

Industrija 5.0 in sodelovalni roboti kot izziv managementa

Tadej Crnjac¹

e-pošta¹: tadej.crnjac@student.um.si

Povzetek

Trenutno smo priča vzniku pete industrijske revolucije, ki vključuje sodelovanje med vse močnejšimi in natančnejšimi stroji ter edinstvenim ustvarjalnim potencialom človeka. Medtem ko je bil cilj industrije 4.0 še medsebojno povezovanje strojev, procesov in sistemov za maksimalno optimizacijo zmogljivosti, gre industrija 5.0 še korak dlje – tako v smislu učinkovitosti kot produktivnosti. Vsi trendi kažejo na pospešeno rast trga sodelovalnih robotov, kar bo privedlo do njihovega vse večjega vključevanja na različna delovna mesta in tudi v naše domove. V prispevku analiziramo glavne izzive managementa, s katerimi se podjetja spoprijemajo na pragu pete industrijske revolucije, in podamo ključne smernice managerjem za prilagoditev vodenja in njihovega delovanja pri vpeljavi sodelovalnih robotov.

Ključne besede: industrija 5.0, sodelovanje med človekom in robotom, izzivi managementa, tehnološka transformacija, management.

1 Uvod

Razvoj industrije se je s pomočjo modernih računalnikov in robotov hitro spremenil. Preboj globalnega komunikacijskega omrežja je omogočil tehnologijo za koncipiranje naprednih proizvodnih procesov. V fazi, ki je nastopila pred industrijo 5.0, je prišlo do nastanka digitalne industrije, za katero so značilne velike tehnološke spremembe: strojno učenje, vseprisoten internet, umetna inteligenca in visoka stopnja robotizacije. Ker se iz leta v leto zvišuje stopnja avtomatizacije, je tudi pričakovati, da bo delovanje robotov čedalje bolj povezano s človekom v smislu doseganja višje ravni produktivnosti, prilagodljivosti in kakovosti. Za doseganje tega cilja se je sodelovanje človeka in robota izkazalo kot izredno učinkovito, saj lahko z medsebojnim sodelovanjem ljudje in roboti združijo svoje edinstvene prednosti in sposobnosti pri optimizaciji proizvodnih operacij (Othman & Yang, 2023).

Uporaba sodelovalnih robotov, imenovanih tudi koboti, je začela v proizvodnih obratih čedalje bolj spreminjati klasično vlogo industrijskih robotov, posledično pa poteka tudi večina znanstvenih raziskav s področja avtomatizacije in robotike v smeri razvi-

janja boljšega sodelovanja človeka in robota z namenom izboljšanja učinkovitosti in kakovosti proizvodnje. Na področju interakcije človeka in robota so se začele poglobljene raziskave leta 2019-2020. Pri podrobnem pregledu in analizi znanstvenih prispevkov smo ugotovili, da je raziskovalno področje dokaj novo in da se večina znanstvenih člankov osredotoča na podajanje splošnih tematskih informacij. V nadaljevanju izpostavljamo nekaj izbranih relevantnih objav, ki obravnavajo tovrstno tematiko.

Gervasi in di Torino (2019) sta proučevala ključne tehnologije, ki se izvajajo v pametni proizvodnji, vključno z umetno inteligenco, sodelovalnimi roboti, virtualno resničnostjo in digitalnim dvojčkom. Javernik in drugi (2023) so v objavi raziskovali avdiovizualne učinke kobota in analizirali vpliv spreminjanja parametrov gibanja robota na učinkovitost delavca ter posledično na sam proizvodni proces. Reiman in drugi (2023) so v članku raziskovali povezavo med pametnimi tovarnami in ergonomskim vplivom sodobnih procesov na človeka. To kompleksno odvisnost so avtorji proučevali s stališča človeških dejavnikov in ergonomije ter nekaj pozornosti namenili tudi uvajanju inovativnih procesov v managementu.

Dornelles in drugi (2023) so v prispevku analizirali, kako uporaba kobotov vpliva na operaterjeve spretnosti, in pojasnili, kako različne vrste interakcij vplivajo na spretnosti delavca v danih proizvodnih dejavnostih. Kopp in drugi (2023) so v prispevku opisali, kako predstavlja ustrezna stopnja zaupanja ključni dejavnik za uspešno vpeljavo kobotov v organizacijo. Chiurco in drugi (2022) so v članku dognali, da velik izziv predstavlja zaznavanje in da lahko poteka komunikacija med človekom in robotom prek govora, s kretnjami, mimiko obraza in fiziološkimi signali. Omenimo še članek (Daling et al., 2018), v katerem avtorji ugotavljajo, da je treba z vpeljavo kobotov v proizvodnjo tudi kvalificirati zaposlene s širokim spektrom zahtevanih kompetenc, predvsem osebnih in socialnih veščin.

Na drugi strani pa ugotavljamo, da je bilo v znanstveni literaturi opravljenih razmeroma malo raziskav, ki bi v okviru pete industrijske revolucije predstavile in analizirale glavne izzive managementa, s katerimi se podjetja soočajo pri pojavu novih industrijskih in komunikacijskih tehnologij (Lindner & Reiner, 2023; Olsson et al., 2024; Richa Saxena & Arya, 2023). Menimo, da je vpeljava načel industrije 5.0 trenutno eden največjih managerskih izzivov, saj dramatično spreminja poslovno okolje, delovanje organizacij in veljavne managerske paradigme. Ker je glavni cilj industrije 5.0 zagotoviti in vpeljati sodelovanje med človekom in robotom ter drugimi napravami, bo imela njena uvedba velik vpliv na organizacije, procese v njih ter njihov management.

V prispevku obravnavamo in izpostavljamo vlogo managementa v spremenjenih razmerah delovanja, ko se uvajajo sodelovalni roboti, saj bo potrebnega veliko prilagajanja v vodenju, predvsem kot odgovor na hitre vsakodnevne spremembe. Pričakovati je, da se bodo pogosto pojavljali drugačni in povsem novi izzivi, ki bodo od vodstva zahtevali nova znanja pri manevriranju in učinkoviti uporabi velike količine podatkov in rešitev. Treba bo zagotoviti razvoj novih kompetenc, tako med samim vodstvom kot tudi med zaposlenimi, predvsem glede razumevanja novih tehnologij, sistemov in upravljanja podatkov. Na koncu podamo še smernice za uspešno načrtovanje in uvajanje inovativnih procesov tistim managerjem, ki se zaradi izjemno hitrega tehnološkega razvoja ne morejo več zanašati na utečene napotke in pravila, kot so se lahko še pred leti.

2 Industrija 5.0

Od leta 2017 se pomembno izpostavljajo prizadevanja za uvedbo pete industrijske revolucije v organizacije (Demir et al., 2019). Koncept industrije 5.0 dopolnjuje obstoječo paradigmo industrije 4.0, saj

raziskave in inovacije spodbujajo prehod v trajnostno, na človeka osredotočeno in odporno evropsko industrijo. Industrija 5.0 izhaja iz soglasja Evropske komisije o potrebi po boljšem vključevanju socialnih in okoljskih prednostnih nalog v tehnološke inovacije in preusmeritvi fokusa s posamezne tehnologije na sistematični pristop (Breque et al., 2021).

2.1 Temeljni cilji industrije 5.0

Industrija 5.0 je osredotočena na tri ključne med seboj povezane cilje: na človeka, trajnost in odpornost. Pristop osredotočenosti na človeka postavlja v ospredje temeljne človeške potrebe in interese v proizvodnem procesu, pri čemer se preusmeri od tehnološko usmerjenega napredka k pristopu, ki poudarja pomen človeka in družbe. Trajnost si v industriji 5.0 prizadeva uravnovežiti tehnološki napredek s skrbjo za okolje in socialno blaginjo, pri čemer je poudarek na trajnostni, odporni in do človeka prijazni industriji (Breque et al., 2021).

Odpornost se v konceptu industrije 5.0 nanaša na potrebo po razvoju industrijskih sistemov, organizacij in procesov, ki se bolje prilagajajo in učinkovito odzovejo na zunanje spremembe in motnje. Ključna je sposobnost proizvodnih sistemov pri prilagajanju tržnim in drugim nepredvidljivim spremembam. Industrija 5.0 poudarja digitalno povezanost in kibernetsko varnost, kamor sodijo pametne tehnologije, ki zahtevajo robustne kibernetske varnostne ukrepe.

2.2 Tehnologije industrije 5.0

Industrija 5.0 je identificirala teh šest tehnologij (Vilani et al., 2021):

- povezovalne tehnologije med človekom in robotom;
- bioinspirirane tehnologije, ki ponujajo materiale z vgrajenimi senzorji;
- digitalni dvojčki in simulacija za modeliranje celotnih sistemov;
- tehnologije za prenos, shranjevanje in analizo podatkov;
- umetna inteligenca;
- tehnologije za energetska učinkovitost, obnovljive vire energije in avtonomijo.

Podobno kot industrija 4.0 bo tudi industrija 5.0, ki je še v preboju, potrebovala precejšnja vlaganja vladnih agencij. Ne glede na prihodnost industrije 5.0 so njeni temeljni cilji postali glavna gonilna sila

družbenega napredka, in ne stranski produkt, ki ga poganja bruto domači proizvod.

3 Sodelovanje med človekom in robotom

Z vključevanjem sodelovalnih robotov HRC (angl. Human-Robot Collaboration) v proizvodne obrate se ti in procesi v njih neizogibno spremenijo. Danes praktično vsa pametna industrija v svojih razvojnih oddelkih podpira in razvija programe sodelovanja med človekom in robotom. V preteklosti so se roboti tradicionalno uporabljali za opravljanje ponavljajočih se in preprostih nalog, predvsem v avtomobilski industriji. Prav zaradi tega je bila ta med prvimi, ki je začela uvajati sisteme HRC.

S tehnološkim napredkom se je vzporedno začel tudi intenzivni razvoj napredne sodelovalne oblike med človeškim strokovnim znanjem (odločanje, kritično mišljenje) ter ponovljivostjo in natančnostjo, ki jo lahko zagotovi robot (Luca & Flacco, 2012). Ključna prednost uporabe HRC je izboljšanje produktivnosti, saj lahko z uporabo HRC dosežemo boljše proizvodne zmogljivosti in skrajšamo proizvodne čase. Usklajeno delovanje človeka z robotom v pametni industriji pa ne pripomore le k povečanju produktivnosti, temveč poskrbi tudi za ohranjanje varnega delovnega okolja (Othman & Yang, 2023).

3.1 Klasifikacija interakcije človek-robot

V literaturi se navadno uporabljata termina, ki poudarjata dve različni obliki sodelovalnega odnosa med človekom in robotom, in sicer interakcija in sodelovanje (Gaz et al., 2018). Pomembno se je zavedati pomena obeh izrazov, saj vse skupne dejavnosti še ne pomenijo dejanskega sodelovanja med človekom in robotom. V članku bomo odslej uporabljali izraz interakcija, ki se nanaša na celotno sodelovalno ra-

ven med človekom in robotom, medtem ko izraz sodelovanje pomeni le eno od kategorij interakcije (Luca & Flacco, 2012).

Na interakcijo močno vplivajo različni dejavniki, denimo načrtovanje nalog, delovni prostor, stopnja neposrednega stika, zaporedje delovnih faz ipd. (Ronzoni et al., 2021). Dejavnike, ki vplivajo na zaupanje, sprejemanje robotov in njihovo zaznano varnost, lahko v grobem razdelimo na psihološke (spol, starost, osebnostne značilnosti), situacijske (zahtevnost delovne naloge) in značilnosti robotov (stopnja predvidljivosti gibov, hitrost premikanja). V delovnem kontekstu oz. v resnični situaciji delujejo vsi ti dejavniki usklajeno, tj. v medsebojni interakciji. Prihodnost robotike je v večnivojski interakciji, kjer se robot lahko samostojno uči od človeka.

Klasifikacija interakcij med človekom in robotom je nastala na osnovi opravljene študije Wanga in sodelavcev (2019), v kateri so avtorji upoštevali različne vidike odnosa med človekom in robotom v spremenljivih delovnih okoljih. V študiji, ki so jo opravili Bauer in drugi (2008), so na osnovi analize 25 različnih scenarijev izdelali klasifikacijo, ki jo je podprla in sprejela tudi strokovna javnost.

3.2 Ravni interakcije med človekom in robotom

Da bi vzpostavili učinkovito interakcijo med človekom in robotom v skupnem okolju, so raziskovalci vpeljali standardizirane postopke, ki so kategorizirani, kot prikazuje preglednica 1. Te vrste interakcij se določijo na podlagi zahtevanih nalog in strategij operativnega managementa (Segura et al., 2021).

Neodvisna interakcija se navezuje na scenarij, kjer človek in robot opravljata specifične naloge v različnih delovnih okoljih. Ta raven je primerna za naloge, kjer ni potrebnega tesnega sodelovanja ali fizičnega stika med človekom in robotom. Sekvenčna interakcija se navezuje na scenarij, kjer človek in robot hkrati delata za skupni cilj, vendar imata lo-

Preglednica 1: interakcija med človekom in robotom.

Vsebina	Interakcija			
	Neodvisna	Sinhronizacijska	Sekvenčna	Sodelovalna
Skupne delovne naloge		x		x
Neposredni stik		x		x
Sočasni proces	x		x	x
Zaporedne operacije		x	x	
Skupni delovni prostor		x	x	x

čene naloge, imata pa dostop do istih tehnoloških virov za pridobivanje informacij o nalogi (Gaz et al., 2018). Pri sinhronizacijski interakciji si človek in robot delita delovni prostor, vendar opravljata delo v različnih okvirjih in usklajenem časovnem zaporedju. Tako človek kot robot sta odgovorna za izvajanje nalog, vključena je medsebojna komunikacija v obliki navodil in povratnih informacij (Hentout et al., 2019). Sodelovalna interakcija vključuje scenarij, kjer človek in robot sodelujeta istočasno v sinergiji za doseganje skupnega cilja na istem delovnem mestu. Med vsemi ravnmi je ta interakcija najnaprednejša in zahteva visoko stopnjo koordinacije in komunikacije med robotom in človekom, ki jo omogoča napredna tehnologija zaznavanja (Hentout et al., 2019).

3.3 Varnost

Zagotavljanje varnosti operaterjev je ključnega pomena za uspešno vpeljavo HRC v proizvodne sisteme. Za zagotovitev varnosti med delovnim procesom je mednarodna organizacija za standardizacijo ISO (angl. International Organization for Standardization) vzpostavila varnostne standarde (Hentout et al., 2019), ki s priporočili zagotavljajo varno upravljanje in delovanje robotskih sistemov. Med ključna varnostna orodja prištevamo:

- nadzorovano zaustavitev;
- ročno upravljanje;
- nadzor hitrosti in razdalje;
- omejitev moči in sile.

3.4 Sodelovalni roboti v praksi

V preteklosti so se roboti tradicionalno uporabljali za opravljanje ponavljajočih se in preprostih nalog, predvsem v proizvodnih obratih avtomobilske industrije (Othman & Yang, 2023). Danes njihova uporaba presega okvir proizvodnje in vključuje tudi logistične procese, kot so komisioniranje, paletiranje in montaža (Dornelles et al., 2023). V proizvodnih okoljih so sodelujoči roboti neprecenljivi, saj se lahko uporabljajo za različna opravila, vključno s sestavljanjem, predelovalnimi postopki, vzdrževanjem in transportom materiala (Liu et al., 2024). Sodelovalni roboti si utirajo pot tudi v avtomatizacijo dodatne izdelave, kjer si pri 3D-tiskanju pomagajo z uporabo univerzalnega tiskalnega sistema, povezanega z robotsko roko (Silva et al., 2021).

Z napredkom umetne inteligence postajajo roboti čedalje bolj avtonomni in se lažje prilagajajo novim okoljem. To sposobnost robotov s pridom izkoriščajo konstrukterji pri načrtovanju varnejših naprav z inteligentnim obnašanjem, vgrajenim v robotski mehanizem in njegov sistem vodenja. Tako sodobni roboti niso le industrijske naprave, temveč so čedalje bolj prisotni tudi v vsakdanjem okolju, kjer ljudem pomagajo pri najrazličnejših opravilih. Vse več neindustrijskih robotov, ki so sicer namenjeni profesionalni rabi, lahko danes uporabljajo strokovnjaki, ki niso specializirani za robotiko (npr. sodelovalni roboti v laboratorijih ipd.). S tesnim sodelovanjem človeka in robota se pojavljajo vedno nove aplikacije: roboti v kirurgiji sodelujejo pri zapletenih operacijah, rehabilitacijski roboti bolnikom pomagajo povrniti prizadete motorične funkcije, eksoskeleti in robotske proteze nadomestijo ali pomagajo izboljšati človekove motorične sposobnosti (Bajd & Bratko, 2016). Rehabilitacijska, kognitivna, medicinska in humanoidna robotika so danes deležne vrhunskih raziskav na področjih inženirskih znanosti, kar pomeni, da bosta v prihodnosti človek in robot delala drug ob drugem.

4 Načrt tehnoloških sprememb pri prehodu na industrijo 5.0

Tehnološki napredek je prinesel kompleksne spremembe v delovna okolja, preoblikoval proizvodne procese v pametne tovarne ter ustvaril potrebo po razvoju človeškega dela. Uspešno vpeljane nove tehnologije podjetjem omogočajo, da svoje proizvodne sisteme spremenijo v fleksibilne in varne, kjer inteligentne rešitve in sistemi omogočajo optimizirano in manj delovno intenzivno proizvodnjo (Reiman et al., 2023). Tehnologija ni zagotovilo za uspeh, saj prinaša različne izzive, vključno s problemi, ki zahtevajo novo miselnost in boljše razumevanje socio-tehničnih sistemov (di Pasquale et al., 2020). Raziskovalci in Mednarodna organizacija dela (Sánchez Martínez et al., 2023) so poudarili potrebo po boljšem razumevanju človeške perspektive v razpravah o prihodnosti proizvodnje v kontekstu industrije 4.0 ter v vizijah, povezanih z industrijo 5.0. Predlagano je bilo, da bi se prihodnje raziskovalne dejavnosti bolj osredotočile na organizacijske in individualne sposobnosti, potrebne za uspešno sprejetje tehnologij, ki bi omogočale lažjo umestitev človeka v različne sisteme.

4.1 Vpeljava novih tehnologij v sisteme HRC

Uvajanje novih tehnologij v proizvodnji zahteva celovit pristop, ki upošteva človeške dejavnike in ergonomijo HF/E (angl. Human Factors and Ergonomics). Ti zagotavljajo v znanosti usmerjen pristop za analizo in razvoj kompleksnih socio-tehničnih sistemov, saj usmerjajo k optimizaciji dobrega počutja zaposlenega in podpirajo učinkovitost celotnega sistema, vključno s poslovnim vidikom (Dul & Neumann, 2009). V študiji so se Greig in sodelavci (2023) osredotočili na razpravo o uporabi HF/E v proizvodnem kontekstu, kjer se iščejo, zbirajo in uvajajo nove tehnologije. Cilj študije je bil ugotoviti, kako podjetja, ki že imajo izkušnje z vpeljavo novih tehnologij, usmerjajo in upravljajo svoje postopke pri uvajanju tehnologij, kjer je upoštevan vidik HF/E.

Za zagotavljanje konkurenčnosti morajo sprejete tehnologije ustrezati strateškim merilom podjetja, vpeljava pa mora slediti priporočilom organizacijske zasnove, vključno s perspektivo socio-tehničnega sistema (Dornelles et al., 2022). Kljub zagotovitvi konkurenčnosti pa nove tehnologije prinašajo možnosti za razvoj praks upravljanja informacij, znanja podjetij ter spremljanje in razvoj kompetenc zaposlenih za njihovo učinkovito in varno uporabo.

4.2 Sodelovalna delovna mesta

Sodelovalna delovna mesta CW (angl. Collaboration Workplace) se vse pogostejše uvajajo v proizvodne sisteme, saj neposredno sodelovanje med človekom in robotom prinaša številne koristi in omogoča izkoriščanje njunih prednosti. Raziskave so pokazale (Javernik et al., 2023), da na učinkovitost CW vplivajo različni proizvodni parametri, ki jih je treba podrobno proučiti, s čimer dosežemo pozitiven vpliv CW na proizvodne, socialne in okoljske karakteristike proizvodnih sistemov.

V preteklosti so se raziskave osredotočile predvsem na zmogljivost proizvodnih sistemov in na učinkovitost sodelovalnih robotov ter se omejile predvsem na študijo človeških zmogljivosti (Javernik et al., 2023; Othman & Yang, 2023; Demir et al., 2019). Iz študij lahko povzamemo, da je ravnotežje med sodelovalnimi roboti in ljudmi ključnega pomena pri optimizaciji proizvodnega sistema. Problem razpoložljivih zmogljivosti CW zahteva ustrezno načrtovanje, kar omogoča uporabo različnih znanih načinov dodeljevanja razpoložljivih kapacitet. Pri tem je bistvenega pomena ustrežna zasnova CW za optimalno koriščenje entitet v proizvodnem sistemu, kjer se prepletajo ergonomija

in zmogljivost ter njuno ravnotežje. Če CW ni pravilno integriran, lahko predstavlja ozko grlo, kjer nenačrtovani mikro izpadi pomenijo izgubo časa, tako pri delavcu kot tudi pri robotu, kar odseva v celotnem proizvodnem procesu.

5 Izzivi za management

Izpostavljamo nekaj priporočil managerjem za uspešno načrtovanje in uvajanje sodelovalnih robotov v podjetja v kontekstu aktualnih izzivov industrije 5.0. Predvsem mala in srednja podjetja se danes soočajo s čedalje večjimi zahtevami trga, ki spremljajo celoten življenjski cikel izdelkov in storitev. Na posameznih proizvodnih področjih koncept industrije 5.0 zagotavlja paleto možnosti za reševanje večine težav in podjetjem ponuja trajno vrednost, čeprav se zdijo nekateri predlogi preveč vizionarski in jih podjetja a priori zavračajo. Že leta 2016 je inštitut I-Com (Piazza & Apostoli, 2016) opravil raziskavo, katere rezultati so potrdili, da imajo v digitalnem gospodarstvu pametni inženiring, industrija 4.0, internet stvari in sodelovalni roboti velik potencial za mala in srednja evropska podjetja. Predvidevajo, da bo imela uporaba nove digitalne tehnologije velik vpliv na prihodnjo rast evropskih podjetij. Zaradi inovativne moči novih tehnologij je pričakovati, da te ne bodo povzročale sprememb zgolj na tehnološki ravni, temveč bodo vplivale tudi na poslovne modele in mednarodni prenos znanja.

Management je ključnega pomena v organizaciji, zato je njegova podpora tudi bistvena za spodbujanje industrije 5.0, vse spremembe v managementu pa neposredno vplivajo na glavne odločitve podjetja, kot so ustvarjanje in razvoj izdelkov ter storitev, distribucija in prodaja, odnosi s strankami, model sodelovanja, finance, kakovost, administrativni in drugi podporni procesi (Olsson et al., 2024). Pričakovati je, da se bo konvencionalni sistem managementa iz usmerjanja in nadziranja delavcev spremenil v njihovo aktivno vključevanje, kar lahko razumemo kot prenos znanja med strateško in operativno ravno. Ali drugače, industrija 5.0 potrebuje preoblikovanje sedanjih poslovnih modelov in prehod s tradicionalnega podjetja na digitalno, kar pomeni občutne tehnološke spremembe z uporabo velike količine podatkov, spremembe procesov ter spremembe v sodelovanju s strankami in dobavitelji.

Velika količina podatkov zahteva pravočasno sprejemanje odločitev in večjo agilnost na operativni ravni. Da se lahko podjetja soočajo z nastalimi spremembami, morajo razviti zbirko orodij, s katerimi lahko dosežejo najboljši izkoristek svojih zmogljivosti.

V tem kontekstu se velika količina podatkov pretvori v informacijsko znanje, ki ga lahko uporabijo za spremljanje in spodbujanje procesa odločanja, povezanega z managementom. Managerjem velik izziv predstavlja prilagodljiv način vodenja podjetij, ki omogoča uravnoteženo avtomatizacijo z možnostjo prilagajanja novim tehnologijam, vendar z ohranjanjem kakovosti izdelkov in optimizacijo proizvodnih sistemov glede stroškov, zanesljivosti, učinkovitosti in časa. Uporaba tovrstne strategije kot gonilne sile sprememb pa zahteva spreminjanje obstoječih poslovnih modelov ob dejstvu, da spremembe vplivajo na strateške in operativne procese v podjetju ter da morajo imeti podjetja jasno opredeljeno ponudbo vrednosti.

Mala in srednja podjetja morajo popolnoma razumeti tehnologijo in jo sprejeti, če se želijo učinkovito spopasti z izzivi, povezanimi s spremembami poslovnih modelov. Seveda podjetja potrebujejo tudi managerje z dvojnim, tj. tehnološkim in managerskim profilom, ki so sposobni razumeti potencial novih tehnologij v negotovem okolju. Tako industrija 5.0 za preboj potrebuje specializirane kadre z izkušnjami ter strokovnim znanjem o strojni in programski opremi, ki brezhibno obvladajo procese organizacije in tehnologije, ter s poslušom pri uvajanju programov usposabljanja za novo obdobje (Lindner & Reiner, 2023).

5.1 Management in sodelovalni roboti

Direktorji in managerji kadrovskih področij morajo biti glavno gonilo pri uvajanju novih tehnologij in ustvarjati temelje, na osnovi katerih lahko podjetja nemoteno sprejmejo spremembe. Novi proizvodni izzivi zahtevajo aktivno sodelovanje med različnimi tehnologijami in med zainteresiranimi stranmi v proizvodnji. Sodelovanje med človekom in robotom, ki poteka v skupnem delovnem okolju, pomeni določene izzive za prehod s centraliziranega na decentralizirani sistem nadzora podjetij. Za soočenje z vsemi izzivi, ki se navezujejo na sodelovanje, morajo mala in srednja podjetja vključiti strategijo poslovne inteligence, da bi v procese podjetja pridobili nove ideje in znanja. Ključno vlogo pri sodelovanju ima koncept odprte inovacije (Werning et al., 2021), ki podpira uporabo namenskih prilivov znanja za ustvarjanje notranjih inovacij in širjenje inovacij na zunanji trg. Prednosti odprte inovacije so jasno opredeljene:

- skrajšati čas in znižati stroške inovacijskih projektov;
- vključiti inovacije v obliki idej, patentov, izdelkov in tehnologij;
- komercializirati izume.

Sodelovalni roboti v proizvodnih obratih predstavljajo način dela, ki se je razvil šele v dobrih zadnjih desetih letih in trenutno doživlja pravi razcvet. Podjetje Rethink Robotics s sedežem v Bostonu, ki je bilo ustanovljeno leta 2008 in je specializirano za proizvodnjo sodelovalnih robotov Sawyer in Baxter, je leta 2012 na trg poslalo prvega sodelovalnega robota z namenom, da bi razbil idejo o ločenem delu med roboti in delavci (Werning et al., 2021). Kljub razmeroma kratki zgodovini se je nabralo že precej sistematičnih izkušenj, iz katerih lahko izpeljemo splošna pravila in napotke, ki jih je mogoče s pridom uporabiti tudi v novonastajajoči teoriji managementa.

Povezava med managementom in sodelovalnimi roboti je ključna za učinkovito vpeljavo teh naprav v delovnih okoljih podjetij. Strnimo nekaj vidikov, pred katerimi so se znašli sodobni managerji.

- **Strateško načrtovanje:** pri uvajanju sodelovalnih robotov mora management razviti jasno strategijo, ki vključuje določitev ciljev, spremljanje uspešnosti in prilagajanje načrta glede na potrebe podjetja.
- **Komunikacija:** pri uvajanju sodelovalnih robotov je ključna redna komunikacija med managementom, tehničnim osebjem in zaposlenimi. Management se mora soočiti z izzivi, s katerimi se srečujejo zaposleni, ter jim v celoti nuditi podporo.
- **Finančno načrtovanje:** management mora izdelati finančno kalkulacijo, vključno z oceno stroškov vpeljave sodelovalnih robotov ter analizo predvidenih prihrankov in izboljšave produktivnosti. Prav tako mora upoštevati stroške vzdrževanja in oceniti možnosti prihodnje nadgradnje.
- **Prilagodljivost:** pri vpeljavi sodelovalnih robotov se mora management s svojimi načrti in vizijo prilagajati nastali situaciji glede na spremembe v tehnologiji, zakonodaji ali poslovnem okolju.
- **Usposabljanje in izobraževanje:** za delo ljudi s sodelovalnimi roboti mora management zagotoviti njihovo izobraževanje in usposobljenost. To vključuje razumevanje delovnih in varnostnih postopkov ter vzdrževanje.

5.2 Nekaj praktičnih predlogov pri uvajanju sodelovalnih robotov

Na področju sodelovalnih robotov mora management podjetja upoštevati več praktičnih predlogov, s katerimi lahko učinkovito uvede sodelovalne robote v svoje delovanje in izkoristi prednosti, ki jih prinaša ta napredna tehnologija (Richa Saxena & Arya, 2023).

V nadaljevanju podajamo nekaj predlogov, ki naj bi jih managerji upoštevali, če želijo združiti dobro s koristnim in pri vpeljavi sodelovalnih robotov doseči najboljše možne rezultate (Werning et al., 2021).

- **Ocena trenutnega proizvodnega procesa in analiza potreb:** potrebna sta pregled trenutnega proizvodnega procesa in analiza področja, kjer bi lahko sodelovalni roboti ustvarili najvišjo dodano vrednost. Hkrati naj management razišče specifične potrebe podjetja in predvidi cilje, ki jih želi doseči z uvedbo sodelovalnih robotov, npr. povečanje učinkovitosti, izboljšanje kakovosti, znižanje stroškov ipd.
- **Izbira ustreznega robota in primerne tehnologije:** management mora opraviti raziskavo trga, poiskati različne proizvajalce in izbrati model sodelovalnega robota, ki najbolj ustreza potrebam podjetja. V prvi fazi uvajanja se priporoča začeti s pilotnimi projekti, preizkusiti izbrane sodelovalnega robota v realnih razmerah za delo in podati oceno njegove uspešnosti.
- **Integracija v obstoječe procese in sprememba delovnih nalog:** za lažje prilagajanje zaposlenih mora management sodelovalne robote v proizvodnjo uvajati postopno. Prav tako je potrebno tesno sodelovanje z oddelkom informacijsko-komunikacijske tehnologije, da se pri uvajanju sodelovalnih robotov postopno zmanjšajo motnje. Pri tem koraku sta potrebni tudi analiza trenutnih delovnih mest in identifikacija sprememb, ki jih prinaša uvedba robotov.
- **Izobraževanje in usposabljanje:** po končani identifikaciji sledi usposabljanje zaposlenih pri uporabi novih programov in veščin. Na izobraževalnih delavnicah se morajo zaposleni seznaniti s tehnologijo sodelovalnih robotov in njihovim delovanjem. Po končanem usposabljanju je treba zaposlenim zagotoviti podporo z mentorji in svetovalci, ki pomagajo pri prilagajanju novim nalogam.
- **Varnost in skladnost:** upoštevati je treba varnostne standarde in predpise ter uvesti potrebne ukrepe za zaščito vseh zaposlenih. Postopek vpeljave sodelovalnih robotov je treba izpeljati v skladu z veljavno delovno in varnostno zakonodajo ter podati oceno tveganja, ki identificira potencialne nevarnosti. Za zagotavljanje varnosti je prav tako pomembno redno vzdrževanje.
- **Spremljanje in optimizacija:** management mora spremljati učinkovitosti robotov, zbirati povratne informacije zaposlenih in izvajati izboljšave v kontekstu optimizacije procesov.
- **Merjenje uspešnosti:** management mora pri uvedbi sodelovalnih robotov definirati kazalnike za merjenje uspešnosti, kot so produktivnost,

kakovost izdelkov, zmanjšanje napak in zadovoljstvo zaposlenih. Prav tako sta potrebna redno spremljanje in priprava poročil o napredku ter posledično o uspešnosti.

6 ZAKLJUČEK

Danes sodelovalni roboti pomenijo enega temeljnih stebrov pri modernizaciji, prestrukturiranju in kompleksnejši avtomatizaciji proizvodnega sistema. Glavni spremembi, ki ju je posodobitev prinesla v robotsko tehnologijo, sta izboljšanje tehničnih parametrov opreme in velika zanesljivost proizvodnega procesa (Poór & Basl, 2020). Strokovnjaki poudarjajo, da sodelovalni roboti v proizvodnih okoljih prinašajo veliko prednosti, še posebej zagotavljajo, da bodo povečali učinkovitost ter izboljšali kakovost in doslednost, s čimer bo podjetjem omogočena večja konkurenčnost. Možne bodo hitrejša prilagoditve na trgu, z novimi inovativnimi pristopi bo konkurenčnost podjetij veliko večja.

Sodelovalni roboti lahko prevzamejo različne ponavljajoče se in utrujajoče naloge, ki jih ljudje ne bodo več delali in se bodo lahko lotili zahtevnejših ustvarjalnih nalog (Enrique et al., 2022). Prav tako lahko roboti ta dela opravljajo brez prekinitev in je s tem konkurenčnost podjetij večja. Delo sodelovalnega robota je zelo natančno, kar privede do višje kakovosti izdelkov. Prav tako sta v današnji dobi pomembna zmanjševanje količine odpadkov in učinkovita raba naravnih virov.

Sposobnost sodelovalnih robotov je tudi v obdelavi velikih količin podatkov, ki jih analizirajo in z naprednimi algoritmi izdelajo simulacije. Tudi pri inovacijah se uporabljajo sodelovalni roboti, saj jih je možno zelo hitro prilagoditi na nove proizvodne procese. S temi inovacijami in prilagoditvami se povečuje konkurenčnost, kar managerjem olajša delo pri sprejemanju odločitev. Zelo pomembna naloga sodelovalnih robotov je pri delu z nevarnimi in zdravju škodljivimi snovmi. Prevzemajo lahko tudi težka dela in s tem razbremenijo zaposlene v podjetjih.

Uporaba sodelovalnih robotov zahteva nova znanja, zato je potrebno neprestano izobraževanje zaposlenih. Managerji morajo prav tako zaposlene spodbujati k izobraževanju, saj lahko s tem roboti pridobijo čedalje bolj zapletena dela. Vendar je potrebna tudi skrb za zaposlene, da je uravnoteženo uvajanje sodelovalnih robotov in da ti ne vplivajo negativno na delovna mesta zaposlenih. Uspeh povezovanja zaposlenih s sodelovalnimi roboti je odvisen od sposobnosti managementa, ki bo učinkovito vodil spremembe v izobraževanju. Odlične rezultate je možno doseči samo v skupnem sodelovanju managementa in sodelovalnih robotov.

Kljub vsemu pa ima uvedba sodelovalnih robotov tudi nekaj slabosti. Na začetku so visoki stroški z nakupom celotne tehnologije, lahko pa pride tudi do tehničnih napak in težav s programsko opremo. Podajmo še nekaj smernic kot idejna izhodišča za prihodnje raziskovanje. Menimo, da bi se morale prihodnje raziskave osredotočiti predvsem na razvoj naprednih algoritmov umetne inteligence, ki bi sodelovalnim robotom omogočili učenje na podlagi izkušenj in njihovo boljše prilagajanje v realnih razmerah. Smiselno bi bilo raziskati vpliv sodelovalnih robotov na delovno okolje, pri čemer bi se bilo treba še posebej osredotočiti na psihološke in socialne vidike interakcije med ljudmi in roboti. Razmisliti bi bilo treba tudi o izboljšanju varnosti in zanesljivosti pri uvajanju sodelovalnih robotov z namenom zmanjšanja tveganj pri delu z nevarnimi materiali. Prav tako bi bilo ključno raziskati trajnostno rabo sodelovalnih tehnologij in možnosti njihove integracije v obstoječe proizvodne sisteme, kar bi omogočilo prehod na pametno proizvodnjo ter zagotovilo optimalne koristi za podjetja.

Zaključimo z upanjem, da bodo navedena priporočila koristila tistim managerjem, ki so informacijskim tehnologijam naklonjeni in se jih lotevajo dejavno, v digitalni ekonomiji in elektronskem poslovanju pa ne vidijo le težav, temveč izzive in priložnosti, ki jih kaže čim bolje izkoristiti.

Literatura in viri

- Bauer, A., Wollherr, D., & Buss, M. (2008). Human-robot collaboration: A survey. *International Journal of Humanoid Robotics*, 5(1), 47–66. <https://doi.org/10.1142/S0219843608001303>
- Bajd, T., & Bratko, I. (Eds.). (2016). *Biorobotika*. Slovenska akademija znanosti in umetnosti; = Academia scientiarum et artium Slovenica
- Chiurco, A., Frangella, J., Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., Solina, V., Mirabelli, G., & Citraro, C. (2022). Real-time Detection of Worker's Emotions for Advanced Human-Robot Interaction during Collaborative Tasks in Smart Factories. *Procedia Computer Science*, 200, 1875–1884. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.388>
- European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>
- Daling, L. M., Schröder, S., Haberstroh, M., & Hees, F. (2018). Challenges and Requirements for Employee Qualification in the Context of Human-Robot-Collaboration. 2018 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO), 85–90. <https://doi.org/10.1109/ARSO.2018.8625850>
- de Luca, A., & Flacco, F. (2012). Integrated control for pHRI: Collision avoidance, detection, reaction and collaboration. 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104> (BioRob), 288–295. <https://doi.org/10.1109/BioRob.2012.6290917>
- di Pasquale, V., Miranda, S., & Neumann, W. P. (2020). Ageing and human-system errors in manufacturing: a scoping review. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4716–4740. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1773561>
- Dornelles, J. de A., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2023). Collaborative or substitutive robots? Effects on workers' skills in manufacturing activities. *International Journal of Production Research*, 61(22), 7922–7955. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2240912>
- Dul, J., & Neumann, W. P. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745–752. <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2008.07.001>
- Enrique, D. V., Marcon, E., Charrua-Santos, F., & Frank, A. G. (2022). Industry 4.0 enabling manufacturing flexibility: technology contributions to individual resource and shop floor flexibility. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(5), 853–875. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2021-0312>
- Gaz, C., Magrini, E., & de Luca, A. (2018). A model-based residual approach for human-robot collaboration during manual polishing operations. *Mechatronics*, 55, 234–247. <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2018.02.014>
- Gervasi, R., & di Torino, P. (2019). Towards the definition of a Human-Robot collaboration scale. <https://www.researchgate.net/publication/338423663>
- Greig, M. A., Village, J., Salustri, F. A., & Neumann, W. P. (2023). Examining human factors and ergonomics aspects in a manufacturing organisation's metrics system: measuring up to stakeholder needs. *Ergonomics*, 66(12), 1868–1883. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2168065>
- Hentout, A., Aouache, M., Maoudj, A., & Akli, I. (2019). Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017. *Advanced Robotics*, 33(15–16), 764–799. <https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714>

- Javernik, A., Kovič, K., Palčič, I., & Ojsteršek, R. (2023). Audio-Visual Effects of a Collaborative Robot on Worker Efficiency. *Symmetry*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/sym15101907>
- Kopp, T., Baumgartner, M., & Kinkel, S. (2023). »It's not Paul, it's a robot«: The impact of linguistic framing and the evolution of trust and distrust in a collaborative robot during a human-robot interaction. *International Journal of Human Computer Studies*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103095>
- Lindner, F., & Reiner, G. (2023). Industry 5.0 and Operations Management - the Importance of Human Factors. *NOMS 2023-2023 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/NOMS56928.2023.10154282>
- Olsson, A. K., Eriksson, K. M., & Carlsson, L. (2024). Management toward Industry 5.0: a co-worker-ship approach on digital transformation for future innovative manufacturing. *European Journal of Innovation Management*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/EJIM-09-2023-0833>
- Othman, U., & Yang, E. (2023). Human-Robot Collaborations in Smart Manufacturing Environments: Review and Outlook †. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s23125663>
- Piazza, R., & Apostoli, S. (n.d.). I-Com-Istituto per la Competitività INTERNET OF THINGS & 5G REVOLUTION. www.i-com.it
- Poór, P., & Basl, J. (2020). Machinery maintenance model for evaluating and increasing maintenance, repairs and operations within Industry 4.0 concept. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 947(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/947/1/012004>
- Reiman, A., Kaivo-oja, J., Parviainen, E., Takala, E. P., & Lauraeus, T. (2023a). Human work in the shift to Industry 4.0: a road map to the management of technological changes in manufacturing. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2291814>
- Reiman, A., Kaivo-oja, J., Parviainen, E., Takala, E. P., & Lauraeus, T. (2023b). Human work in the shift to Industry 4.0: a road map to the management of technological changes in manufacturing. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2291814>
- Richa Saxena, M., & Arya, S. (2023). The Impact of Industry 5.0 on Supply Chain Management for a Sustainable Future. *Theory and Practice*, 29(4), 1019–1025. <https://doi.org/10.53555/kuey.v29i4.6159>
- Ronzoni, M., Accorsi, R., Botti, L., & Manzini, R. (2021). A support-design framework for Cooperative Robots systems in labor-intensive manufacturing processes. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 646–657. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.10.008>
- Sánchez Martínez, M., Samaan, D., Ernst, E., & Horne, R. (2023). World employment and social outlook: Trends 2023 (I. L. Organization. R. Department, Ed.; 1st ed.). ILO. <https://doi.org/10.54394/SNCPI637>
- Segura, P., Lobato-Calleros, O., Ramírez-Serrano, A., & Soria, I. (2021). Human-robot collaborative systems: Structural components for current manufacturing applications. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 3, 100060. <https://doi.org/10.1016/J.AIME.2021.100060>
- Silva, M. Z., Brito, T., Lima, J. L., & Silva, M. F. (2021). Industrial Robotic Arm in Machining Process Aimed to 3D Objects Reconstruction. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2021-March, 1100–1105. <https://doi.org/10.1109/ICIT46573.2021.9453596>
- Villani, V., Sabattini, L., Barańska, P., Callegati, E., Czerniak, J. N., Debbache, A., Fahimipirehgalin, M., Gallasch, A., Loch, F., Maida, R., Mertens, A., Mockało, Z., Monica, F., Nitsch, V., Talas, E., Toschi, E., Vogel-Heuser, B., Willems, J., Żołnierczyk-Zreda, D., & Fantuzzi, C. (2021). The INCLUSIVE System: A General Framework for Adaptive Industrial Automation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18(4), 1969–1982. <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3027876>
- Wang, L., Gao, R., Váncza, J., Krüger, J., Wang, X. v., Makris, S., & Chryssolouris, G. (2019). Symbiotic human-robot collaborative assembly. *CIRP Annals*, 68(2), 701–726. <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2019.05.002>
- Werning, E., Negri, M., Verweij, S., Rossi, G., Rataj, S., & Likar, B. (2021). MODEL SMEART in smernice za poslovno sodelovanje med univerzo in gospodarstvom. <https://doi.org/10.26493/978-961-293-051-6>

Tadej Crnjac je diplomiral in magistriral iz strojništva na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru. Trenutno opravlja doktorski študij na Ekonomsko-poslovni fakulteti v Mariboru, kjer se osredotoča na raziskovanje interakcije med človekom in sodelovalnimi roboti (HRC). Njegovo raziskovalno delo naslavlja aktualna vprašanja, povezana z uvajanjem sodelovalnih robotov v proizvodne procese ter vplivom le-teh na delovno okolje.