vsaj 80 cm in debelina manj kot 5 cm. Če miza ni nastavljiva po višini, bo za večino odraslih primerna višina delovne površine med 72 in 76 cm. Če je višina mize nastavljiva, njeno višino prilagodimo višini komolcev, pri čemer morajo biti ob pravilni drži telesa ramena sproščena. V primeru fiksne višine mize, ki je previsoka, dvignemo nivo sedala pisarniškega stola (ali uporabimo blazine, če stol ni nastavljiv), tako da so komolci v isti višini, kot je delovna površina mize. Če ugotovimo, da je miza ob teh priporočilih prenizka, lahko njeno višino prilagodimo z uporabo stabilnih in varnih podstavkov, npr. kock. Delovno površino mize očistimo vseh nepotrebnih predmetov, orodja in pripomočke za delo pa uredimo po ergonomskih priporočilih. Ključno je, da je pri delu potrebno zagotoviti dovolj dinamike (sedeče/stoječe delo), saj je samo statično delo v stoječem položaju še bolj obremenjujoče kot samo statično delo v sedečem položaju.

Računalniški zaslon: Vse bolj pogosto se srečujemo s kombinacijo primarnega in sekundarnega zaslona, ki ju nameščamo enega ob drugem. Običajno se v tem primeru odločimo, kateri zaslon bo odigral primarno vlogo. Primarni zaslon postavimo frontalno pred seboj, sekundarni zaslon pa tesno ob njega, in sicer s tolikšnim kotnim zamikom, da ohranimo isto pravokotno razdaljo od oči do obeh zaslonov. Če sta oba zaslona enako pomembna, ju postavimo polkrožno glede na razdaljo od oči. V primeru, da pri delu uporabljamo prenosni računalnik, pravilno višino nastavitve zaslona dosežemo z uporabo stojala za prenosni računalnik. Če stojala nimamo, prenosni računalnik podložimo s škatlo ali knjigami ustrezne višine. Priporočljiva je uporaba ločenega, vsaj 19-palčnega zaslona. Če pri opravljanju delovnih nalog enakovredno uporabljamo dva zaslona, ju postavimo neposredno pred seboj v obliki črke V. Če enega od zaslonov uporabljamo pogosteje kot drugega, osrednji zaslon postavimo neposredno pred sebe, drugega pa nekoliko v stran. Pomembna je pravilna nastavitve višine zaslona, saj se tako izognemo obremenitvam mišic v vratu in ramenih. To storimo tako, da ga postavimo na višino oči (OSHA a, 2003) oziroma v višini npr. Wordovega menija. Zaslon naj bo nagnjen nazaj za 10° do 15° (naš pogled v smeri sredine zaslona naj bo pravokoten na površino zaslona). Velikost črk naj bo običajno 12 točk (odvisno od ločljivosti zaslona in povečave), zaslon pa naj bo oči oddaljen 50–75 cm (iztegnjena roka do dlani). Za udobno delo potrebujemo zaslon z dobrim kontrastom, visoko svetlostjo

in nizko odbojnostjo. V izogib utrujenim očem strokovnjaki priporočajo uporabo pravila 20–20–20 (Alghamdi & Alrasheed, 2020). To pomeni, da moramo po 20 minutah dela za računalnikom svojim očem privoščiti vsaj 20-sekundni odmor. V tem času pogled usmerimo v predmet, ki je oddaljen vsaj 20 čevljev (dobrih 6 metrov), še bolje skozi okno v daljavo, da razbremenimo oči, ki se morajo med strmenjem v zaslon stalno naprezati. Berljivost povečamo z ustrezno velikostjo pisave in dovolj velikim razmikom med vrsticami. Pri tem uporabljamo celotno širino zaslona, z nebarvnim ozadjem (npr. temna pisava na svetlem ozadju). Za povečanje udobja pri delu z računalnikom se priporoča tudi uporaba računalniških očal, ki blokirajo modro svetlobo računalniških zaslonov (blue blocker filter) (Balantič & Aljančič, 2018).

Tipkovnica in miška: Pri delu s prenosnim računalnikom se priporoča uporaba ločene miške in tipkovnice. Priporoča se uporaba ploščate tipkovnice, saj previsoke ali prenizke tipkovnice lahko povzročijo nerodno in zakrčeno držo zapestja, rok in ramen in lahko povzročijo nelagodje v omenjenih predelih. Alfanumerični del tipkovnice namestimo neposredno pred zaslon, na razdalji, ki omogoča, da komolci ostanejo blizu telesa, podlakti pa so približno vzporedne s tlemi (OSHA b, 2003). Če je le mogoče, tipkovnico nagnemo nekoliko stran od sebe (negativni naklon), saj s tem dosežemo manjšo ekstenzijo zapestja in tako zmanjšamo nevarnost za pojav vnetja zapestnega kanala. Miško postavimo čim bližje tipkovnici, tako da ohranimo ravno - nedevirano nevtralno držo zapestja. V ta namen si lahko pomagamo z uporabo podloge za miško z naslonom za zapestje (OSHA c, 2003). Miška, ki je locirana blizu tipkovnice, omogoča bolj sproščeno držo ramen, saj nadlakti niso abducirane. Kot v komolcih naj bo nekoliko večji od 90 °. Slaba navada je, da miško prevečkrat premikamo le z gibanjem zapestja, zato si lahko pomagamo z aktivacijo premikanja podlahti in spreminjanjem komolčnega kota. Skupno vsem priporočilom je dinamika v vseh mogočih trenutkih. Ko miške ne uporabljamo, moramo biti pozorni, da roka ne počiva na miški. Uporabo miške zmanjšamo z uporabo bližnjic na tipkovnici. Na ta način se zagotovo izognemo neprijetnostim, ki jih povzroča sindrom zapestnega prehoda.

Stojalo za dokumente: V primeru obsežnejšega rokovanja s papirnato dokumentacijo, iz katere vnašamo besedilo v računalnik, se za ohranjanje nevtralne telesne drže priporoča uporaba stojala za dokumente. Stojalo postavimo za

tipkovnico in pod zaslon, zasukan za majhen kot glede na smer srednice zaslona. Dokumenti morajo biti jasno berljivi.

8.2 Vzpostavitev optimalnih delovnih pogojev

V domači pisarni je poleg delovne mize, ergonomskega stola, velikega računalniškega zaslona ter drugega pisarniškega pohištva pomembna tudi ustrezna osvetlitev. Ta bi morala znašati vsaj 500 luksov. Pri tem moramo paziti, da se izogibamo ekstremnim svetlobnim kontrastom (gledanje v zaslon v temni sobi) in bleščanju zaradi sončne svetlobe ali močne svetlobe na zaslonu. Temu se izognemo s pravilno postavitvijo mize ob okno. Pri tem pazimo, da je smer pogleda na zaslon vzporedna s površino okna. Za kakovosten zrak v prostoru poskrbimo z rednim prezračevanjem prostora. V prostoru moramo ohranjati temperaturo zraka med 22 °C in 24 °C. Počutje v prostoru bo tem boljše, čim bolj bo temperatura sten podobna temperaturi zraka v prostoru. Na toplotno ugodje lahko vplivamo z oblačili. Če je možno, delo opravljamo v ločenem prostoru, da se v največji meri izognemo motnjam iz okolja (npr. glasbi, televiziji, hladilniku, sostanovalcem ...). To je še toliko bolj pomembno, če delovne naloge od nas zahtevajo večjo koncentracijo.

8.3 Promocija zdravja na delovnem mestu

Delodajalci so zakonsko dolžni izvajati ukrepe promocije zdravja na delovnem mestu. Da bodo zaposleni, ki delo opravljajo od doma, ohranjali svoje fizično in duševno zdravje, jih morajo spodbujati k dinamičnemu sedenju, da so pri opravljanju dela v sedečem položaju pozorni na pravilno držo telesa in da držo telesa čim večkrat spremenijo. Enako pomembni sta tudi telesna aktivnost in vadba izven delovnega časa. Rezultati nedavne španske študije (Rodriguez, in drugi, 2020) so pokazali, da se je pri zaposlenih, ki so v času epidemije covid-19 delali na daljavo od doma in so spremenili svoje navade telesnih aktivnosti (več kot 30 minut zmerne telesne dejavnosti vsak dan), zmanjšalo tveganje za pojav kostno-mišičnih obolenj. EU-OSHA za več gibanja in zmanjšanje sedečega dela med opravljanjem dela od doma priporoča naslednje aktivnosti (EU-OSHA, 2022):

- Pričetek dneva s kratkim sprehodom ali hitro vadbo (npr. joga, raztezanje, vaje za moč ...).

- Menjava delovnih nalog in sprememba telesne drža vsako uro (vstajanje in odmor za kavo itd.).
- Hoja po prostoru med spletnimi sestanki ali med telefonskimi pogovori.
- Dinamično opravljanje dela (eno uro v sedečem položaju, pol ure v stoječem položaju).
- Odmor za kosilo izkoristiti tudi za kratek sprehod (15-min. vadba, delo na vrtu ali druge aktivnosti na prostem).
- Telesna aktivnost vsaj 30 minut na dan z zmerno intenzivnostjo, (hitra hoja, kolesarjenje s hitrostjo najmanj 15 km/h, delo na vrtu ...).

Vse te aktivnosti prispevajo tudi k zmanjševanju stresa, ki je eden od pomembnih psihosocialnih dejavnikov, za katere je bilo ugotovljeno, da so povezani s pojavom kostno-mišičnih obolenj (EU-OSHA, 2019). Glavne vire stresa zaposlenim na daljavo sicer predstavljajo dolg delovni čas, intenzivno in fleksibilno delo, socialna izolacija ter zabrisana meja med zasebnim in poklicnim življenjem.

9 Ozaveščanje in usposabljanje za varno in zdravo delo od doma

Četudi delodajalec zaposlenemu zagotovi ustrezno ergonomsko opremo, po višini nastavljivo delovno mizo in stol ... in jih opremi z navodili za njihovo uporabo, to še ne pomeni, da so tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj odpravljena. Zagotoviti jim mora tudi tehnično podporo in usposabljanje za pravilno uporabo opreme, predvsem pa mora pozornost usmeriti v izvedbo izobraževanj in usposabljanj za prepoznavanje in razumevanje tveganj, povezanih z delom, ter njihovo preprečevanje in tudi v povečanje ozaveščenosti o kostno-mišičnih boleznih (Hoe, Urquhart, Kelsall, Zamri, & Sim, 2018). Delodajalec mora zaposlenim zagotoviti informacije in veščine, na podlagi katerih bodo sami lahko opravili oceno delovnega mesta ter sprejeli ustrezne ukrepe za varno delo ter zdrav življenjski slog. Zato je pomembno, da sta izobraževanje in usposabljanje za preprečevanje in zmanjšanje tveganj za pojav kostno-mišičnih obolenj vključena v politiko varnosti in zdravja pri delu podjetja. Cilj usposabljanj je zmanjšati število in vrste nerodnih telesnih položajev ter število ponavljajočih se vzorcev gibanja ter s tem preprečiti tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj. Številni primeri dobre prakse kažejo, da se tovrstni programi usposabljanja uporabljajo za uvajanje participativne ergonomije

v podjetje, v okviru katerih zaposleni prepoznavajo tveganja v svojem domačem delovnem okolju ter predlagajo rešitve za izboljšanje delovnih pogojev. Programi usposabljanja za delavce, ki delo opravljajo na daljavo od doma, vključujejo naslednje vsebine: ergonomska načela oblikovanja delovnega mesta; tveganja za zdravje pri opravljanju pisarniškega dela, s poudarkom na tveganjih pri delu s slikovnimi zasloni; kostno-mišična obolenja in dejavniki tveganja, povezani s kostno-mišičnimi obolenji; preventivni ukrepi za preprečevanje tveganj, povezani z računalniško opremo in pohištvom, sedenjem, ureditvijo delovnega mesta, delovnim okoljem in organizacijo dela.

10 Zaključek

Delo na daljavo je oblika ureditve dela, katerega obseg se je v zadnjih dveh letih zaradi epidemije covid-19 močno povečal. Številne raziskave so pokazale, da si zaposleni zaradi izboljšanja ravnovesja med poklicnim in zasebnim življenjem, lažjega načrtovanja prostega časa, večje avtonomnosti in prilagodljivosti tudi v prihodnosti želijo delati od doma. Prednosti dela na daljo od doma prepoznavajo tudi delodajalci, saj v takšni obliki dela vidijo priložnost za zmanjšanje poslovnih stroškov ter povečanje produktivnosti zaposlenih. Posledično na epidemijo covid-19 lahko gledamo kot na priložnost za številna podjetja, da vzpostavijo takšno organizacijo dela, ki bo prinašala koristi tako njim kot zaposlenim. Kljub številnim prednostim, ki jih prinaša delo na daljavo, pa ne smemo spregledati področja varnosti in zdravja pri delu, saj obstajajo tveganja, da takšna ureditev dela lahko povzroči tveganja za pojav kostno-mišičnih obolenj. V zvezi z opravljanjem dela od doma sta se namreč izpostavili dve pomembni vprašanji. Prvo je povezano z (ne)ustreznostjo ergonomije domačih delovnih mest, drugo pa s psihosocialnimi tveganji, katerim so zaposleni izpostavljeni pri opravljanju dela iz domače pisarne.

Ena od obveznih nalog delodajalcev, ki razmišljajo o takšni obliki ureditvi dela v prihodnosti, bi morala biti v skladu z zakonskimi zahtevami zato usmerjena tudi v vzpostavitev jasne politike dela na daljavo. Potrebno je voditi politiko, ki bo opredelila ergonomske in psihosocialne dejavnike tveganja dela na daljavo od doma, opremo in tehnično podporo, način in orodja komunikacije med zaposlenimi in delodajalcem oziroma sodelavci, način spremljanja dela ter poročanja o rezultatih, razmerje med poklicnim in zasebnim življenjem itd. Vsemu je potrebno dodati še politiko, ki bo zaposlenim omogočila različna izobraževanja in usposabljanja, jih

ozavestila o tveganjih, ki so jim pri opravljanju dela od doma izpostavljeni, jih usposobila za prepoznavanje in ocenjevanje teh tveganj ter omogočila iskanje ustreznih preventivnih ukrepov za optimizacijo ergonomije domačega delovnega mesta (prilagajanje pohištva, uporaba naprav, orodij, pripomočkov, urejanje delovnega prostora za zagotavljanje udobne, nevtralne telesne drže). Poseben poudarek je potrebno nameniti vzdrževanju fizikalnih parametrov delovnega okolja (kakovost zraka, hrup, osvetlitev) ter izboljšanju ravnovesja med poklicnim in zasebnim življenjem. Pozornost je potrebno nameniti ukrepom za preprečevanje občutka izoliranosti, nepovezanosti ali zapuščenosti. V primeru, da delodajalci teh ukrepov ne bodo izvajali, pričakujemo, da se težavam zaradi zdravstvenih vzrokov zaposlenih ne bodo mogli izogniti.

Literatura

- Alghamdi, M., & Alrasheed, S. (Waleed M. Alghamdi, Saif H Alrasheed 2020). African Vision and Eye Health, Vol 79, No 1, a554. Impact of an educational intervention using the 20/20/20 rule on Computer Vision Syndrome, str. doi:10.4102/aveh.v79i1.554.
- Ariens, G., Van Mechelen, W., Bongers, P., Bouter, L., & Van der Wal, G. (2000). Physical risk factors for neck pain. *Scand J Work Environ Health*, 26, 7–19.
- Balantič, Z. (2002). Izzivi dinamičnega sedenja. Management in Evropska unija / 21. znanstvena konferenca o razvoju organizacijskih ved, Portorož, 27. - 29. marec 2002. (str. 152 - 157). Kranj: Moderna organizacija.
- Balantič, Z., & Aljančič, D. (2018). Vizualna ergonomija z uporabo korekcijskih zaščitnih očal. Vir znanja in izkušenj za stroko: zbornik foruma IRT. Portorož.
- Balantič, Z., Balantič, B., & Jarc Kovačič, B. (18. 3 2019). Ergonomska analiza kostno-mišičnega nelagodja zaposlenih v kadrovskih oddelkih. Pridobljeno iz Ekosistem organizacij v dobi digitalizacije [Elektronski vir] : konferenčni zbornik = [Ecosystem of organizations in the digital age : conference proceedings.: <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/view/397/393/675-3>
- Balantič, Z., Polajnar, A., & Jevšnik, S. (2016). Ergonomija v teoriji in praksi. Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje.
- Bartleby. (9. April 2022). *The Economist*, 443(9291). The value of clarity, str. 53.
- Buomprisco, G., Ricci, S., Perri, R., & De Sio, S. (2021). *European Journal of Environment and Public Health*, 2021 - Volume 5 Issue 2, Article No: em0073, <https://doi.org/10.21601/ejeph/9705>. Health and Telework: New Challenges after COVID-19 Pandemic.
- Buomprisco, G., Ricci, S., Perri, R., & Sio, S. (2021). *European Journal of Environment and Public Health*, 5 (2), em0073. Health and Telework: New Challenges after COVID-19 Pandemic, str. <https://doi.org/10.21601/ejeph/9705>.
- Buscemi, V., Chang, W., & Liston, M. (2017). *Systematic Reviews*, 6, 224. The role of psychosocial stress in the development of chronic musculoskeletal pain disorders: protocol for a systematic review and meta-analysis, str. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0618-0>.
- Celik, S., Celik, K., Dirimese, E., Taşdemir, N., & Arik, T. (2018). Determination of pain in musculoskeletal system reported by office workers and the pain risk factors. Celik, S., Celik, K., Dirimese, E., Taşdemir, N., Arik, T., BüyükkarInternational Journal of Occupational Medicine and Environmental, 31(1), 91-111.

- Coenen, P., Van der Molen, H., Burdorf, A., Huysmans, M., Straker, L., Frings-Dresen, M., & Van der Beek, A. (2019). Occupational and Environmental Medicine; Volume 76, Issue 7. Associations of screen work with neck and upper extremity symptoms: a systematic review with meta-analysis, str. 502-509.
- Daenen, L., Meers, T., Verwimp, D., Selis, K., & Godderis, L. (15. 7 2021). OSHWiki. Pridobljeno iz Risk assessment and telework - checklist: http://oshwiki.eu/index.php?title=Risk_assessment_and_telework_-_checklist&oldid=253687
- Daenen, L., Van den Hoof, E., & Godderis, L. (3. May 2021). Musculoskeletal disorders and telework. Pridobljeno iz OSHWiki: http://oshwiki.eu/index.php?title=Musculoskeletal_disorders_and_telework&oldid=253618
- EU-OSHA. (15. 11 2019). Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU, European Risk Observatory Report. Pridobljeno iz https://osha.europa.eu/sites/default/files/Work-related_MSDs_prevalence_costs_and_demographics_in_the_EU_report.pdf
- EU-OSHA. (19. 7 2021). OSHwiki. Pridobljeno iz Checklist - Teleworking: https://oshwiki.eu/images/0/02/OSH_wiki_Checklist_for_TW2.pdf
- EU-OSHA. (17. 1 2022). Healthy Workplaces Campaign 2020-22. Pridobljeno iz Musculoskeletal disorders related to telework – Tips for employers: https://osha.europa.eu/sites/default/files/2022-01/telework_employers.pptx
- Eurofound. (2020). Living, working and COVID-19, COVID-19 series. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eurofound and the International Labour Office. (2017). Working anytime, anywhere: The effects on the world of work. Publications Office of the European Union, Luxembourg and the International Labour Office, Geneva. Pridobljeno iz Eurofound and the International Labour Office, Working anytime, anywhere: The effects on the world of work, Publications Office of the European Union, Luxembourg, and the International Labour Office, Geneva. <http://eurofound.link/ef1658>.
- European Framework Agreement on Telework. (17. 5 2005). Pridobljeno iz <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:c10131>
- Eurostat. (4. february 2022). Pridobljeno iz Employed persons working from home as a percentage of the total employment, by sex, age and professional status (%): https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lfsa_ehomp/default/table?lang=en
- Fukushima, N., Machida, M., Kikuchi, H., Amagasa, S., Hayashi, T., Odagiri, Y., . . . Inoue, S. (Jan-Dec 2021). Journal of Occupational Health, 63(1): e12212. Associations of working from home with occupational physical activity and sedentary behavior under the COVID-19 pandemic, str. doi: 10.1002/1348-9585.12212.
- Hedge, A., Morimoto, S., & McCrobie, D. (1999). Effects of keyboard tray geometry on upper body posture and comfort. Ergonomics, 42 (10), 1333-1349.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31, str. 201-205.
- Hoe, V., Urquhart, D., Kelsall, H., Zamri, E., & Sim, M. (23. Oct 2018). Cochrane Database Syst Rev., 10(10):CD008570. Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers, str. doi: 10.1002/14651858.CD008570.pub3.
- I.L.O. (2020). Practical Guide on Teleworking during the COVID-19 pandemic and beyond. A practical guide. Geneva: International Labour Office.
- Jansen, K., Luik, M., Reinvee, M., Viljasoo, V., Ereline, J., Gapeyeva, H., & Pääsuke, M. (2012). Musculoskeletal discomfort in production assembly workers. Acta kinesiologiae Universitatis Tartuensis,, 102–110.
- Jensen, C. (2003). Scand J Work Environ Health, 29(3). Development of neck and hand-wrist symptoms in relation to duration of computer use at work, str. 197-205.

- Kaliniene, G., Ustinaviciene, R., Skemiene, L., & Januskevicius, V. (October 2013). *Int J Occup Med Environ Health*. Associations between neck musculoskeletal complaints and work related factors among public service computer workers in Kaunas, str. 670-81.
- Korhonen, T., Ketola, R., & Toivonen, R. (2003). *Occupational and Environmental Medicine*, 60. Work related and individual predictors for incident neck pain among office employees working with video display units, str. 475-482.
- Mann, S., & Holdsworth, L. (October 2003). *New Technology Work and Employment*, 18(3). The Psychological Impact of Teleworking: Stress, Emotions and Health, str. 196 - 211.
- McAtamney, L., & Corlett, E. (1993). *Applied Ergonomics*, 24. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, str. 91-99.
- Montreuil, S., & Lippel, K. (2003). *Safety Science* 41(4). Telework and Occupational Health: A Quebec Empirical Study and Regulatory Implications, str. 339-358.
- Munar, L. (28. April 2021). Practical tips to make home-based telework as healthy, safe and effective as possible. Pridobljeno iz OSHWiki: http://oshwiki.eu/index.php?title=Practical_tips_to_make_home-based_telework_as_healthy,_safe_and_effective_as_possible&oldid=253596
- Op De Beeck, R. (5. Junij 2020). OSHWiki. Pridobljeno iz Strategies to tackle musculoskeletal disorders at work: training: http://oshwiki.eu/index.php?title=Strategies_to_tackle_musculoskeletal_disorders_at_work_training&oldid=252109
- OSHA a. (2003). Occupational Safety & Health Administration. Pridobljeno iz Computer Workstations: Workstation Components - Monitors: <https://www.osha.gov/etools/computer-workstations/components/monitors>
- OSHA b. (2003). Occupational Safety & Health Administration. Pridobljeno iz Workstation Components » Keyboards: <https://www.osha.gov/etools/computer-workstations/components/keyboards>
- OSHA c. (2003). Occupational Safety & Health Administration. Pridobljeno iz Computer Workstations : Workstation Components - Pointer/Mouse: <https://www.osha.gov/etools/computer-workstations/components/pointer-mouse>
- Predotova, K., & Vargas Llave, O. (6. September 2021). Eurofound. Pridobljeno iz Workers want to telework but long working hours, isolation and inadequate equipment must be tackled.
- Prenehajte s tem hrupom! (priložnik z osnovnimi informacijami in navodili) - 2. ponatis. (2009). Ljubljana: Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve.
- Rodríguez, O., Leirós-Rodríguez, R., Benítez-Andrades, J., Álvarez Álvarez, M., Marqués-Sánchez, P., & Pinto-Carral, A. (December 2020). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1):31. Musculoskeletal Pain and Teleworking in Times of the COVID-19: Analysis of the Impact on the Workers at Two Spanish Universities, str. doi:10.3390/ijerph18010031.
- RS, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve. (2009). Prenehajte s tem hrupom! (priložnik z osnovnimi informacijami in navodili) - 2. ponatis. Ljubljana: Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve.
- SAFE Work Manitoba. (jan 2022). Ergonomic Risk Factor Checklist (ERF Checklist). Pridobljeno iz https://www.safemanitoba.com/Page%20Related%20Documents/resources/ErgoRiskFactorChecklist_20SWMB.pdf
- Sostero, M., Milasi, S., Hurley, J., Fernández-Macías, E., & Bisello, M. (2020). *Teleworkability and the COVID-19 crisis: a new digital divide?* Seville: European Commission.
- Trček, F. (2000). *Uporabna informatika*, Let. 8, št. 2. Prednosti in nevarnosti teledela - perspektive uvajanja teledela v Sloveniji, str. 87-93.
- Uradni list EU, št. 183/1. (29. junij 1989). Pridobljeno iz Direktiva sveta z dne 12. junija 1989 o uvajanju ukrepov za spodbujanje izboljšav varnosti in zdravlja delavcev pri delu (89/391/EGS): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0391&from=EN>
- Uradni list RS, št. 101/04 in 43/11 – ZVZD-1. (2011). Pravilnik o varnosti in zdravju pri uporabi delovne opreme.

- Uradni list RS, št. 17/06, 18/06 - popr. in 43/11_ZVZD-1, priloga. (2006). Pravno-informacijski sistem. Pridobljeno iz Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV7166>
- Uradni list RS, št. 21/13, 78/13 – popr., 47/15 – ZZSDT, 33/16 – PZ-F, 52/16, 15/17 – odl. US, 22/19 – ZPosS, 81/19, 203/20 – ZIUPOPĐVE, 119/21 – ZČmIS-A in 202/21 – odl. US. (2013). Zakon o delovnih razmerjih (ZDR-1). Pridobljeno iz <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO5944>
- Uradni list RS, št. 30/00, 73/05 in 43/11 – ZVZD-1. (2000). Pravno-informacijski sistem. Pridobljeno iz Pravilnik o varnosti in zdravju pri delu s slikovnim zaslonom: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV425>
- Uradni list RS, št. 43/11. (2011). Pravno-informacijski sistem. Pridobljeno iz Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO5537>
- Uradni list RS, št. 89/99, 39/05 in 43/11 – ZVZD-1. (2011). Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih.
- Ward, N., & Shabha, G. (January 2001). Facilities, 19(1/2). Teleworking: An Assessment of Socio-Psychological Factors, str. 61-71.
- Wolkoff, P. (2018). International Journal of Hygiene and Environmental Health, Volume 221, Issue 3. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview, str. 376-390.

EMISIJE TRDNIH DELCEV TER NJIHOV VPLIV NA KAKOVOST ZRAKA IN ZDRAVJE

MARJAN SENEGAČNIK,¹ TATJANA KITIČ JAKLIČ,²
DRAGO VUK,¹ MAJA ZAJEC,¹ EVA KRHAČ ANDRAŠEC¹

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
marjan.senegacnik@um.si, drago.vuk@um.si, maja.zajec@um.si, eva.krhac1@um.si

² Osnovno zdravstvo Gorenjske, OE Zdravstveni dom Kranj, Kranj, Slovenija
tkitic@gmail.com

Sinopsis Obremenjen zrak povzroča precej škodljivih vplivov na zdravje in je po ugotovitvah Svetovne zdravstvene organizacije tudi krivec za veliko število prezgodnjih smrti. Med različnimi vrstami polutantov so problematični predvsem trdni delci PM 2,5. Njihove povišane koncentracije so še posebno nevarne za razvoj srčno-žilnih obolenj in povečane smrtnosti zaradi tovrstnih obolenj. V prispevku je najprej podan pregled študij vpliva kratkotrajne izpostavljenosti zvišanim koncentracijam trdnih delcev na pojav srčno-žilnih zapletov ter smrtnost kot tudi bioloških mehanizmov, preko katerih ti škodljivi učinki potekajo. Temu sledi prikaz učinka dolgotrajne izpostavljenosti trdnim delcem na smrtnost, kjer je bilo sicer izvedeno precej manjše število raziskav. Na koncu prispevka so predstavljene tudi ugotovitve zanimive raziskave vplivov koncentracij PM 2,5 delcev na smrtnost v krajih s prekomerno obremenjenim zrakom, ki so jo izvedli v Sloveniji.

Ključne besede:

trdni delci,
obremenjevanje
ozračja,
antropogene
emisije,
bolezni srca in
ožilja,
smrtnost

EMISSIONS OF PARTICULATE MATTER AND THEIR IMPACT ON AIR QUALITY AND HEALTH

MARJAN SENEGAČNIK,¹ TATJANA KITIČ JAKLIČ,²
DRAGO VUK,¹ MAJA ZAJEC,¹ EVA KRHAČ ANDRAŠEČ¹

¹ University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
marjan.senegacnik@um.si, drago.vuk@um.si, maja.zajec@um.si, eva.krhac1@um.si

² Primary Health Care of Gorenjska, OU Zdravstveni dom Kranj, Kranj, Slovenia
tkitic@gmail.com

Abstract Polluted air causes many harmful effects on human health and is according to the findings of the World Health Organization the culprit for a great number of premature deaths worldwide. Among various kinds of pollutants the PM 2,5 particles are recognized as especially problematic. It has been estimated that elevated air levels of these particles are connected with the development of cardio-vascular diseases and increased cardio-vascular mortality. In this paper the impact of short-term exposure to the PM particles on the cardio-vascular morbidity and mortality is discussed first. There is also included a brief review of biological mechanisms through which these adverse effects occur. This is followed by the presentation of the impact of long-term exposure to the PM particles on morbidity and mortality where significantly fewer studies have been conducted. At the end of the paper the results of an interesting study addressing to the influence of the PM 2,5 particles on mortality in Slovenian municipalities with excessively polluted air are presented.

Keywords:

particulate matter,
air pollution,
anthropogenic
emissions,
cardio-vascular
diseases,
mortality

1 Uvod

Emisije v ozračju so že vrsto let v središču pozornosti. Vendar zaradi groženj, ki jih prinaša globalno segrevanje in z njim povezani problemi, v ospredje stopajo predvsem emisije ogljikovega dioksida in drugih toplogrednih plinov. Manj pa se govori o problemih onesnažil (v nadaljevanju polutantov) v ozračju in posledično poslabšani kakovosti ozračja, čeprav tudi ta problem ni popolnoma brez pozornosti. Predvsem v laični javnosti je zaznati, da se pogosto medsebojno zamenjujeta pojma polutanti in toplogredni plini. Tako emisije polutantov kot emisije toplogrednih plinov so sicer predvsem posledica človekovih dejavnosti, kot so energetika, industrija, promet, kurilne naprave, kmetijstvo in še nekatera druga področja, vendar je potrebno razlikovati med pojmom. Razlika obstaja v načinu, kako ti dve skupini snovi škodujeta okolju in živim organizmom.

Z izrazom polutanti ali onesnažila imenujemo snovi, prisotne v zraku, ki so ali strupene ali na kakšen drug način škodljive za človeško zdravje in druge žive organizme. Tovrstne snovi so sicer lahko prisotne v zraku tudi zaradi naravnih pojavov, kot so vulkanski izbruhi, gozdni požari, udari strele in podobno, vendar je njihova prisotnost lokacijsko in časovno omejena. V časovnem povprečju v naravnem ozračju tovrstne snovi tako ne zavzamejo omembe vrednega deleža in jih imenujemo tudi slučajne sestavine zraka (Lazarini in Brenčič, 1984). Zaradi človekovih aktivnosti (npr. industrija, energetika, promet, kurilne naprave, ravnanje z odpadki ipd.) pa zdaj emisije teh snovi v ozračje potekajo bolj ali manj stalno. Koncentracija teh snovi je zato v ozračju v okoljih, kot so mestna središča, industrijska območja, bližina prometnic ipd., pogosto znatna in tudi doseže vrednosti, ko nastopijo škodljive posledice za človeško zdravje. Med najpomembnejša onesnažila sodijo žveplov dioksid (SO₂), ogljikovodiki (HC), ogljikov monoksid (CO), dušikova oksida (NO in NO₂), prizemni ozon (O₃) in trdni delci (PM).

Za razliko od polutantov, pri katerih je škodljiv učinek na okolje *neposreden*, pa je pri toplogrednih plinih vpliv *posreden*. Med toplogredne pline sodijo snovi, ki s svojo prisotnostjo povečajo sposobnost ozračja, da absorbira toploto. Zaradi naraščajoče količine teh snovi v ozračju se zato ozračje čedalje bolj segreva. Pri tem ni nujno, da je ta snov sama po sebi škodljiva. Tako na primer najpomembnejši toplogredni plin ogljikov dioksid (CO₂) ne sodi med polutante. Njegove koncentracije v ozračju so

daleč pod ravtnjo, ko bi lahko imele kakršenkoli škodljiv učinek na človekovo zdravje, vendar pa zaradi stalnega naraščanja predstavljajo glavni vzrok za naraščanje temperature ozračja. Po drugi strani pa prizemni (ali troposferski) ozon sodi tako med toplogredne pline kot tudi med polutante.

Agencija Republike Slovenije za okolje navaja, da iz podatkov o obremenjenosti ozračja v Sloveniji lahko razberemo, da večina vrst polutantov ne predstavlja resnejšega problema in so njihove mejne koncentracije le redko ali pa sploh niso nikoli presežene. To velja tako za žveplov dioksid, dušikova oksida, benzen in ogljikov monoksid. Precej drugačno stanje pa je glede ozona in trdnih delcev, saj so pri teh dveh vrstah polutantov pogosto presežene mejne vrednosti. Zvišane koncentracije ozona so pogoste v poletnih mesecih ob suhem in vročem vremenu. Do prekoračitev mejnih vrednosti pri trdnih delcih velikokrat prihaja v hladnem delu leta, ko se k emisijam iz ostalih virov pridružijo še kurilne naprave, svoj prispevek pa pri tem odigra tudi temperaturna inverzija (ARSO, 2020).

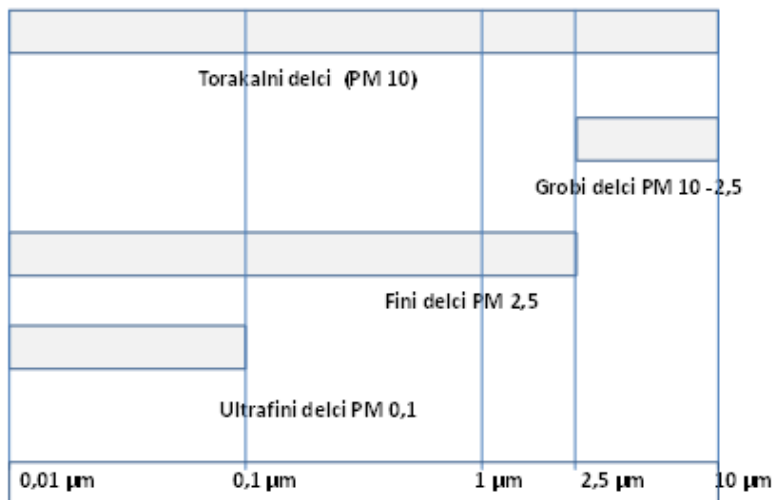
Namen tega prispevka je prikazati škodljive učinke trdnih delcev na zdravje, predvsem povezave med koncentracijo delcev PM 2,5 in obolevnostjo ter smrtnostjo zaradi srčno-žilnih bolezni. Najprej so predstavljeni trdni delci in njihova razdelitev v posamezne kategorije glede na velikost delcev. Sledi prikaz nekaterih najpomembnejših virov trdnih delcev. Glavni del prispevka pa je posvečen škodljivim vplivom trdnih delcev na zdravje, in sicer s poudarkom na srčno-žilnih boleznih. Predstavljeni so rezultati večjega števila tujih raziskav o učinkih tako kratkoročne kot dolgoročne izpostavljenosti. Na koncu so predstavljeni tudi rezultati pomembne raziskave, ki je bila v okviru Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ) opravljena v Sloveniji, v kateri so avtorji opravili tudi modelni izračun, za koliko bi znižali smrtnost ob zmanjšanju koncentracij PM 2,5 delcev (Uršič idr., 2021).

Ko je govora o škodljivih vplivih na zdravje ter prezgodnji umrljivosti, ekonomski dejavniki vsekakor niso v prvem planu. Vendar je kljub temu zanimiva ugotovitev, da bi z vlaganjem v znižanje emisij trdnih delcev dosegli nekaj desetkrat večje prihranke v zdravstvenem sektorju, kot pa bi bili stroški preventivnih ukrepov (Curry Brown, 2013).

2 Trdni delci ali partikulati

Trdni delci, ki jih včasih imenujemo tudi s tujko partikulati, vključujejo tako majhne trdne delce kot tudi tekočinske kapljice – praviloma v to kategorijo uvrščamo delce, ki imajo aerodinamični premer manjši od 10 μm – za primerjavo, premer človeškega lasu je 50–70 μm , zrnca mivke pa imajo premer okrog 90 μm (EPA, 2021). Za razliko od ostalih polutantov, kjer gre za točno določene spojine (npr. CO, SO₂, NO, NO₂) ali pa skupine spojin (ogljikovodiki), se trdni delci po kemijski sestavi in po izvoru lahko zelo razlikujejo (Cheng idr., 2015).

Trdne delce pogosto označujemo s kratico PM, ki izvira iz angleškega izraza particulate matter. Te delce razdelimo v več kategorij. Pod oznako PM 10 so vključeni vsi delci, katerih aerodinamični premer je manjši od 10 μm oz. 0,01 mm. Te delce imenujemo tudi torakalne delce, saj po dihalnih poteh prodrejo v prsni koš. Kategorija PM 2,5 vključuje tako imenovane fine delce, ki imajo aerodinamični premer manjši od 2,5 μm . Delce, katerih premer znaša med 2,5 μm in 10 μm , imenujemo tudi grobi (zrnati) delci. Delce s premerom pod 0,1 μm imenujemo tudi ultrafini delci in jih označujemo z oznakama UFP (ultrafine particles) ali pa PM 0,1. Kategorija PM 10 (torakalni delci) vsebuje tako grobe kot fine delce (PM 2,5) in ultrafine delce (UFP). V kategorijo PM 2,5 pa so zajeti vsi delci s premerom, manjšim od 2,5 μm , torej tudi ultrafini delci. Koncentracije delcev PM 10 in PM 2,5 se merijo v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko se koncentracije ultrafinih delcev (UFP oz. PM 0,1) izražajo v številu delcev v m^3 (Brook idr., 2004; Brook idr., 2010). Razporeditev delcev po velikosti je prikazana na sliki 1 (Brook idr., 2004).



Slika 1: Razporeditev velikosti trdnih delcev (uporabljena je logaritemska skala).

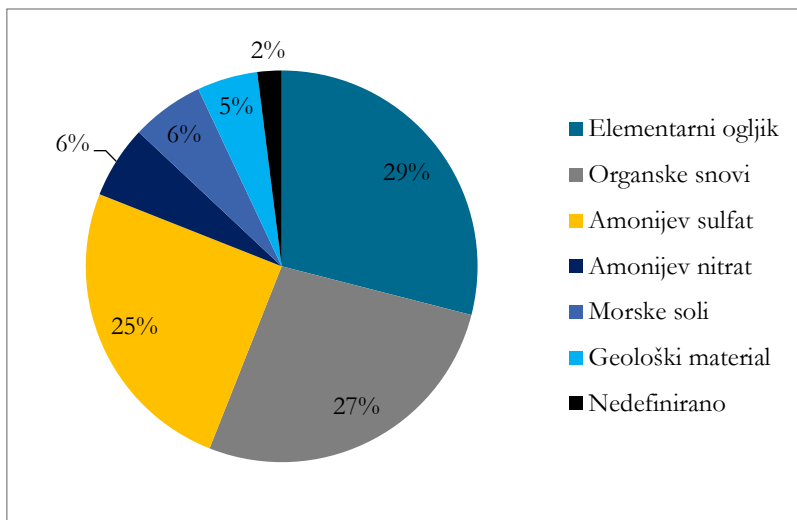
Vir: Brook idr., 2004

Načeloma velja, da manjši kot so delci, dalj časa ostanejo v zraku. Tako se delci PM 2,5 zadržujejo v zraku toliko časa, da medtem lahko prepotujejo razdalje več sto kilometrov. Nasprotno pa grobi delci (frakcije s premerom med 2,5 µm in 10 µm) ostanejo v zraku precej krajši čas in se zato tudi ne premaknejo daleč od izvora (EPA, 2018).

Med večjimi delci (PM 10 – 2,5) so lahko prisotni tudi prašni delci, cvetni prah, plesni ipd., medtem ko manjši delci PM 2,5 pogosto vsebujejo delce elementarnega ogljika (saj), ki nastanejo pri nepopolnem izgorevanju (EPA, 2021). Te sajaste delce večkrat imenujemo tudi črni ogljik (Curry Brown, 2013). Delce, ki jih v ozračje odda vir (npr. kurilna naprava), imenujemo primarne delce. Med primarne delce sodita npr. cestni prah in sajasti delci oz. tako imenovani črni ogljik. Delce, ki pa nastanejo v zraku pri kemijskih reakcijah med plinastimi polutanti, imenujemo tudi sekundarni delci. Med sekundarne delce sodijo npr. i) sulfatni delci, ki nastanejo iz žveplovega dioksida iz termoelektrarn ali industrijskih izpustov, ali pa ii) nitratni delci, ki nastanejo pri reakcijah dušikovih oksidov iz avtomobilskih motorjev, termoelektrarn ali drugih kurilnih naprav. Med grobo frakcijo so večinoma primarni delci, med finimi delci (PM 2,5) pa je precejšen delež sekundarnih delcev (EPA, 2018).

Glede izvora delcev PM10 v ZDA se ocenjuje, da prevladujejo delci naravnega izvora (predvsem prah). K emisijam PM10 delcev antropogenega izvora namreč največ prispevajo emisije iz industrijskih procesov, nato kurjenje goriv, temu pa sledijo emisije cestnih vozil ter emisije ostalih vozil in strojev (EPA, 2018). Pri finih delcih PM2,5 prevladujejo delci naravnega izvora, a je tu prispevek antropogenih emisij nekoliko večji kot pri delcih PM 10 (okrog 30 %). Tudi za delce PM2,5 antropogenega izvora v ZDA največ prispevajo industrijske emisije, sledi kurjenje goriv, nato pa cestna vozila ter ostala vozila in motorji (Ibid., 2018).

Kot poglavitne vire emisij trdnih delcev Cheng idr. (2015) navajajo avtomobilске emisije, sekundarne anorganske aerosole, sežiganje odpadkov, kurjenje biomase, sežiganje odpadnih olj, morske aerosole, industrijske izpuste in cestni prah. Na sliki 2 prikazujemo strukturo sestave delcev PM 2,5, ki so jo določili Cheng in sodelavci (2015) po analizi vzorcev, odvzetih v urbanem okolju na merilnem mestu, ki je pod močnim vplivom cestnega prometa. Pri sestavi grobih delcev prav tako navajajo prisotnost delcev od obrabe avtomobilskih gum in zavornih oblog, cestni prah, morske aerosole, sekundarne aerosole in avtomobilске emisije (Ibid., 2015).



Slika 2: Sestava trdnih delcev PM 2,5

Vir: Cheng idr., 2015

Pri analizi sestave trdnih delcev na merilnem mestu v urbanem okolju pod izrazitim vplivom prometa je bilo ugotovljeno, da organski ogljik (trdni delci organske sestave) predstavlja 80 +/- 14 % delcev PM 2,5 in 36 +/- 8 % delcev PM 10, medtem ko črni ogljik (elementarni ogljik oziroma saje) predstavlja 14 +/- 8 % sestave delcev PM 2,5 in 7 +/- 4 % sestave delcev PM 10. Več kot 90 % črnega ogljika je v frakciji PM 2,5 delcev. Koncentracija črnega ogljika je obratno sorazmerna s hitrostjo vetra. Tudi vsebnost organskih ogljikovih delcev (tako grobih kot finih) upada s hitrostjo vetra, a povezava ni tako izrazita kot pri črnem ogljiku (Viidanoja idr., 2002).

3 Viri emisij trdnih delcev

Sektorji, ki predstavljajo pomemben vir emisij trdnih delcev, so promet, energetika, industrija in individualne kurilne naprave. V zadnjem obdobju se kot problematične izpostavljajo predvsem emisije iz avtomobilskih motorjev in individualnih kurilnih naprav.

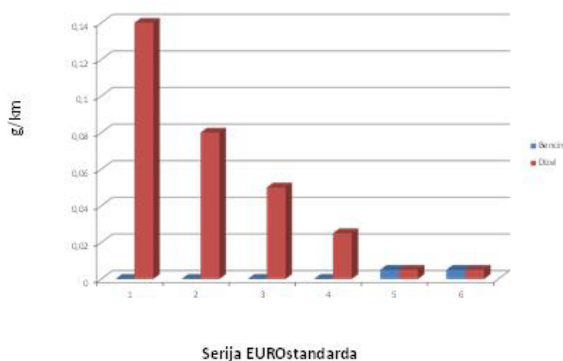
3.1 Emisije trdnih delcev iz prometa

Med najpomembnejše vire trdnih delcev, ki veliko prispevajo k poslabšani kakovosti ozračja v mestih in s tem povezanimi škodljivimi vplivi na zdravje, vsekakor sodijo emisije iz avtomobilskih motorjev. Dolgo vrsto let so problematiko emisij trdnih delcev povezovali le z dizelskimi motorji. Razlog je bil v tem, da so bencinski motorji s posrednim vbrizgom goriva, ki so do pred nekaj leti znatno prevladovali, imeli v izpušnih plinih zanemarljivo majhne vsebnosti trdnih delcev v primerjavi z emisijami iz dizelskih motorjev. Tako je bil prispevek bencinskih motorjev k emisijam trdnih delcev praktično zanemarljiv in tudi ni bil predviden nadzor teh emisij. Vendar se je tudi na področju bencinskih motorjev situacija v zadnjih letih drastično spremenila z uvedbo modernih bencinskih motorjev z neposrednim vbrizgom goriva. Tovrstni motorji so se uveljavili zaradi velike energijske učinkovitosti, ki se odraža v precej nižji porabi goriva. Njihova slaba stran pa je, da niso podobni dizelskim motorjem le po manjši porabi goriva, ampak tudi po visokih emisijah trdnih delcev (Awad idr., 2020).

V obdobju po letu 2000 so proizvajalci razvili filtre trdnih delcev, s katerimi so znatno znižali emisije teh delcev. Tako je bilo možno doseči vedno strožje zahteve evropskih emisijskih standardov *EURO*, ki predpisujejo najvišje dovoljene emisije posameznih vrst polutantov za nova vozila. Kot je razvidno s slike 3, je emisijski standard *EURO 1* iz leta 1992 dovoljeval za osebna vozila emisije do 0,14 g trdnih delcev na km, standard *EURO 2* iz leta 1996 0,08 g/km, *EURO 3* iz leta 2000 pa že skoraj trikrat manj – le 0,05 g/km. *EURO 4* je dopuščal le še 0,025 g/km, *EURO 5* in *EURO 6* pa samo 0,005 g/km. Če so se v preteklosti omejitve nanašale le na avtomobile z dizelskim motorjem, pa standarda *EURO 5* in *EURO 6* vključujeta tudi bencinske motorje z neposrednim vbrizgom goriva (direct injection /DI/ motorje), za katere so predpisane enake omejitve kot za dizelske motorje (DieselNet, 2022).

Vsi avtomobili z dizelskim motorjem morajo biti že vrsto let opremljeni s filtrom trdnih delcev (DPF – diesel particulate filter). Brez tovrstnega filtra emisije trdnih delcev presegajo emisijske standarde in avtomobil tako velja za tehnično neustreznega. Princip delovanja filtra je enostaven. Filter je sestavljen iz kovinskega ali keramičnega satovja, v katerega se trdni delci enostavno mehansko ujamejo. Seveda pa se kanali filtra sčasoma zapolnijo z delci. Da ne pride do zamašitve filtra, je potrebna regeneracija, ki se pri sodobnih dizelskih avtomobilih izvede avtomatično. Regeneracija poteka tako, da se temperatura izpušnih plinov poveča na 600 °C (ali pa še nekoliko več) in pri tem saje v filtru enostavno zgorijo. Regeneracijo je potrebno ponoviti na vsakih 600 do 1200 km, proces pa traja nekaj časa in ga ni priporočljivo prekinjati. Problem se lahko pojavi pri voznikih, ki dizelske avtomobile uporabljajo izključno za kratke mestne vožnje in se v tem primeru avtomatična regeneracija filtra ne izvede (AMZS, 2016; Custard, 2021).

Ker je med novimi avtomobili z bencinskimi motorji v Evropi večina z neposrednim vbrizgom goriva (že v letu 2016 sta bili dve tretjini novih avtomobilov z neposrednim vbrizgom goriva – GDI), emisijski standardi pa se zaostrejejo, postajajo vse bolj aktualni tudi filtri trdnih delcev za bencinske motorje (GPF – gasoline particulate filters). Za bencinske motorje z neposrednim vbrizgom goriva je od septembra 2017 strožja omejitev, emisije so namesto z maso določene s številom delcev, in sicer je po NEDC/WLTC testnem ciklu zgornja meja emisij $6,0 \times 10^{11}$ delcev/km (*EURO 6c* verzija standarda), po RDE ciklu pa $9,0 \times 10^{11}$ delcev/km. Filtri za bencinske motorje (GPF) so sicer precej podobni filtrom za dizelske motorje (DPF), so pa med njimi tudi nekatere pomembne razlike (Majewski, 2021).



Slika 3: Dovoljene emisije trdnih delcev za EURO standarde serij 1–6

Vir: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>

Znanstveniki opozarjajo, da pri emisijah trdnih delcev, ki izvirajo iz cestnega prometa, ne gre samo za prispevek izpušnih plinov, ki jih oddajajo motorji z notranjim izgorevanjem. Upoštevati je potrebno tudi emisije delcev od obrabe zavor in pnevmatik, delce s cestne površine in prašne delce. Res je, da za razliko od izpušnih plinov, ki vsebujejo predvsem fine delce PM 2,5, emisije, ki ne izvirajo iz izpušnih plinov, vsebujejo v glavnem grobe delce (frakcijo s premerom med 2,5 in 10 μm), čeprav so v manjši meri tudi tu prisotni fini delci s premerom pod 2,5 μm . Večji delci so manj prodorni in ne zaidejo v krvni obtok, vendar tudi ti povzročajo škodljive posledice za zdravje in prispevajo k povečani smrtnosti (Timmers in Achten, 2016).

Pogosto poudarjajo, da bo s tem, ko se bo znatno povečalo število električnih avtomobilov in s tem posledično zmanjšalo število avtomobilov z bencinskim in dizelskim motorjem, prispevalo k bistveno boljši kakovosti zraka v mestih. Vendar situacija ni tako preprosta. Električni avtomobili iz motorja res ne oddajajo nikakršnih izpušnih plinov, ostale emisije (delci od obrabe zavor in pnevmatik, cestni prah) pa ne le, da so prav tako prisotne, ampak so njihove emisije zaradi večje mase vozil celo večje. Električni avtomobili imajo približno 25 % večjo maso kot primerljivo prostorni avtomobili z bencinskim ali dizelskim motorjem. Znano je tudi, da vozila z večjo maso povzročajo večje emisije trdnih delcev, ki ne izvirajo iz izpušnih plinov. Tako ocenjujejo, da električni avtomobil povzroči prav tolikšne emisije delcev PM 10 in le od 1 % do 3 % nižje emisije delcev PM 2,5 kot primerljiv avtomobil, ki ga poganja motor z notranjim izgorevanjem. Emisije, ki ne izvirajo iz

izpušnih plinov, naj bi bile odgovorne za 90 % emisij delcev PM 10 in 85 % delcev PM 2,5 iz prometa. Tako zamenjava bencinskih in dizelskih avtomobilov z električnimi vozili sama po sebi še ne bo rešila problema trdnih delcev v zraku v mestnih okoljih (Timmers in Achten, 2016).

3.2 Emisije trdnih delcev iz individualnih kurilnih naprav

V zadnjem obdobju se je tudi v urbanih okoljih precej povečal interes za uporabo lesne biomase v kurilnih napravah za individualno ogrevanje. Lesna biomasa se v individualnih kuriščih uporablja v različnih oblikah – kot drva, sekanci, peleti in redkeje tudi briketi (WCM InfoGozd, 2020). Mnogi uporabniki so prešli z rabe fosilnih goriv (npr. kurilnega olja) na lesno biomaso predvsem zaradi ugodnejše cene. Ker ima Slovenija veliko gozdnih površin in zalog lesa, je uporaba lesne biomase primerna tudi z vidika zagotavljanja energetske neodvisnosti.

Z okoljevarstvenega vidika uporaba lesne biomase prinaša tako določene prednosti kot tudi slabosti. Ker veljajo vse oblike lesne biomase za ogljično nevtralna goriva, je zato zamenjava fosilnih goriv z lesom vsekakor dobrodošla z vidika zmanjšanja emisij toplogrednih plinov in prispevka h globalnemu segrevanju. Po drugi strani pa kurjenje lesne biomase lahko prispeva k večjim emisijam trdnih delcev (Polonini idr., 2019). Vzrok za povečane emisije delcev PM 10 so lahko tako nekakovostna goriva kot tudi zastarele kurilne naprave, ki ne omogočajo optimalnega zgorevanja (WCM InfoGozd, 2020). Kot navajajo Zhang idr. (2013), sežiganje lesne biomase (poleg kurilnih naprav so vštetí tudi gozdni požari in sežiganje odpadne biomase v kmetijstvu) povzroča več kot tretjino vseh emisij primarnih PM 2,5 delcev v ZDA.

4 Problematika obremenitve zraka s trdnimi delci v Sloveniji

Trdni delci so ena izmed dveh vrst onesnažil, katerih mejne vrednosti so v Sloveniji najpogosteje presežene. Za razliko od ozona, katerega zvišane koncentracije so pogoste poleti, se povišane koncentracije trdnih delcev in prekoračitve njihovih mejnih vrednosti pojavljajo v hladnem delu leta. Vzrok so tako temperaturne inverzije kot tudi dejstvo, da se ostalim virom emisij v tem obdobju pridružijo še izpusti iz kurilnih naprav, ki tako predstavljajo v času kurilne sezone največji vir emisij trdnih delcev. Pomemben vir predstavljajo tudi promet, industrija ter ponovno

dvigovanje že suspendiranih delcev. Na koncentracije trdnih delcev pomembno vpliva tudi vreme (Koleča, 2016).

Mejna dnevna vrednost za delce PM 10 znaša $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v posameznem letu pa je dovoljeno, da je do 35 dni v letu ta vrednost presežena. V Sloveniji tako v letu 2020 kot tudi v letu 2021 na nobenem merilnem mestu ni bilo zabeleženih več kot 35 preseganj mejne vrednosti, medtem ko so v letu 2019 zabeležili preko 35 preseganj na dveh merilnih mestih, v letu 2018 na šestih ter v letu 2017 kar na desetih merilnih mestih. Vendar so te razlike precej odvisne od vremenskih vplivov. Včasih prihaja zaradi določenih naravnih vplivov, predvsem prehoda puščavskega prahu, do znatnega povišanja koncentracij delcev PM 10 (tudi preko $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vendar se preseganja mejnih vrednosti iz naravnih virov odštejejo v skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka. Mejna letna vrednost je $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vendar v letu 2020 ni bila prekoračena na nobenem izmed merilnih mest (ARSO, 2020). Mejna letna vrednost za delce PM 2,5 se je v letu 2020 celo znižala s $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kljub temu pa mejna vrednost ni bila presežena na nobenem merilnem mestu v Sloveniji. Najvišja izmerjena povprečna letna koncentracija v letu 2020 je bila $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ARSO, 2020).

Predpisane in priporočene mejne vrednosti so podane v tabeli 1. Povprečne mejne letne vrednosti, priporočene s strani Svetovne zdravstvene organizacije, so nižje od predpisanih (Uršič idr., 2021).

Tabela 1: Predpisane in priporočene mejne vrednosti delcev PM 10 in PM 2,5

Kategorija polutanta	Koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Delci PM 10 – mejna dnevna vrednost*	50
Delci PM 10 – mejna letna vrednost	40
Delci PM 2,5 – mejna letna vrednost**	20
Delci PM 10 – priporočena mejna povprečna letna vrednost (WHO)	20
Delci PM 2,5 – priporočena mejna povprečna letna vrednost (WHO)	10

*dovoljeno je do 35 preseganj mejne dnevne vrednosti v letu

**do leta 2020 je mejna letna vrednost znašala $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Vir: Uršič idr., 2021

5 Vpliv trdnih delcev na zdravje

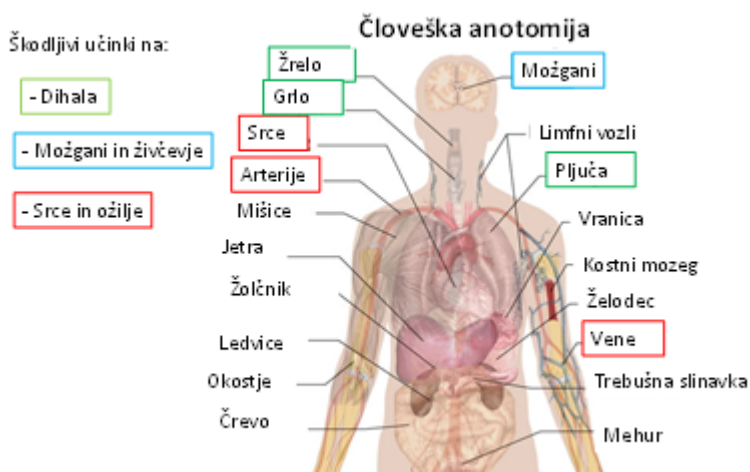
Onesnažen zrak povzroča škodljive posledice za zdravje. Tu se kažejo kot posebej problematični fini trdni delci PM 2,5. Čedalje bolj prihaja do izraza spoznanje o tveganju, ki ga povzroča izpostavljenost zraku, obremenjenemu s trdnimi delci. Tako po ocenah Global Burden Disease (GBD) analize iz leta 2010 izpostavljenost trdnim delcem PM 2,5 povzroči v svetovnem merilu 3 milijone prezgodnjih smrti letno in 74 milijonov izgubljenih let zdravega življenja. GBD uvršča vpliv onesnaženosti zunanjega zraka med deset najpomembnejših zdravstvenih tveganj na svetu (Curry Brown, 2013). Po novejših podatkih ocenjujejo, da je globalno število žrtev še višje, in sicer med 3,7 in 4,2 milijona. GBD študija iz leta 2015 je onesnaženo ozračje tudi uvrstila na četrto mesto med dejavnike tveganja smrtnosti (GBD, 2016; Cohen idr., 2017; Zhang idr., 2018). Za ZDA pa ocenjujejo, da je vplivom PM 2,5 možno pripisati med 130.000 in 320.000 prezgodnjih smrti v letu 2005, kar predstavlja 5,4 % vseh smrti. Njihovi škodljivi učinki prizadenejo tako dihala, možgane in živčevje ter še posebno srce in ožilje. Škodljive učinke trdnih delcev na različne organe prikazuje slika 4. Potrditev zveze med nastankom obolenj na dihalih zaradi vpliva onesnaženega zraka niti ne preseneča, presenetljive pa so ugotovitve, da je onesnaženje zraka celo pomemben okoljski dejavnik tveganja za pojav inzulinske rezistence in sladkorne bolezni (Meo idr., 2015). Še zanimivejši pogled na to problematiko odpirajo vplivi epigenetskih mehanizmov, ki so nedvomno vpeti v celotno zgodbo vpliva onesnažil na zdravje človeka (Del Real idr., 2021).

Z zmanjšanjem dolgotrajni izpostavljenosti delcem PM 2,5 bi dosegli zvišanje pričakovane življenjske dobe. Čeprav, ko je govora o smrtnosti in zdravju, ekonomski dejavniki niso v prvem planu, prav tako stroškovni vidiki niso nepomembni. Tako so ocenili, da bi v ZDA z znižanjem emisij ter posledičnimi pozitivnimi zdravstvenimi učinki za vsako tono znižanja emisij dosegli prihranke med 230.000 in 880.000 \$. To je neprimerno več, kot pa znašajo stroški obvladovanja emisij – stroški znižanja emisij iz novih vozil z dizelskim motorjem znašajo okrog 13.000 \$ na tono (Curry Brown, 2013).

Škodljive posledice za zdravje povzroča tako dolgotrajna kot tudi kratkotrajna izpostavljenost zraku s povišanimi koncentracijami trdnih delcev. Več podatkov je o vplivih kratkotrajne izpostavljenosti, saj je do njih lažje priti, medtem ko so za prepoznavanje učinkov dolgoročne izpostavljenosti potrebni dolgoročni in

kompleksni raziskovalni projekti in je bilo zato izvedeno relativno malo tovrstnih študij (Brook idr., 2004). Zhang idr. (2018) so ugotovili, da se je kakovost zraka v ZDA zaradi omejevanja emisij v obdobju od leta 1990 do leta 2010 znatno izboljšala. Tako so ocenili, da je bilo zaradi manjše obremenjenosti zraka preprečeno 35 800 prezgodnjih smrti zaradi PM 2,5 delcev in 4600 smrti zaradi ozona.

Škodljivi vplivi onesnaženega zraka na zdravje so znani že dolgo časa, vendar so bili več desetletij v središču pozornosti učinki na dihalne organe, šele v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je večje število raziskav usmerilo tudi na preučevanje vplivov onesnaženega zraka na srce in ožilje (Schwartz, 2001).



Slika 4: Prikaz škodljivega učinka trdnih delcev na različne organe

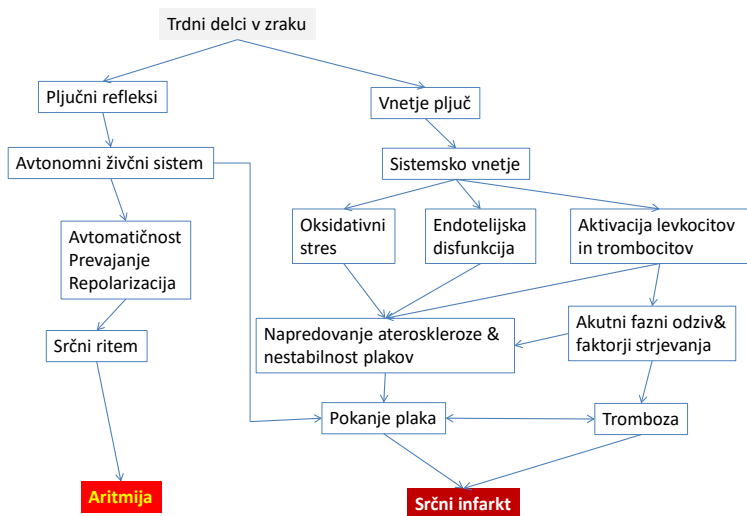
Vir: <http://www.sciencekids.co.nz/pictures/humanbody/humanorgans.html>

Med najpomembnejše bolezni srca in ožilja sodijo arterijska hipertenzija, koronarna bolezen srca, bolezen možganskega žilja, periferna arterijska bolezen, kronična ledvična bolezen in druge redkejšje bolezni, kot so npr. abdominalne in torakalne anevrizme aorte (NIJZ, 2014). Te bolezni najpogosteje nastanejo zaradi ateroskleroze, dejavniki tveganja za nastanek bolezni srca in žilja pa so kajenje, zvišan krvni tlak, zvišan holesterol, zvišan krvni sladkor, prekomerna telesna teža, stres, spol, starost, nezdrav življenjski slog z uživanjem neustrezne prehrane, škodljivim uživanjem alkohola in pomanjkanjem fizične aktivnosti (Brook idr., 2010; Yusuf idr., 2004). Zato je seveda potrebno predvsem preventivno delovati pri odpravljanju teh

dejavnikov in zmanjševanju njihovega vpliva. Razvoj srčno-žilnih obolenj (npr. ateroskleroze) je običajno dolgotrajen proces, ki traja leta ali celo desetletja. Nenadni zapleti koronarne bolezni srca oziroma bolezni možganskega žilja so srčni infarkt, nenadna srčna smrt in možganska kap, ki povzročajo največ smrti in puščajo dolgotrajno telesno prizadetost, največkrat pa je za njihov nastanek potreben še nek sprožilec (Brook idr., 2010).

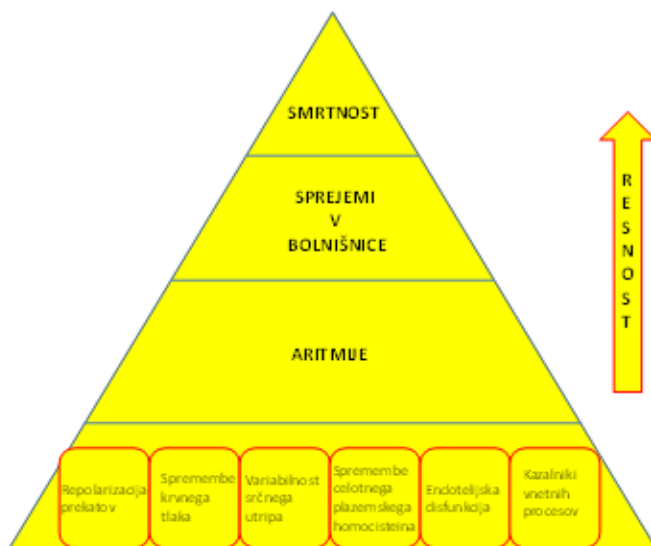
Kot sprožilci zapletov lahko delujejo različni fizični kot tudi psihični dejavniki. Tofler in Muller (2006) navajata kot potencialne sprožilce srčno-žilnih zapletov velike telesne obremenitve, psihosocialne dejavnike (jeza, strah, žalovanje, stres na delovnem mestu in strese ob naravnih nesrečah ter vojnah), respiratorne infekcije, obilne obroke hrane, uživanje drog, vpliv letnih časov in vplive okolja. Med vplivi okolja je predvsem izpostavljen onesnažen zrak.

Rezultati raziskav kažejo, da ima zrak, obremenjen s trdnimi delci, lahko vpliv na pomembne parametre krvnega obtoka, ki so dejavniki tveganja za srčno-žilne zaplete. Seveda je zato potrebno, da delci ali nekatere njihove komponente preidejo iz pljuč oziroma dihal v obtočila (Schwartz, 2001). Glede na dejstvo, da delci PM 2,5 predstavljajo dokaj heterogeno skupino in se po kemijski sestavi med seboj precej razlikujejo, so Ostro in sod. (2007) preučevali korelacijo med dnevno smrtnostjo in koncentracijo različnih komponent PM 2,5 delcev. Dokaj prepričljivo povezavo so ugotovili med smrtnostjo in elementarnim ogljikom, organskimi ogljikovimi zvrstmi, nitrati, bakrom, titanom, kalijem in cinkom ter tudi skupno maso PM 2,5 delcev. Glede smrtnosti zaradi bolezni srca in ožilja se je izkazala predvsem izrazita povezava med elementarnim ogljikom in cinkom. Pokazalo se je, da tako elementarni ogljik kot tudi nekatere druge komponente, ki znatno prispevajo k skupni masi PM 2,5 delcev (vključno z organskimi ogljikovimi zvrstmi, nitrati in cinkom), izkazujejo večje presežno tveganje za smrtnost kot pa skupna masa PM 2,5 delcev (Ostro idr., 2007). Možne načine učinkovanja trdnih delcev na razvoj bolezni srca in ožilja ter na sprožitev srčno-žilnih zapletov prikazujemo na sliki 5 (Brook idr., 2004) in sliki 6 (Curry Brown, 2013). Čeprav je mogoče povezati delce PM 2,5 in dejavnike tveganja za razvoj srčno-žilnih bolezni, pa ostaja izziv interpretacija ugotovljenih povezav, ker bi lahko tudi drugi dejavniki vplivali na samo interpretacijo (Zhao idr., 2020).



Slika 5: Prikaz možnih bioloških učinkov trdnih delcev na razvoj srčno-žilnih obolenj in nastanek zapletov

Vir: Brook idr., 2004



Slika 6: Možni učinki trdnih delcev PM 2,5 na srce in ožilje ter njihove posledice

Vir: Curry Brown, 2013

6 Vplivi kratkotrajne izpostavljenosti zvišanim koncentracijam trdnih delcev

Kratkotrajna izpostavljenost trdnim delcem PM 2,5 lahko povzroča srčno-žilne zaplete z usodnimi ali neusodnimi posledicami, kot so ishemijska miokarda, srčni infarkt, odpoved srca, aritmije in možganska kap. Predvsem so izpostavljeni starejši ljudje, bolniki s koronarno arterijsko boleznijo, sladkorno boleznijo in ljudje z znatno prekomerno telesno težo (Brook idr., 2010).

Precej več raziskav je posvečenih vplivom kratkotrajne izpostavljenosti povišanim koncentracijam trdnih delcev. Med najbolj znanimi raziskavami na tem področju sta projekta APHEA-2 v Evropi in NMMAPS v Združenih državah Amerike (Brook idr., 2004). Raziskovalni projekt APHEA-2 (Air Pollution and Health – An European Approach 2) se je predvsem osredotočil na raziskovanje vplivov kratkotrajne izpostavljenosti trdnim delcem na smrtnost. Zbrali so podatke o dnevni koncentraciji delcev PM 10 in črnega ogljika v zraku za 29 evropskih mest in preučevali njihovo morebitno povezavo s smrtnostjo. Rezultati kažejo, da je zvišanje koncentracij delcev PM 10 za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povzročilo za 0,6 % (interval zaupanja 95 %, 0,4 – 0,8 %) povečanje dnevne smrtnosti na splošno, medtem ko je bil v starejšem delu populacije porast smrtnosti še nekoliko večji. Opazna je bila tudi sinergija učinkov obremenjenosti ozračja z delci PM 10 in dušikovim dioksidom (NO_2). V mestih z nižjimi koncentracijami NO_2 je porast smrtnosti za zvišanje koncentracij delcev PM 10 za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ znašal 0,19 % (interval zaupanja 95-%, 0,00–0,41), medtem ko je bilo v mestih z visokimi koncentracijami NO_2 zvišanje smrtnosti kar 0,80 % (interval zaupanja 95-%, 0,67–0,93). Poleg tega je opazen tudi vpliv klimatskih razmer, saj je bilo v mestih s hladnejšim podnebjem opazno manjše zvišanje smrtnosti (0,29 %, interval zaupanja 95-%, 0,16–0,42) kot v mestih s toplejšim podnebjem (0,82 %, interval zaupanja 95-%, 0,69–0,96) (Katsouyanni idr., 2001).

V primeru, ko so čas zasledovanja vplivov izpostavljenosti povišanim koncentracijam delcev PM 10 podaljšali z nekaj dni na 40 dni, so ugotovili, da se je stopnja smrtnosti zvišala za 0,69 % (interval zaupanja 95-%, 0,31–1,08) na 1,97 % (interval zaupanja 95-%, 1,38–2,55) za srčno-žilno smrtnost in celo še bolj, iz 0,74 % (interval zaupanja 95-%, -0,17–1,55) na 4,2 % (interval zaupanja 95-%, 1,08–7,42) za smrtnost zaradi obolenj dihal (Zanobetti idr., 2003).

V študijo NMMAPS (National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study) je bila vključena populacija 50 milijonov ljudi iz 20 največjih mest v ZDA. Za zvišanje koncentracije delcev PM 10 za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ so zaznali dnevni porast smrtnosti za 0,21 % (+/- 0,06 SE) na vse oblike smrtnosti in za 0,31 % (+/- 0,09 SE) za srčno-žilno smrtnost (Dominici idr., 2005; Brook idr., 2004). Pri kratkotrajni izpostavljenosti pride do srčno-žilnih zapletov praviloma pri ljudeh, ki so že prizadeti zaradi raznih oblik srčno-žilnih obolenj, čeprav včasih nekaterih njihovih simptomov še niso prepoznali. Tako rezultati raziskav kažejo, da prehodna izpostavljenost emisijam iz prometa poveča nevarnost srčnega infarkta pri osebah, ki imajo povišane klasične dejavnike tveganja (Peters idr., 2004). Tveganje lahko predstavlja delovanje različnih stresorjev, ki povzročijo razne hemodinamske, vazokonstriktivne ali protrombotične obremenitve (obremenitve, ki so povezane s pretokom krvi, krčenjem žil ali nastankom krvnih strdkov) in to ob prisotnosti nestabilnih plakov (oblog na žilnih stenah) lahko privede do pokanja plaka in nastanka strdka (Muller idr., 1994). Ti stresorji so lahko posledica aktivnosti posameznika ali pa gre za zunanje vplive – tudi vplive obremenjenega okolja.

Izpostavljenost zraku s povečano vsebnostjo trdnih delcev lahko povzroči prehodno povečanje viskoznosti krvne plazme, reaktantov akutne faze (kazalnikov vnetnih procesov), endotelijske disfunkcije in tudi privede do sprememb v avtonomnem nadzoru delovanja srca (Peters idr., 2004). Za podrobnejše prepoznavanje vzrokov zapletov in bioloških mehanizmov, ki so odgovorni zanje, so tako raziskovali vplive trdnih delcev in tudi drugih polutantov na vrsto različnih dejavnikov, ki so povezani s srčno-žilnimi zapleti:

- povečano nevarnost nastanka strdkov,
- spremembe koncentracij vnetnih kazalnikov,
- krčenje žil in zvišanje krvnega tlaka,
- vplivi na variabilnost srčnega ritma in povzročanje aritmij.

Tako so pri izpostavljenosti močno onesnaženemu zraku (predvsem z žveplovim dioksidom – povprečne vrednosti $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in suspendiranimi delci – povprečne vrednosti $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ugotovili, da se je viskoznost krvne plazme tako pri moških kot pri ženskah občutno zvišala v primerjavi z normalnimi razmerami. Povečana viskoznost krvne plazme kot posledica vnetja dihalnih poti lahko poveča

koagulabilnost krvi (nagnjenost krvi k strjevanju) in s tem večjo nevarnost nastanka strdkov (Peters idr., 1997).

Opazovali so tudi povezavo med koncentracijami raznih polutantov in koncentracijo proteina fibrinogena, ki igra ključno vlogo pri procesu strjevanja krvi. Povišane vsebnosti fibrinogena v krvni plazmi so nastopile ob povišanih koncentracijah dušikovega dioksida (NO₂) in ogljikovega monoksida (CO), korelacije pa so bile bolj izrazite pri višjih temperaturah. Tudi povišane koncentracije delcev PM 10 so vplivale na povečane vsebnosti fibrinogena, vendar so bile povezave signifikantne samo v toplem obdobju. Tako bi tudi povišane vsebnosti fibrinogena lahko prispevale k večji pojavnosti srčnih infarktov ob onesnaženem ozračju (Pekkanen idr., 2000). Tudi Schwartz (2001) je ugotovil, da povišane koncentracije trdnih delcev PM 10 povzročijo zvišanje serumskih koncentracij fibrinogena, prav tako pa tudi števila trombocitov in levkocitov, medtem ko za plinaste polutante (žveplov dioksid, ogljikov dioksid in ozon) korelacije niso bile potrjene. Do nasprotnih ugotovitev so prišli Seaton idr. (1999), saj njihovi rezultati kažejo negativno korelacijo med koncentracijo delcev PM 10 v zraku in koncentracijo fibrinogena v krvi izpostavljenih oseb. Njihovi rezultati kažejo tudi, da povečanje koncentracije trdnih delcev zniža vsebnost hemoglobina in eritrocitov.

Ob povišanih koncentracijah trdnih delcev v zraku so opazili tudi povečane vsebnosti C-reaktivnega proteina (CRP) v serumu. Povišane koncentracije CRP so znak prisotnosti vnetnih procesov v organizmu, ki predstavljajo povečano tveganje za srčno-žilna obolenja (Peters idr., 2001). Tudi Seaton idr. (1999) poročajo o pozitivni korelaciji med koncentracijo delcev PM 10 in CRP. Eden od pomembnih dejavnikov, ki prispevajo k nastanku oziroma razvoju srčno-žilnih obolenj, je tudi endotelijska disfunkcija oziroma poškodbe endotelija (tanke plasti na notranji strani arterij). Cui idr. (2016) razlagajo kot enega izmed možnih mehanizmov, preko katerega trdni delci poškodujejo ožilje, nastanek reaktivnih kisikovih zvrsti. Reaktivne kisikove zvrsti (reactive oxygen species - ROS) imajo škodljive učinke na endotelijske matične celice, saj znižujejo njihovo možnost samoobnove, njihovo mobilizacijo in širjenje ter pospešujejo njihovo odmiranje. Zmanjšano število endotelijskih matičnih celic pa pomeni povečano verjetnost nastanka srčno-žilnih zapletov (Cui idr., 2016).

Pri izpostavljenosti povišanim koncentracijam trdnih delcev se je zvišal povprečni srčni utrip in je bilo opaziti spremembe variabilnosti srčnega ritma, kar bi tudi lahko bil del patofizioloških mehanizmov, ki povezujejo obremenjenost ozračja s trdnimi delci in smrtnost zaradi srčno-žilnih bolezni (Pope idr., 1999).

Pri pacientih z vstavljenimi defibrilatorji so opazili, da je ob povišanih koncentracijah nekaterih polutantov (dušikov dioksid, ogljikov monoksid, trdni delci in črni ogljik) včasih prihajalo do življenje ogrožajočih motenj srčnega ritma (Peters idr., 2000). Še več drugih raziskav potrjuje povezavo med povečano koncentracijo raznih polutantov (predvsem trdnih delcev PM 2,5) ter znižanim avtonomnim nadzorom srca in spremembami variabilnosti srčnega ritma, kar lahko vodi tudi do nenadnih srčnih smrti (Liao idr., 1999; Gold idr., 2000; Magari idr., 2001). Trdni delci, ki pridejo v organizem, lahko učinkujejo na avtonomni živčni sistem neposredno ali pa posredno preko izločanja citokinov v pljučih in njihovega vnosa v krvni obtok (Magari idr., 2001).

7 Vplivi dolgotrajne izpostavljenosti zvišanim koncentracijam trdnih delcev

Dolgoročna izpostavljenost zraku s povišano koncentracijo trdnih delcev in ostalih polutantov predstavlja še večje tveganje za smrtnost iz naslova srčno-žilnih bolezni od kratkotrajne izpostavljenosti in statistično pomeni znižanje pričakovane življenjske dobe prebivalstva od več mesecev do nekaj let. Znižanja koncentracij trdnih delcev zmanjšajo smrtnost za srčno-žilnimi boleznimi. Rezultati raziskav potrjujejo, da izpostavljenost organizma delcem PM 2,5 pospešuje razvoj ateroskleroze. Poleg tega delci PM 2,5 spodbujajo tudi razvoj drugih srčno-žilnih obolenj, kot so visok krvni tlak, srčno popuščanje in sladkorna bolezen. Vse več študij kaže na dejstvo, da povišane koncentracije delcev PM 2,5 predstavljajo večje tveganje za smrtnost zaradi bolezni srca in ožilja kot pa za smrtnost zaradi pljučnih bolezni (Brook idr., 2010).

Ena izmed najpomembnejših, čeprav starejših, raziskav je bil projekt »Harvard Six Cities study«. Študija je raziskovala povezanost med smrtnostjo in izpostavljenostjo obremenjenemu ozračju. V obdobju od 14 do 16 let so spremljali skupino več kot 8000 oseb iz šestih ameriških mest. Razmerje med smrtnostjo v mestu z najbolj obremenjenim zrakom in v mestu z najmanj obremenjenim zrakom je bilo 1,26 (95-

% interval zaupanja, 1,08 do 1,47). Ker je seveda cela vrsta dejavnikov, ki vplivajo na smrtnost, so v raziskavi skušali čim bolj sistematično upoštevati ostale pomembne dejavnike in odšteti njihov vpliv, da bi dobili čim bolj jasno sliko med obremenjenostjo ozračja in smrtnostjo. Tako so upoštevali starost, spol, indeks telesne mase, kadilske navade in poklicno izpostavljenost prašnim delcem, dimu in plinom. Tudi potem, ko so odšteli vplive navedenih dejavnikov, je bila opazna statistično značilna povezava med obremenjenostjo ozračja in smrtnostjo. Predvsem je bila opazna odvisnost smrtnosti od koncentracije finih delcev (PM 2,5) in sulfatnih delcev, manj izrazita pa je bila med smrtnostjo in koncentracijo torakalnih (PM 10) delcev kot tudi žveplovega dioksida, dušikovega dioksida in kislostjo aerosolov. Odvisnost od koncentracije ozona pa je bilo težko določiti, saj so bile razlike med koncentracijami ozona v posameznih mestih majhne (Dockery idr., 1993). Ko so analizirali smrtnost zaradi posameznih bolezni, je bila jasno prepoznavna odvisnost med obremenjenostjo ozračja s trdnimi delci in smrtnostjo zaradi srčno-žilnih in pljučnih bolezni. Izrazita je bila povezava med smrtnostjo zaradi pljučnega raka in trdnimi delci, ki je seveda pri raziskavah kratkoročnega vpliva ozračja ni možno zaznati. Kar se tiče smrtnosti zaradi nemalignih respiratornih obolenj, pa je bilo njihovo število relativno majhno in je bilo težko dokazati značilne povezave. Za ostale vzroke smrtnosti pa so bile povezave zelo šibke oziroma niso bile zaznavne (Dockery idr., 1993).

Pope idr. (2004) so v raziskavi uporabili bazo podatkov ACS (American Cancer Society) iz programa CPS-II (Cancer Prevention Study), študije smrtnosti, ki je vključevala okrog 1,2 milijona odraslih oseb iz vseh delov ZDA (Pope idr., 2002). Ugotovili so, da je dolgotrajna izpostavljenost zraku, obremenjenemu s PM 2,5 delci, povezana s povečano smrtnostjo zaradi srčno-žilnih bolezni, medtem ko so korelacije med PM 2,5 delci in smrtnostjo zaradi respiratornih obolenj precej manj izrazite. Upoštevali so kadilski status in tudi ločeno obravnavali skupine nekadilcev, bivših kadilcev in aktualnih kadilcev. Pokazalo se je, da je kajenje bistveno večji dejavnik tveganja tako za srčno-žilno smrtnost kot respiratorno smrtnost od obremenjenega zraka. Vendar pa je tudi jasno razviden vpliv obremenjenega zraka na povečano smrtnost zaradi PM 2,5 delcev. Tako so ugotovili, da povečanje koncentracije PM 2,5 delcev v zraku za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ predstavlja 8- do 18-% zvišanje tveganja smrtnosti za srčno-žilnimi obolenji. Najbolj zaznaven je vpliv na smrtnost zaradi ishemične bolezni srca, vendar je opazen tudi vpliv na smrtnost zaradi aritmij, srčnih odpovedi in nenadnih srčnih smrti. So pa po drugi strani opazili precej šibke

povezave med koncentracijo PM 2,5 delcev in smrtnostjo zaradi dihalnih obolenj, kjer je izrazita le povečana smrtnost zaradi pljučnice in influence v skupini nekadilcev (Pope idr., 2004).

Pri obravnavi učinkov dolgoročne izpostavljenosti trdnim delcem na razvoj ateroskleroze je potrebno omeniti raziskave Künzlija idr. (2011). Predstavili so sistematičen pregled raziskav s tega področja. Predvsem poudarjajo pomembnost izbora ustrezne metode za oceno stopnje razvoja ateroskleroznega obolenja. V ta namen se najpogosteje uporablja merjenje debeline intime (notranja plast žilne stene) in medie (srednja plast žilne stene) karotidnih arterij (CIMT – carotid intima-media thickness), ki jo tudi Künzli idr. ocenjujejo kot najprimernejšo metodo. Wilker idr. (2013) so ugotovili pozitivno korelacijo med vsebnostjo trdnih delcev in debelino intime in medie v glavni karotidni arteriji na vzorcu populacije starejših moških v Bostonu. Povečane debeline intime in medie v karotidni arteriji pa so neposredno povezane z zvišanim tveganjem za nastanek srčnega infarkta ali možganske kapi (O'Leary idr., 1999).

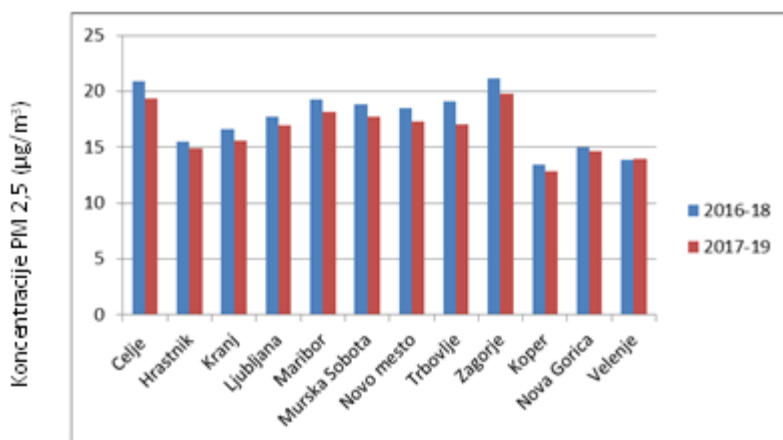
Moller idr. (2016) so raziskovali vpliv izpostavljenosti trdnim delcem, izpušnim plinom iz dizelskih motorjev in različnih nanomaterialov na razvoj ateroskleroze in na vazomotorne funkcije (funkcije krčenja in raztezanja žil) pri živalih. Delci in nanomateriali so pokazali podoben učinek na razvoj ateroskleroze, povečano krčenje in slabšo relaksacijo žil. Učinek dizelskih izpušnih plinov pa je bil nekoliko manj izrazit.

8 Stanje v Sloveniji

Glede na dejstvo, da obremenjenost zraka s trdnimi delci v hladni polovici leta predstavlja enega izmed najbolj izpostavljenih okoljskih problemov v Sloveniji, se seveda poraja vprašanje, kakšne so posledice izpostavljenosti obremenjenemu zraku na zdravje prebivalstva in smrtnost. Kot najpomembnejšo raziskavo s tega področja je potrebno omeniti študijo Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ) z izdelano oceno vpliva onesnaženosti zraka z delci PM 2,5 na smrtnost v krajih s prekomerno onesnaženim zrakom. Najnovejši podatki raziskave so bili na razpolago za obdobje 2017–2019 (Uršič in sod., 2021), v raziskavo pa je bilo vključenih devet slovenskih krajev s prekomerno onesnaženim zrakom (Celje, Hrastnik, Kranj, Ljubljana, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto, Trbovlje, Zagorje ob Savi) ter za

primerjavo še trije kraji, v katerih ne prihaja do prekomerne obremenitve zraka s trdnimi delci – Koper, Nova Gorica in Velenje (Uršič in sod., 2021).

Povprečne letne vrednosti koncentracij trdnih delcev PM 2,5 za obdobji 2016–18 in 2017–19 za vse kraje, vključene v raziskavo, so prikazane na sliki 7. Koncentracije delcev PM 2,5 so izračunane iz dnevniških povprečnih vrednosti za delce PM 10 z vključenim korekcijskim faktorjem 0,7. Podatki o koncentracijah PM delcev so pridobljeni iz meritev Državne mreže za kakovost zraka (DMKZ), ki ima merilne postaje v vseh obravnavanih krajih (Uršič in sod., 2021).



Slika 7: Povprečne letne vrednosti delcev PM 2,5 v različnih slovenskih krajih
Vir: Uršič idr. (2021)

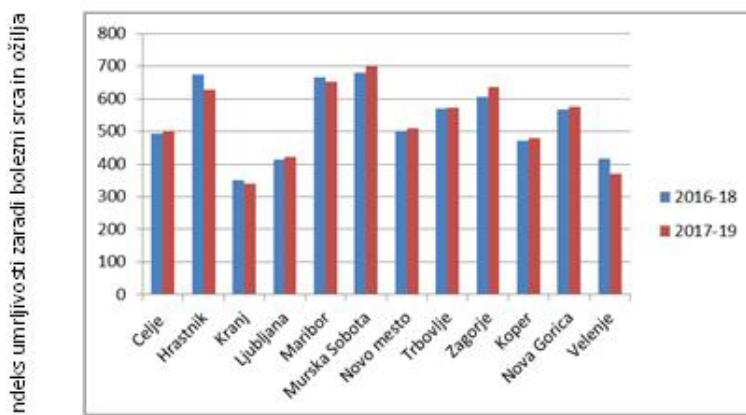
Za vse v raziskavo vključene kraje oziroma občine so za obravnavani obdobji zbrali podatke o umrljivosti brez zunanjih vzrokov (naravnih smrtih) in posebej umrljivosti za srčno-žilnimi boleznimi za vse osebe, stare nad 30 let, ter jih razdelili v starostne skupine po 5 let (30–34, 35–39 ... 80–84, nad 85). Število smrtnih primerov so nato korelirali s številom prebivalcev ter preračunali indeks umrljivosti na 100.000 prebivalcev, in sicer za celotno umrljivost in tudi posebej umrljivost za srčno-žilnimi boleznimi (Uršič idr., 2021).

Ker je pričujoči prispevek posvečen predvsem prikazu vplivov trdnih delcev na bolezni srca in ožilja, je zato nadaljnji prikaz omejen samo na pregled umrljivosti zaradi srčno-žilnih bolezni. Prikazani so rezultati le za celotno populacijo nad 30 let in ne posebej za posamezne starostne skupine.

Letni indeks umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja (I_{CVM}) je izračunan tako, da je število srčno-žilnih smrti za posamezno triletno obdobje (n_{CVM}) preračunano na letno povprečje, potem deljeno s številom prebivalcev občine, starih nad trideset let (n_{30+}), ter nato preračunano na 100.000 prebivalcev, kot prikazuje enačba (1):

$$I_{CVM} = \frac{n_{CVM} \cdot 100000}{3 \cdot n_{30+}} \quad (1)$$

Letni indeksi umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja za obdobji 2016–2018 in 2017–2019 so prikazani na sliki 8 (Uršič idr., 2021). S slike 8 je razvidno, da so med posameznimi kraji precejšnje razlike. Indeksi letne srčno-žilne umrljivosti so najvišji v Murski Soboti, Mariboru, Hrastniku in Zagorju, najnižji pa Kranju, Ljubljani, Velenju in Kopru.

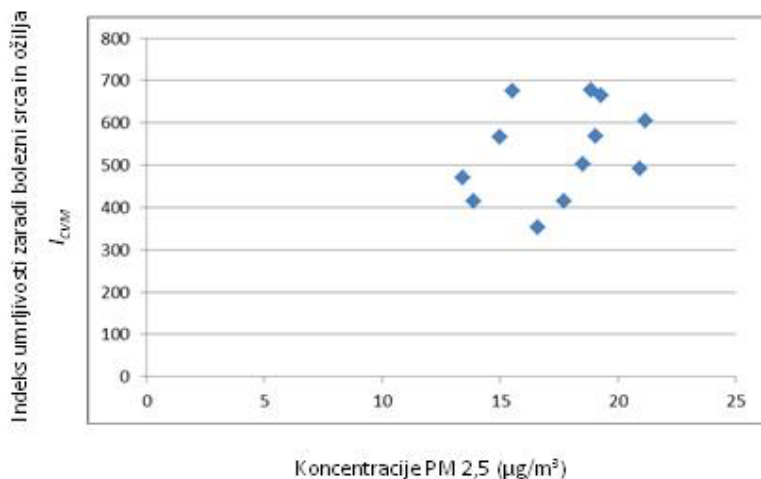


Slika 8: Letni indeks umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja v različnih slovenskih krajih

Vir: Uršič idr. (2021)

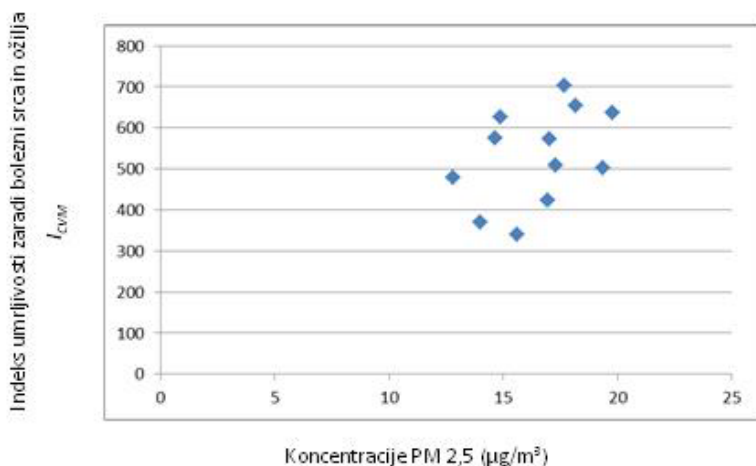
Glede na ugotovitve številnih tujih raziskav o povezavah med obremenjenostjo zraka zaradi povišane koncentracije trdnih delcev in smrtnostjo zaradi srčno-žilnih bolezni je seveda zanimivo preveriti morebitne korelacije tudi za Slovenijo. Na slikah

9 in 10 je prikazana odvisnost letnega indeksa srčno-žilne umrljivosti od povprečne koncentracije delcev PM 2,5 za 12 slovenskih občin za obdobje 2016–18 in 2017–19.



Slika 9: Letni indeks umrljivosti zaradi boleznih srca in ožilja v različnih slovenskih krajih v odvisnosti od povprečne koncentracije delcev PM 2,5 za obdobje 2016–18

Vir podatkov: Uršič idr. (2021)

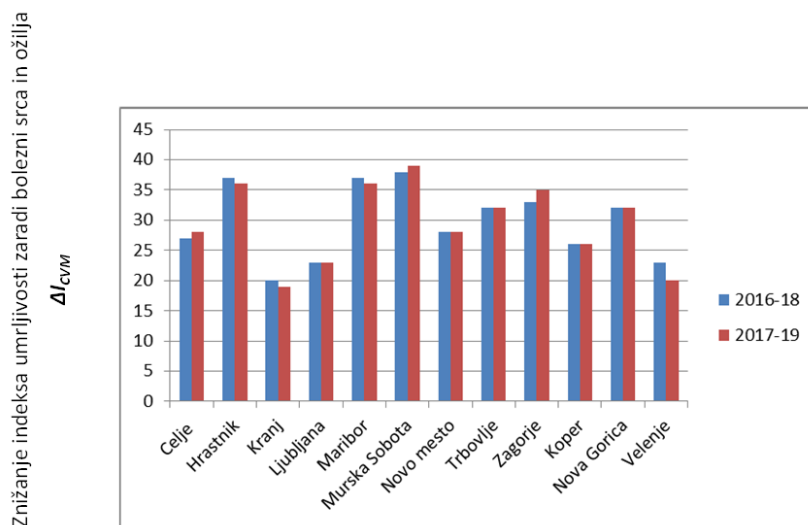


Slika 10: Letni indeks umrljivosti zaradi boleznih srca in ožilja v različnih slovenskih krajih v odvisnosti od povprečne koncentracije delcev PM 2,5 za obdobje 2017–19

Vir podatkov: Uršič idr. (2021)

Avtorji raziskave ugotavljajo, da bi tako celotno smrtnost kot tudi parcialno smrtnost zaradi srčno-žilnih bolezni lahko zmanjšali, če bi izboljšali kakovost ozračja – v konkretnem primeru znižali koncentracije delcev PM 2,5. Opravili so modelne račune znižanja smrtnosti za dva scenarija. Po prvem scenariju bi letno povprečno koncentracijo delcev PM 2,5 glede na obdobje 2017–19 znižali za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, po drugem pa bi koncentracijo delcev v vseh krajih znižali na vrednost $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Uršič idr., 2021).

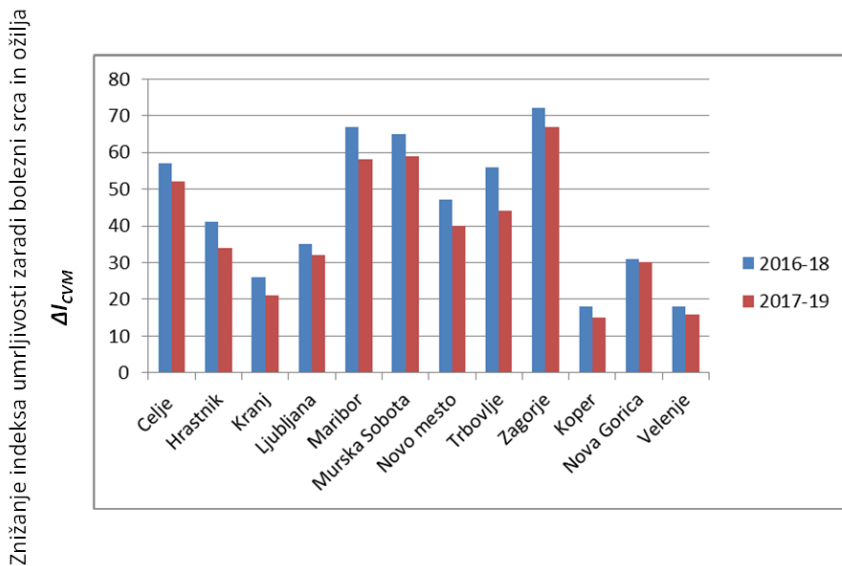
Po *prvem* scenariju (znižanje koncentracij delcev PM 2,5 za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bi bili učinki zmanjšanja umrljivosti zaradi srčno-žilnih obolenj najbolj vidni v Murski Soboti, Mariboru, Hrastniku, Zagorju, Trbovljah in Novi Gorici, manj pa bi bili učinki vidni v mestih s sicer nižjo srčno-žilno umrljivostjo (Novo mesto, Celje, Koper, Velenje, Ljubljana in Kranj). Modelni izračun pokaže, da bi v vseh krajih skupaj lahko preprečili 137 prezgodnjih smrti (Uršič idr., 2021). Znižanje indeksa umrljivosti zaradi srčno-žilnih bolezni ob zmanjšanju koncentracije PM 2,5 delcev za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za posamezne občine je prikazano na sliki 11.



Slika 11: Znižanje indeksa umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja za posamezne občine ob znižanju povprečnih letnih koncentracij delcev PM 2,5 za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Vir: Uršič idr. (2021)

V primeru drugega scenarija, da bi se v vseh mestih koncentracija PM 2,5 delcev znižala na isto vrednost $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bi bili vplivi na indeks umrljivosti zaradi srčno-žilnih bolezni nekoliko drugačni in bi se najbolj poznali v mestih z višjo povprečno koncentracijo PM 2,5 delcev, manj pa v mestih z nižjo koncentracijo. Tako bi se indeks srčno-žilne umrljivosti najbolj znižal v Zagorju, nato v Murški Soboti, Mariboru in Celju, najmanj pa v Kopru in Velenju (Uršič idr. 2021). Znižanje indeksa umrljivosti zaradi srčno-žilnih bolezni ob predpostavki, da bi se v vseh občinah koncentracija delcev PM 2,5 znižala na $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je prikazana na sliki 12.



Slika 12: Znižanje indeksa umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja za posamezne občine ob znižanju povprečnih letnih koncentracij delcev PM 2,5 na $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Vir: Uršič idr. (2021)

9 Zaključek

Trdni delci predstavljajo eno izmed najbolj problematičnih vrst onesnažil tako po svetu kot v Sloveniji. Njihove koncentracije pogosto presegajo predpisane mejne vrednosti, kar se v Sloveniji dogaja večinoma v zimskem obdobju. Povišane koncentracije trdnih delcev povzročajo vrsto škodljivih vplivov na zdravje. Pri delcih PM 2,5 je vrsta raziskav potrdila predvsem negativne učinke na srce in ožilje. Ob kratkotrajni izpostavljenosti visokim koncentracijam trdnih delcev lahko pri osebah,

ki imajo povišane dejavnike tveganja (npr. koronarno bolezen, napredovalo aterosklerozo, zvišan krvni tlak ipd.), pride do srčno-žilnih zapletov, ki lahko privedejo do hospitalizacije ali v najhujših primerih tudi do smrti. Pri dolgotrajni izpostavljenosti pa trdni delci povzročajo vnetne procese in pospešujejo napredovanje ateroskleroze. Z dosedanjimi raziskavami so znanstveniki uspeli že tudi v precejšnji meri pojasniti biološke mehanizme, preko katerih trdni delci poškodujejo srce in ožilje.

Pri trdnih delcih PM 2,5 so za zdravje problematični predvsem delci antropogenega izvora. Tako je z ustreznimi ukrepi možno učinkovito obvladati emisije in s tem znižati koncentracije PM delcev v zraku. Podatki za Slovenijo tako v precejšnji meri kažejo, da so se vrednosti PM delcev v ozračju znižale. K temu je gotovo prispevalo znižanje emisij trdnih delcev iz industrijskih virov kot tudi manjše emisije iz prometa. Težko je sicer predvideti, če bo precej forsirano uvajanje električnih avtomobilov samo po sebi učinkovito prispevalo še k nadaljnjemu znižanju emisij trdnih delcev. Dejstvo pa je, da so tudi avtomobili z dizelskimi in bencinskimi motorji zaradi čedalje strožjih emisijskih standardov opremljeni z vedno bolj učinkovitimi filtrirnimi sistemi in neprimerno manj obremenjujejo ozračje, kot so ga včasih. Pri znižanju emisij iz kurilnih naprav pa bi lahko določene rezultate dosegli, če bi lahko večino zastarelih kurilnih naprav zamenjali z uvajanjem toplotnih črpalk, predvsem če bi te izkoriščale elektriko iz obnovljivih ali trajnih virov.

Literatura

- AMZS (2016). Zamašeni filtri trdnih delcev. AMZS – Motorevija, 4.5. 2016. Pridobljeno 14.2. 2022 na <https://www.amzs.si/motorevija/mobilnost/nasveti/2016-05-04-zamaseni-filtri-trdnih-delcev>
- ARSO (2020). Naše okolje, Bilten Agencije RS za okolje – januar - december 2021.
- Awad, O., Ma, X., Kamil, M., Ali, O.M., Zhang, Z. in Shuai, S. (2020). Particulate emissions from gasoline direct injection engines: A review how current emission regulations are being met by automobile manufacturers. *Sci Total Environ*, Vol. 20; 718: 137302. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137302.
- Brook, R.D., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., Luepker, R., Mittleman, M., Samet, J., Smith, S.C. Jr, Tager, I. (2004). Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*, Vol. 109, str.2655–2671. doi.org/10.1161/01.CIR.0000128587.30041.C8
- Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A.V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R.V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C., Whitsel, L., Kaufman, J.D. (2010). Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease – An

- Update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, Vol. 121, str. 2331-2378). doi: 10.1161/CIR.0b013e3181d8ce1
- Cheng, Y., Lee, S., Gu, Z., Ho, K., Zhang, Y., Huang, Y., Chow, J.C., Watson, J.G., Cao, J., Zhang, R. (2015). PM_{2,5} and PM_{10-2,5} chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. *Particulology*, Vol. 18, pp. 96-104.
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jablung, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C. A. III, Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., van Dingenen, R., van Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M.H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, Vol. 389, str. 1907–1918, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6), 201
- Cui, Y., Sun, Q. in Liu, Z. (2016). Ambient particulate matter and cardiovascular diseases: a focus on progenitor and stem cells. *J. Cell. Mol. Med.*, Vol. 20 (5), str. 782-793. doi: 10.1111/jcmm.12822
- Curry Brown, A. (2013). Health Effects of Particulates and Black Carbon, Transport and Clean Air Seminar, EPA, December 2013
- Custard, B. (2021). Diesel Particulate Filters: what is a DPF and which cars with one? Carbuyer: Pridobljeno 14.2. 2022 na <https://www.carbuyer.co.uk/tips-and-advice/153014/diesel-particulate-filters-dpf-what-you-need-to-know>
- Del Real, Á., Santurtún, A. in Zarrabeitia, M.T. (2021). Epigenetic related changes on air quality. *Environ Res*, Vol. 197, 111155, doi: 10.1016/j.envres.2021.111155
- DieselNet (2022). Emission Standards – Cars and Light Trucks. European Union. DieselNet. Pridobljeno 13.2 2022 na <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. in Speizer, F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.*, Vol. 329 (24), str. 1753-1759. doi: 10.1056/NEJM199312093292401
- EPA (2018). Report on the Environment - Particulate Matter Emissions. Pridobljeno 25.1. 2022 na https://cfpub.epa.gov/roe/indicator_pdf
- EPA (2021). Particulate Matter (PM) Basics. EPA – United States Environmental Protection Agency. Pridobljeno 21.12. 2021 na <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- GBD (2016). GBD 2015 DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, Vol. 388, str. 1603–58. doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31460-X
- Gold, D.R., Litonjua, A., Schwartz, J., Lovett, E., Larson, A., Nearing, B., Allen, G., Verrier, M., Cherry, R., Verrier, R. (2000). Ambient pollution and heart rate variability. *Circulation*, Vol. 101(11), str. 1267-1273. doi: 10.1161/01.CIR.101.11.1267
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., La Tertre, A., Monopoli, Y., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H.R., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C. In Schwartz, J. (2001). Confounding and effect modification in the short-term effect of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA 2 project. *Epidemiology*, Vol. 12(5), str. 521-531. doi: 10.1097/00001648-200109000-00011.
- Koleša, T. (2016). Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ in PM_{2,5}. ARSO Okolje – Kazalci okolja. Pridobljeno 1.2. 2022 na <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/onesnazenost-zraka-z-delci-pm10-pm25-2>
- Künzli, N., Perez, L., von Klot, S., Baldassarre, D., Bauer, M., Basagana, X., Breton, C., Dratva, J., Elosua, R., de Faire, U., Fuks, K., de Groot, E., Marrugat, J., Penell, J., Seissler, J., Peters, A. in Hoffmann, B. (2011). Investigating air pollution and atherosclerosis in humans: Concepts and

- outlook. *Progress in Cardiovascular Diseases*, Vol. 53, str. 334-343. doi:10.1016/j.pcad.201012.006
- Lazarini, F. in Brenčič, J. (1984). *Anorganska kemija*, DZS, Ljubljana.
- Liao, D., Creason, J., Shy, C., Williams, R., Watts, R. in Zweidinger, R. (1999). Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 107 (7), str. 521-525. doi.org/10.1289/ehp.99107521
- Magari, S.R., Hauser, R., Schwartz, J., Williams, P.L., Smith, T.J. in Christiani, D.C. (2001). Association of Heart Rate Variability With Occupational and Environmental Exposure to Particulate Air Pollution. *Circulation*, Vol. 104 (9), str. 986-991. doi.org/10.1161/hc3401.095038
- Majewski, W.A. (2021). *Gasoline Particulate Filters. DieselNet Technology Guide*. Pridobljeno 14.2.2022 na https://dieselnet.com/tech/gasoline_particulate_filters.php
- Meo, S.A., Memon, A.N., Sheikh, S.A., Al Rouq, F., Mahmood Usmani, A., Hassan, A. in Arian, S.A. (2015). Effect of environmental air pollution on type 2 diabetes mellitus. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. Vol. 19(1), str. 123-128.
- Moller, P., Christophersen, D.V., Jacobsen, N.R., Skovmand, A., Damiao Gouvieia, A.C., Guerra Andersen, M.C., Keramanizadeh, A., Jensen, D.M., Høgh Danielsen, P., Roursgard, M., Jantzen, K. in Loft, S. (2016). Atherosclerosis and vasomotor dysfunction in arteries of animals after exposure to combustion-derived particulate matter or nanomaterials. *Crit Rev Toxicol*, Vol. 46(5), str. 437-476. doi: 10.3109/10408444.2016.1149451.
- Muller, J.E., Abela, G.S., Nesto, R.W. in Tofler, G.H. (1994). Triggers, acute risk factors and vulnerable plaques: the lexicon of a new frontier. *J. Am. Coll. Cardiol*. Vol. 23(3), str. 809-813. doi: 10.1016/0735-1097(94)90772-2.
- NIJZ (2014). *Srčno-žilne bolezni*. Nacionalni inštitut za javno zdravje. Pridobljeno 21.2.2022 na <https://www.nijz.si/sl/srcno-zilne-bolezni>
- O'Leary, D.H., Polak, J.F., Kronmal, R.A., Manolio, T.A., Burke, G.L. in Wolfson, S.K. Jr. (1999). Carotid artery intima and media thickness as a risk factor for myocardial infarction and stroke in older adults. *Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group. N Engl J Med*, Vol. 340 (1), str.: 14-22. doi: 10.1056/NEJM199901073400103
- Ostro, B., Feng, W.-Y., Broadwin, R., Green, S. in Lipsett, M. (2007) The Effects of Components of Fine Particulate Air Pollution on Mortality in California: Results from CALFINE. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 115 (1), str. 13-19.
- Pekkanen, J., Brunner, E., Anderson, H., Tiittanen, P. In Atkinson, R. (2000). Daily concentration of air pollution and plasma fibrinogen in London. *Occup. Environ. Med*, Vol. 57 (12), str. 818-822. doi: 10.1136/oem.57.12.818
- Peters, A., Döring, A., Wichmann, H.E. in Koenig, W. (1997). Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *Lancet*, Vol. 349 (9065), str. 1582-1587. doi: 10.1016/S0140-6736(97)01211-7
- Peters, A., Liu, E., Verrier, R.L., Schwartz, J., Gold, D.R., Mittleman, M., Baliff, J., Oh, J.A., Alle, G., Monahan, K. in Dockery, D.W. (2000). Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia. *Epidemiology*, Vol. 11(1), str. 11-17. doi: 10.1097/00001648-200001000-00005.
- Peters, A., Frölich, M., Dörning, A., Immervoll, T., Wichmann, H.E., Hutchinson, W.L., Pepys, M.B. in König, W. (2001). Particulate air pollution is associated with an acute phase response in men; results from the MONICA-Augsburg study. *Eur Heart J*, Vol 22(14), str. 1198-1204. doi: 10.1053/ehj.2000.2483.
- Peters, A., von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, H.E. in Löwel, H. (2004). Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction. *N. Engl. J. Med.*, Vol. 351 (17), str. 1721-1730. doi: 10.1056/NEJMoa040203
- Polonini, L.F., Petrocelli, D., Parmigiani, S.P. in Lezzi, A.M. (2019). Experimental study of PM emissions from wood pellet stoves with an innovative burning pot. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1224 012018. doi:10.1088/1742-6596/1224/1/012018
- Pope, C.A III., Verrier, R.L., Lovett, E.G., Larson, A.C., Raizenne, M.A., Kanner, R.E., Schwartz, J., Villegas, G.M., Gold, D.R. in Dockery, D.W. (1999). Heart rate variability associated with

- particulate air pollution. *American Heart Journal*, Vol. 138 (5), str. 890-899. doi.org/10.1016/S0002-8703(99)70014-1.
- Pope, C.A III., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D. in Godleski, J.J. (2004). Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution. *Circulation*, Vol. 109, str. 71-77. doi: 10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F
- Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K. in Thurston, G.D. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, Vol. 287 (9), str. 1132–1141. doi: 10.1001/jama.287.9.1132
- Schwartz, J. (2001). Air Pollution and Blood Markers of Cardiovascular Risk. *Environ Health Perspect*, Vol. 109
- Seaton, A., Soutar, A., Crawford, V., Elton, R., McNerlan, S.,Cherrie, J., Watt, M., Agius, R. In Stout, R. Particulate air pollution and the blood. *Thorax*, Vol. 54, str. 1027-1032.
- Timmers, V.R.J.H. in Achten, P.A.J. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*, Vol. 147, str. 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
- Tofler, G.H. in Muller, J.E. (2006). Triggering of Acute Cardiovascular Disease and Potential Preventive Strategies. *Circulation*, Vol. 114 (17), str. 1863-1872. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.596189>
- Uršič, A., Uršič, S. in Otorepec, P. (2021). Ocena vpliva onesnaženosti zraka z delci PM 2,5 na umrljivost v krajih s prekomerno onesnaženim zrakom. Opazovalno obdobje za oceno: 2017-2019. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ), februar 2021. Pridobljeno 1. 2. 2021 na https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/porocilo_pm_2017-2019.pdf
- Vüüdanoja, J., Sillanpää, M., Laakia, J., Kerminen, V.-M., Hilamo, R., Aarnio, P. in Koskentalo, T. (2002). Organic and black carbon in PM 2,5 and PM 10: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, Vol. 36, str. 3183-3193.
- WCM InfoGozd (2020). Lesna goriva. WCM InfoGozd. Gozdarski inštitut Slovenije. Pridobljeno 25.1. 2022 na <https://wcm.gozdis.si/sl/infogozd/prirocnik-za-lastnike-gozdov/lesna-goriva/>
- Wilker, E.H., Mittleman, M.A., Coull, B.A., Gryparis, A., Bots, M.L., Schwartz, J. in Sparrow, D. (2013). Long term exposure to black carbon and carotid intima-media thickness:The normative aging study. *Environ. Health Perspectives*, Vol. 121 (9), str. 1061-1067. doi: 10.1289/ehp.1104845
- Yusuf, S., Hawken, S., Ôunpuu, S., Dans, T., Avezum, A. In Lanan, F. (2004). Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): control-case study. *Lancet*, Vol. 364, Issue 9438, str. 937-952.
- Zanobetti, A., Schwartz, J., Samoli, E., Gryparis, A., Touloumi, G., Paacock, J., Anderson, R.H., La Tertre, A., Bobros, J., Celko, M., Goren, A., Forsberg, B., Michelozzi, P., Rabczenko, D., Perez Hoyos, S., Wichmann, H.E. in Katsouyanni, K. (2003). The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ. Healt Perspect*. Vol. 111 (9), str. 1188-1193. doi: 10.1289/ehp.5712
- Zhang, Y., Obrist, D., Zielinska, B. in Gertler, A. (2013). Particulate emissions from different types of biomass burning. *Atmospheric Environment*, Vol. 72, str. 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.026>
- Zhang, Y., West, J.J., Mathur, R., Xing, J., Hogrefe, C., Roselle, C.J.; Bash, J.O., Pleim, J.E., Gan, C.-M. in Wong, D.C. (2018). Long-term trends in the ambient PM2,5- and O3 related mortality burdens in the United States under emission reductions from 1990 to 2010. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 18, str. 15003-15016. <https://doi.org/10.5194/acp-18-15003-2018>
- Zhao, M., Hoek, G., Strak, M., Grobbee, D.E., Graham. I., Klipstein-Grobush, K. in Vaartjes, I. (2020). A global analysis of associations between fine particle air pollution and cardiovascular risk factors: Feasibility study on data linkage. *Global Heart* Vol. 15 (1): 53. doi: <https://doi.org/10.5334/gh.877>





SODOBNI PRISTOPI INŽENIRINGA POSLOVNIH SISTEMOV

MATJAŽ MALETIČ, BENJAMIN URH (UR.)

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
matjaz.maletic@um.si, benjamin.urh@um.si

Povzetek Sodobni pristopi inženiringa poslovnih sistemov so pomemben dejavnik tako pri ohranjanju kot pri oblikovanju konkurenčne prednosti organizacije. Pri tem je pomembno, da tako vodstvo kot zaposleni v organizaciji poznajo koncepte posameznih pristopov. V pričujoči monografiji predstavljamo sodobne pristope, ki delovanje organizacije obravnavajo z različnih vidikov njene konkurenčnosti, in smo jim do sedaj morebiti namenili premalo pozornosti. Digitalizacija projektne okolja, novi pogledi na razvoj produktov, obvladovanje premoženja, učinkovitosti in uspešnosti poslovnih procesov, uporaba sodobne informacijsko-komunikacijske tehnologije in njen vpliv na oblikovanje in delovanje organizacije ter zagotavljanje ustreznih delovnih pogojev in delovnega okolja za varnost in zdravje zaposlenih so pristopi, ki jih bodo organizacije v prihodnje morale usvojiti, če želijo ohraniti svojo konkurenčnost. Poleg teoretičnih predstavitev vzpostavitve in uporabe posameznih pristopov so predstavljeni tudi posamezni primeri uporabe le-teh v praksi.

Ključne besede:

management,
poslovni sistemi,
učinkovitost in
uspešnost,
pristopi
inženiringa,
digitalna
transformacija,
razvoj,
delovno okolje

MODERN APPROACHES TO ENTERPRISE ENGINEERING

MATJAZ MALETIČ, BENJAMIN URH (EDS.)

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
matjaz.maletic@um.si, benjamin.urh@um.si

Abstract Modern approaches to enterprise system engineering are an important factor in maintaining or creating competitive advantage for an organization. It is important that both management and employees of the organization are aware of the concepts of each approach. In this monograph, we present modern approaches that deal with the operation of the organization from various aspects of its competitiveness, and to which we have perhaps paid too little attention so far. Digitization of the project environment, new perspectives on product development, asset management, efficiency and effectiveness of business processes, the use of modern information and communication technologies and their impact on the design and operation of the organization, and ensuring appropriate working conditions and a working environment for the safety and health of employees are approaches that organizations will have to win in the future if they want to remain competitive. In addition to theoretical presentations on the establishment and application of the individual approaches, individual examples from practice are also presented. particles on mortality in Slovenian municipalities with excessively polluted air are presented.

Keywords:

Management,
business systems,
efficiency and
effectiveness,
engineering
approaches,
digital
transformation,
development,
work environment



Univerza v Mariboru

Fakulteta za organizacijske vede

Monografija kot celota opozarja na izbrane vidike poslovanja različnih organizacij, ki se v sodobnem poslovnem okolju srečujejo z novimi izzivi, nanje opozarja ter podaja inovativne načine in pristope k njihovem reševanju. V današnjem dinamičnem okolju morajo biti organizacije pripravljene na nenehne in hitre spremembe, se znati odzivati nanje in reševati probleme ažurno ter s čim manj napakami. S tega vidika monografija prinaša nova spoznanja k obstoječim in predstavlja pomemben prispevek k razvoju področja.

Monografija predstavlja pomemben prispevek, ker se osredotoča na aktualna vprašanja poslovanja organizacij, zato priporočam objavo kot znanstveno monografijo. Z ustvarjanjem in širjenjem znanja ter uporabo raznolikih raziskovalnih pristopov bo monografija pritegnila zanimanje bralcev, tako znanstvenikov z različnih področij kot tudi vodij organizacij, ki se pri svojem delu srečujejo z izzivi, ki jih naslavlja monografija.

dr. Barbara BRADAČ HOJNIK
Univerza v Mariboru

Knjiga bo koristila pedagogom na obravnavanih področjih, raziskovalcem, doktorskim študentom, magistrskim študentom, managerjem, odločevalcem, snovalcem politik, zainteresirani javnosti, saj na pregleden in hkrati znanstveno-strokoven način predstavi zahtevne sodobne koncepte. Potrudili so se, da so na razumljiv način približali bralcu kompleksne teorije in prihajajoče trende, s katerimi se bomo soočali v bližnji prihodnosti.

dr. Judita PETERLIN
Univerza v Ljubljani

Monografija Sodobni pristopi inženiringa poslovnih sistemov izhaja v času globalnih in podjetniških pretresov. Prav zato lahko predstavlja pomemben vir navdiha in usmeritev za sprejemanje pravočasnih, ustreznih in modrih strateških in operativnih odločitev.

dr. Mitja CEROVŠEK
Fakulteta za industrijski inženiring

