

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I
BRODOGRADNJE**

**POSLIJEDIPLOMSKI DOKTORSKI STUDIJ
STROJARSTVA**

KVALIFIKACIJSKI ISPIT

**MODERNE PROIZVODNE PARADIGME
INDUSTRIJA 4.0 I INDUSTRIJA 5.0**

Vili Milković

Split, lipanj 2024.

SADRŽAJ

1. UVOD	3
2. INDUSTRIJA 4.0.....	4
2.1. Osnovne značajke Industrije 4.0	4
2.2. Devet stupova Industrije 4.0.....	7
2.3. Koncept „Pametne tvornice“ i vertikalna integracija proizvodnje	11
3. INDUSTRIJA 5.0.....	14
3.1. Osnovne značajke Industrije 5.0	14
3.2. Tri glavna cilja Industrije 5.0	16
4. ANALIZA PRIMJENE INDUSTRIJE 4.0/5.0 U ŽELJEZNIČKOM PROMETU	23
5. ANALIZA PRIMJENE INDUSTRIJE 4.0/5.0 U HRVATSKOJ	30
5.1. Analiza hrvatske prerađivačke industrije	30
5.2. Rezultati analiza hrvatske prerađivačke industrije	35
5.3. Zaključci analize hrvatske prerađivačke industrije	39
6. ZAKLJUČAK	43
LITERATURA.....	44
SAŽETAK.....	50

1. UVOD

Prve tri industrijske revolucije nastale su oko važnih izuma: parni stroj u 18. stoljeću (1. industrijska revolucija), električna energija početkom 20. stoljeća (2. industrijska revolucija) i programabilni logički kontroler koji je omogućio automatizaciju 1970-ih (3. industrijska revolucija). Danas napredak interneta i IKT-a (informacijske i komunikacijske tehnologije) omogućava 4. industrijsku revoluciju [1]. Glavni pokretač četvrte industrijske revolucije je nova industrijska platforma Industrija 4.0 [1]. Taj pojam – Industrija 4.0 – prihvaćen je u cijelom svijetu i postao je sinonim za četvrtu industrijsku revoluciju. No to nije sasvim točno, budući da industrijska revolucija ima mnogo širi kontekst, ona također znači i socijalnu revoluciju. Tako da industrijska revolucija ne može biti samo nova industrijska platforma ili paradigma. Međutim, glavne kritke Industriju 4.0 pojavile su se po pitanju nečeg drugoga, a to je izostavljenost ljudske dimenzije [2], tj. gdje su ljudi u ovoj priči? Naime, Industrija 4.0 se bavi novim tehnologijama, implementacijom interneta stvari (Internet of Things) i slično, ali ne govori puno o čovjeku tj. radniku. Stoga su mnogi zaključili da je jedan od ciljeva Industrije 4.0 u potpunosti zamijeniti ljudske resurse tj. radnike, što definitivno nije točno [3]. Industrija 4.0 ima za cilj smanjiti potrebu za ljudskim radnicima kroz automatizaciju i robotizaciju, ali pravi razlog za to je manjak industrijske radne snage u cijeloj Europi.

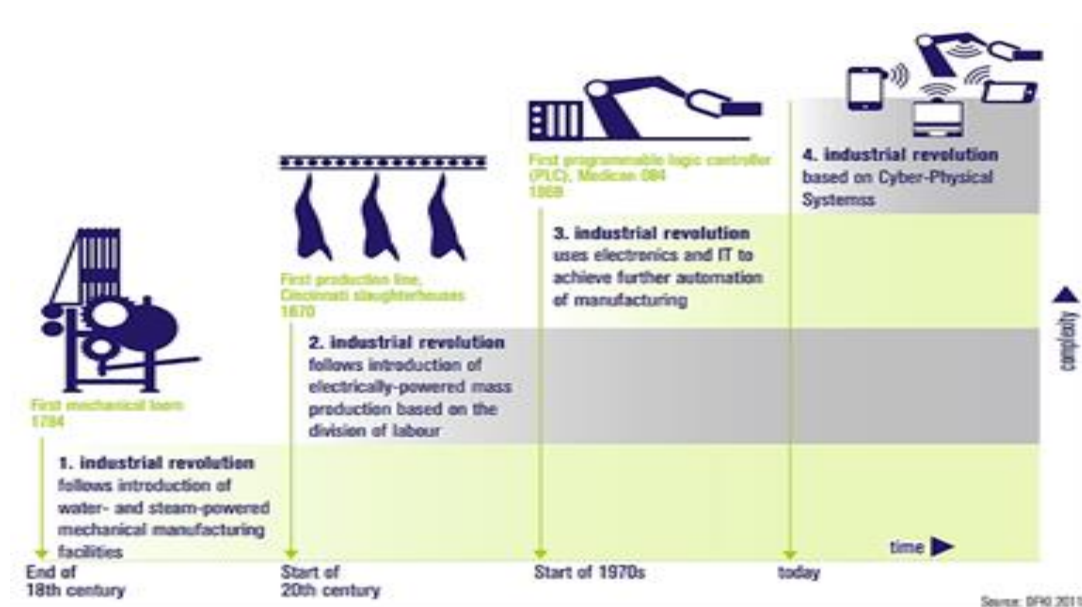
Iznenadnim izbijanjem pandemije COVID-19, svakodnevni život se je u potpunosti promijenio, a važnost ljudi tj. radnika je postala bitna. Istaknuta je i važnost same industrije budući da se je prerađivačka industrija jako dobro nosila s pandemijom, naročito u usporedbi s uslužnim sektorom. No, pandemija je prekinula globalne dobavljačke lance, a Europska komisija je uvidjela problem da se velik broj toga piroizvodi na Dalekom istoku („Made in China”). Stoga je napravljeno ažuriranje platforme Industrija 4.0 kroz izvješća „Industrija 5.0: prema održivoj, na čovjeka usmjerenoj i otpornoj europskoj industriji” [4] i „Industrija 5.0: transformativna vizija za Europu” [5]. Ovi su dokumenti zanimljive prekretnice koji su usvojili lekcije naučene tijekom pandemije COVID-19, te predlažu novu industrijsku platformu izgrađenu na: održivosti, usmjerenosti na čovjeka i otpornosti.

U ovom radu napravljena je znanstvena i stručna analiza modernih proizvodnih paradigmi Industrija 4.0 i Industrija 5.0, s naglaskom na primjenu Industrije 4.0/5.0 u željezničkom prometu, te primjenu Industrije 4.0/5.0 u Hrvatskoj.

2. INDUSTRIJA 4.0

2.1. Osnovne značajke Industrije 4.0

Sve je počelo prije nešto više od 13 godina, nacionalnom strateškom inicijativom njemačke vlade „Industrie 4.0” [1]. U posljednjem desetljeću Industrija 4.0 (I4.0), kao nova industrijska paradigma, postala je zvijezda sjevernjača za proizvodna poduzeća diljem svijeta [6] te glavni dio nacionalnih industrijskih strategija [7], poput „Industrie 4.0” u Njemačkoj [1] i „Industrie 4.0” u Italiji [8].



Slika 1. Četiri faze industrijske revolucije [1]

Fokus Industrije 4.0 je implementacija naprednih informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT), koje su pokretači četvrte industrijske revolucije, u proizvodno okruženje. Napredak ICT infrastrukture omogućio je World Wide Web (internet) povezivanjem i komunikacijom s različitim vrstama uređaja, tzv. Internet of Things (IoT). Korištenjem IoT senzora i aktuatora, proces proizvodnje može se u potpunosti nadzirati: proizvodi se mogu pratiti pomoću tehnologije radiofrekventne identifikacije (RFID) [9], te se može pratiti stanje stroja i potrošnja električne energije ili komprimiranog zraka [10][11], mogu se precizno procijeniti razine zaliha, otkriti pogreške i nedostaci, a svi ti podaci mogu se prikazati na interaktivnim nadzornim pločama. Rezultat je kibernetско-fizički sustav (eng. Cyber-Physical Systems (CPS)) [7][12]: u ovom slučaju, kibernetско-fizički proizvodni sustav, koji je stvarni digitalni bliznac proizvodnog procesa u stvarnom svijetu. Digitalni bliznac omogućuje praćenje procesa

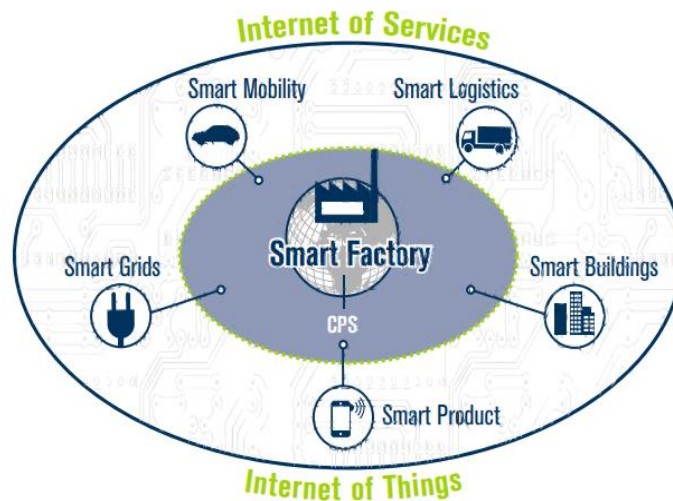
proizvodnje, ali nadilazi nadzor. Može se koristiti za optimizaciju proizvodnog procesa, simulaciju promjena, te njihovu implementaciju u stvarnom svijetu. Međutim, postoji tehnička i organizacijska pretpostavka [13] za cjeloviti kibernetско-fizički sustav proizvodnje: vertikalna integracija proizvodnje. Predstavlja i povezivanje sustava za planiranje resursa poduzeća (ERP) s “shop-floor” razinom uz pomoć sustava za izvođenje proizvodnje (MES) preko senzora/aktuatora, čime se stvara koncept “Pametne” tvornice [14]. Ovakva potpuna kontrola i potpuni uvid u proizvodnju omogućuje izradu pojedinačnih proizvoda, tzv. personaliziranu [15][16] ili individualiziranu proizvodnju [17]. Nadalje, kibernetско-fizički proizvodni sustav nije ograničen na jedan proizvodni sustav. Ipak, može se proširiti na dobavljače, opskrbni lanac ili cijelu proizvodnu mrežu [18]. Tako da inicijativa Industrije 4.0 ima ogroman potencijal:

- *Ispunjavanje individualnih zahtjeva kupaca.* Industrija 4.0 omogućuje individualne, specifične kriterije za kupce koji će biti uključeni u dizajniranje, konfiguraciju, naručivanje, planiranje, proizvodnju i rad u fazama i omogućuje promjene u posljednjem trenutku.
- *Fleksibilnost.* “Ad hoc” umrežavanje temeljeno na CPS-u omogućuje dinamičku konfiguraciju različitih aspekata poslovanja procesa, kao što su kvaliteta, vrijeme, rizik, pouzdanost, cijena i ekološka prihvatljivost, što olakšava kontinuirano “podrezivanje” materijala i opskrbnih lanaca. Nadalje, to znači da se mogu napraviti puno vrijedniji inženjerski procesi, proizvodni procesi mogu biti promijenjivi, privremene nestašice (npr. zbog problema opskrbe) mogu se kompenzirati i može se postići veliki povećani učinak u kratkom vremenu.
- *Optimiranje donošenja odluka.* Kako bi se uspjelo na globalnom tržištu, postoji kritično donošenje pravih odluka, često u vrlo kratkom roku. Industrija 4.0 pruža “end-to-end” transparentnost u stvarnom vremenu, omogućujući ranu provjeru projektnih odluka u sferi inženjerstva i fleksibilnije odgovore na poremećaje i globalna optimiranja u svim lokacijama tvrtke u sferi proizvodnje.
- *Produktivnost i učinkovitost resursa.* Sveobuhvatni strateški ciljevi za industrijske proizvodne procese i dalje se primjenjuju na Industriju 4.0: pružanje najvećeg mogućeg učinka proizvoda iz danog volumena resursa (produktivnost resursa) i korištenjem najniže moguće količine resursa za isporuku određenog učinka (resurs učinkovitosti). CPS omogućuje procesima proizvodnje optimiranja od slučaja do slučaja cijele vrijednosti mreže.
- *Stvaranje vrijednosnih prilika kroz nove usluge.* Industrija 4.0 otvara nove načine stvaranja vrijednosti i nove oblike zapošljavanja. Primjena pametnih algoritama moguća

je na ogromne količine različitih podataka (“Big Data”) snimljenih pametnim uređajima koje pružaju inovativne usluge. Posebno su značajne mogućnosti za mala i srednja poduzeća start-up(ovi) za razvoj B2B (business-to-business) usluge za Industriju 4.0.

- *Odgovor na demografske promjene u radnom mjestu.* Promjene u demografiji moguće su u interaktivnoj suradnji između tehnoloških sustava i ljudskih resursa a koje pružaju kompanijama nova rješenja. U vezi nedostatka obrazovane i rastuće raznolikosti radne snage (u smislu starosti, rod i kulturološka pozadina), Industrija 4.0 će omogućiti raznolike i fleksibilne puteve karijera koji će omogućiti ljudima da nastave raditi kako bi što dulje ostali produktivni.
- *Radno - životna ravnoteža.* Fleksibilniji modeli organizacije rada tvrtki koje koriste CPS znači da su dobro postavljeni kako bi zadovoljili sve veću potrebu zaposlenika za uspostavu sklada svog rada i obiteljskog života te između razvoja osobe u svakom pogledu (osobni, poslovni). Npr. “Pametni sustavi pomoći” omogućit će nove mogućnosti organizacije rada na način da donose novi standard fleksibilnosti koji treba ispuniti zahtjevima poduzeća i osobnim potrebama zaposlenika. Kako veličina radne snage opada, to će CPS tvrtkama dati jasnu prednost kada je u pitanju zapošljavanje najboljih zaposlenika.
- *Gospodarstvo s visokim plaćama koje je još uvijek konkurentno.* Dvostruka strategija Industrije 4.0 omogućit će Njemačkoj da razvije svoju poziciju vodećeg dobavljača i koje će također postati vodeće tržište za Industriju 4.0.

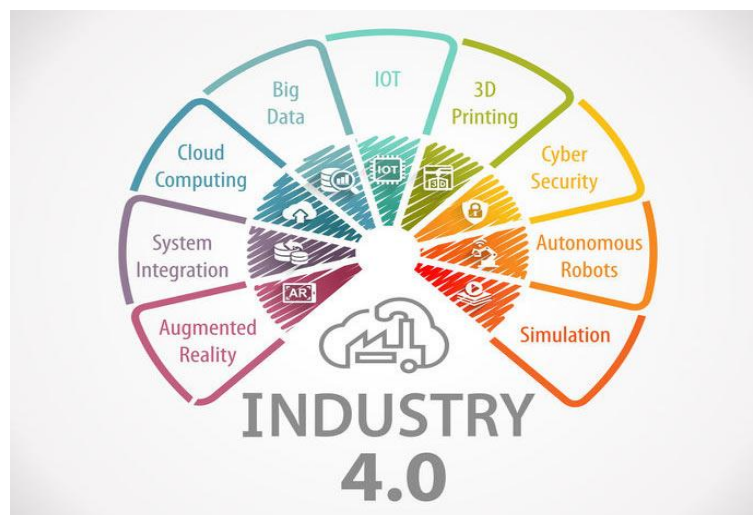
Industrija 4.0 usmjerena je na stvaranje pametnih proizvoda, postupcima i procesima, pri čemu Pametne tvornice čine ključne značajke. Pametne tvornice sposobne su upravljati složenošću, manje su sklone prekidima i učinkovitije proizvode robu. U pametnoj tvornici, ljudi, strojevi i resursi komuniciraju jedni s drugima jednako prirodno kao i na društvenim mrežama. Na kraju, Industrija 4.0 treba se provoditi na interdisciplinarnan način i u bliskoj suradnji s drugim ključnim područjima (slika 2.)



Slika 2. Industrija 4.0 i pametne tvornice kao dio internet stvari i usluga [1]

2.2. Devet stupova Industrije 4.0

Devet, već postojećih, prvenstveno tehnoloških poboljšanja koji se koriste u industrijama, posebice u proizvodnji označavaju i devet stupova Industrije 4.0. Njihova integracija je tamo gdje se trenutno koriste pojedinačno ili skupno u svrhu osnaživanja tvornica kako bi postale „pametne“, a to je ono što je Industrija 4.0. Za praktično razumijevanje implementacije, potrebno je zamisliti jednostavno postrojenje za proizvodnju tiskanih pločica (eng. PCBs) kako bi se razumjelo devet stupova Industrije 4.0 [2]. U nastavku je predstavljeno devet stupova Industrije 4.0 (slika 3.) na primjeru pogona za proizvodnju PCB-a kao primjer pretvaranja „obične“ tvornice u „pametnu“ [2].



Slika 3. Devet stupova industrije 4.0 [2]

a) "Big Data" i analitika podataka

Analitika i prikupljanje podataka ulaze u proizvodnju i dobavljački lanac. Snaga analize podataka i prepoznavanja uzoraka može se iskoristiti u proizvodnoj industriji kako bi se optimirala kvaliteta proizvodnje, uštedila energija te smanjili zastoji i gubici. U postrojenjima podaci se mogu prikupljati na različitim razinama proizvodnog procesa. Ako se otkrije da je PCB ili serija PCB-a neispravna, podaci o njihovoj proizvodnji tada se mogu prikupiti i sveobuhvatno procijeniti kako bi se došlo do uzroka ili obrasca koji se pojavljuje. Proces koji uključuje te obrasce može se redizajnirati i ponovno procijeniti kako bi se smanjio gubitak i povećala produktivnost. Prediktivno održavanje može se provesti na temelju prikupljenih podataka. Ovo je isplativije i sigurnije od konvencionalne metode rutinskog održavanja.

b) Simulacija

Simulacija se danas koristi za projektiranje komponenti koje se proizvode. U Industriji 4.0 može se koristiti za simulaciju virtualnog okruženja same tvornice s podacima u stvarnom vremenu i analizom produktivnosti prije nego što se u tvornici može napraviti promjena. Ovo pomaže inženjerima da vizualiziraju dizajn na mnogo bolji način, posljedično im pomažući u prepoznavanju problema i prepreka u ranoj fazi. Kao primjer, uzimajući u obzir da u proizvodnom pogonu postoje tri robota za lemljenje PCB-a, prodajni tim obećava klijentima da će njihova narudžba biti isporučena u roku od 3 tjedna. Nažalost, jedan od „starijih” robota suočava se s nekim od tehničkih kvarova s rokom popravka od 10 dana. Simulacijama s različitim brzinama rada može se upravljati kako bi se postigla optimalna brzina pri kojoj roboti mogu raditi bez da se kvare i ispune rokove. U suprotnom će se ili propustiti rokovi radeći s dva robota normalnom brzinom ili riskirati oštećenje radnih robota metodom pokušaja i pogreške.

c) Horizontalna i vertikalna integracija

Horizontalna integracija podiže umrežavanje između kibernetičko-fizičkih sustava i poslovnih sustava na određenu razinu. Svaki uređaj i sustav na istoj razini proizvodnje u istom ili drugom pogonu povezani su međusobno. Budući da to omogućuje komunikaciju između sustava u različitim objektima, poslove mogu planirati i prilagođavati sami strojevi. Zastoj u objektu može se nadoknaditi prekovremenim radom u drugom objektu bez ikakve ljudske intervencije. Vertikalna integracija čini ga još boljim. Svaki sustav i ljudi na svim hijerarhijama imaju sve

podatke sa potrebnom apstrakcijom. Važan izazov s kojim se suočava vertikalna integracija je komunikacijski protokol, jer ne može se očekivati da svi sustavi govore istim jezikom.

d) Industrijski internet stvari (Internet of Things, IoT)

Međusobno povezani uređaji na koje su ugrađeni senzori u međusobnoj komunikaciji povezani s ljudima putem interneta, najvažnije su obilježje Industrije 4.0. Svaki uređaj zaprima podatke za donošenje odluka i analize koji se spremaju u oblaku (Cloud). Ekosustav u kojem su svi senzori i aktuatori sa sposobnošću funkcioniranja zasebno i komuniciranja sa svim drugim elementima naziva se IoT (Internet of Things). Industrijski IoT je isti, ali s povećanom robusnošću za preživljavanje u teškim uvjetima industrije.

e) Napredna robotika - Autonomni roboti

Autonomni roboti prenose sirovine, poluproizvode i gotove proizvode na lakši, brži i pametniji način. Djeluju na temelju složenog logičkog algoritma, što znači da im nije potrebna nikakva unaprijed postavljena staza za obavljanje njihovih dužnosti (Giga tvornica “Tesla Motors” je primjer). U njima se nalaze autonomna unutarnja vozila (AIV) za prijenos materijala između radnih stanica. Vozila mogu imati nosivost do 130 lbs. i puniti vlastitu bateriju bez intervencije, te imaju robote koji prate liniju koji se kreću definiranom stazom i imaju svoju primjenu. U slučaju tvornice za proizvodnju PCB-a, ovi se autonomni roboti mogu koristiti za premještanje PCB-a, nakon što su potpuno dovršeni, do područja za pakiranje. Ako se proizvodni pogon revidira i promjeni mjesto pakiranja, samo bi promjena odredišta u sustavu robota bila dovoljna za normalan rad.

f) Rad u oblaku (cloud computing)

Putem internet konekcija “Cloud”-u je moguće pristupiti s bilo koje pozicije. Danas je dostupno mnogo usluga u oblaku od kojih su značajne IaaS, PaaS, SaaS. Komunikacija među samim strojevima te između strojeva i ljudi uvelike je podržana uslugama u oblaku, pri kojemu je najbolji primjer Amazon.com Inc. Potrošač dobiva ažurirane informacije o tome gdje se nalazi njegova narudžba u stvarnom vremenu. Nakon što paket stigne u skladište, informacije se ažuriraju u oblaku nakon kojega se radi obavijest. Svaki put kada se provjerava trenutna lokacija paketa, upit za dobivanje se izvršava u stvarnom vremenu kako bi korisnika obavijestio o stanju paketa. Kupci bi bili zadovoljni kada bi vidjeli podatke o njihovom proizvodu u stvarnom vremenu u proizvodnji osim ako ne postoje kašnjenja zbog tehničkih grešaka.

g) Kibernetička sigurnost

Kibernetička sigurnost postaje tema o kojoj se priča od postanka informacijske tehnologije. Najveća noćna mora svake informacijske tehnologije tvrtke je hakiranje poslužitelja i podataka. Sprječavanje takve katastrofe i zaštita podataka i performansi poslužitelja jedina je svrha kibernetičke sigurnosti. Ali kako će to utjecati na malu tvrtku koja proizvodi tiskane ploče? Kako se povezuje sve više i više komponenti, radnja jednog uređaja temelji se na izlazu drugog uređaja, sve više operativnih odluka je decentralizirano te se povećava zabrinutost za sigurnost. Integracija sustava s oblakom sama po sebi zagovara potrebu za kibernetičkom sigurnošću.

h) Proširena stvarnost

Proširena stvarnost se može koristiti u različitim uslugama kao što su izbor pričuvnih dijelova/materijala u skladištima ili uporabom mobilnih uređaja/tehnologije slanjem uputa za popravak uređaja u kvaru. Sustavi temeljeni na proširenoj stvarnosti haraju tehnološkom industrijom. Prije nekoliko godina svoju su primjenu nalazili samo u simulatorima letenja. Danas se upute za daljinski popravak mogu poslati doslovno u bilo koji dio svijeta s pristupom internetu te pomaže tehničarima da unaprijede svoje vještine prakticirajući vrhunske popravke i održavanje, te iznova koristeći proširenu stvarnost.

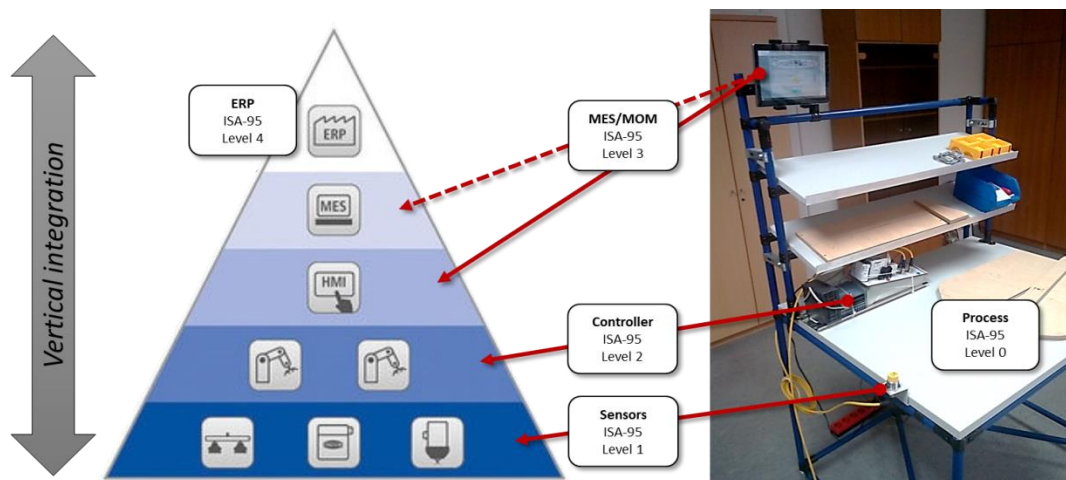
i) Aditivna proizvodnja i 3D ispis

Današnje tvrtke već koriste tehnike aditivne proizvodnje poput 3D ispisa za izradu prototipova i dokaza koncepata. Fleksibilnost Industrije 4.0 omogućuje nam da dizajniramo složene dizajne koji su gotovo nemogući s konvencionalnim proizvodnim procesima. Većina konvencionalnih proizvodnih procesa je subtraktivna proizvodnja koja uključuje rasipanje sirovina. Aditivna proizvodnja drastično smanjuje, ako ne i potpuno eliminira rasipanje sirovina. Tvrtka pod nazivom "made in space" planira konstruirati satelite u svemiru koji imaju puno dodatnih prednosti. Gusto zbijene sirovine mogu se slati u svemir gdje se od njih mogu graditi objekti većeg volumena. Satelitski dizajni, koji su bili isplativi, ali previše krhki da bi preživjeli snage lansiranja raketa, mogu se proizvesti u svemiru. Uporabom Industrije 4.0 brzo raste i konkurencija je prilagođava. Nije svih devet tehnoloških stupova potrebno u svim industrijama i poljima, ali bez da ih se maksimalno iskoristi čini konkurente jačima. Divovi kao što su Amazon, Tesla motors, Lockheed Martin, Hyundai i Boeing zauzeti su prelaskom na sljedeću razinu, a to je industrija 4.0. Stagniranje može ne samo spriječiti uspjeh, već i uništiti posao. Svi kupci traže pametniju proizvodnju, povezani lanac opskrbe i proizvode i usluge s dodanom vrijednošću, koji se mogu lako isporučiti kroz Industriju 4.0.

2.3. Koncept „Pametne tvornice“ i vertikalna integracija proizvodnje

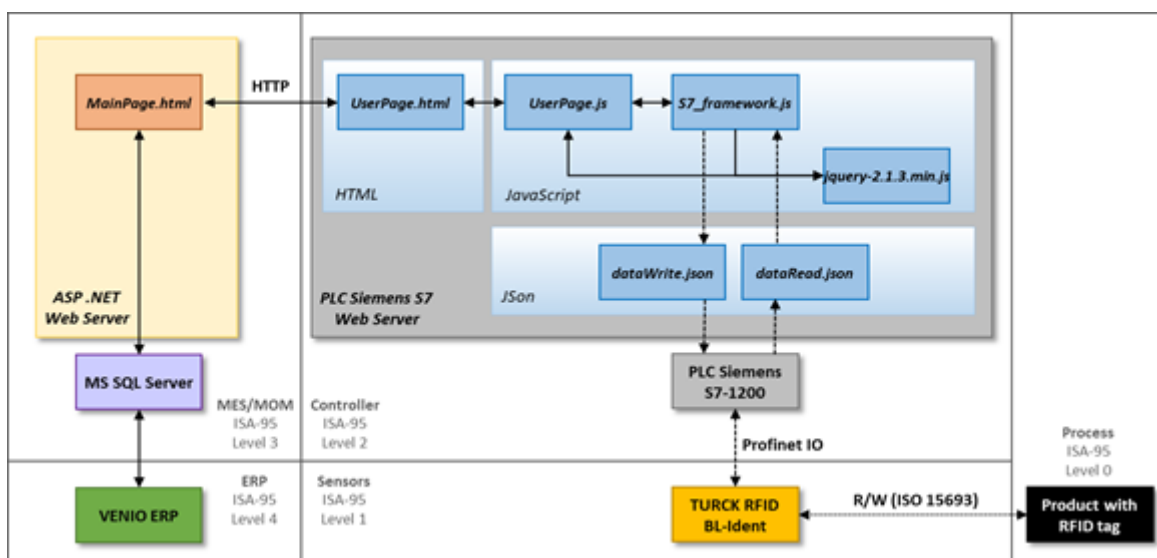
Industrija 4.0 naglašava koncept „Pametne tvornice“ (Smart Factory), koji predstavlja proizvodnju temeljenu na „pametnim“ proizvodima [19] koji omogućuju vertikalnu integraciju proizvodnje. Pametni proizvodi su jedinstveni, stoga moraju biti prepoznatljivi, locirani u bilo kojem trenutku i moraju imati svoju vlastitu povijest, trenutačni status i alternativne putove za dolaska do kupca [19], stoga zahtijevaju sofisticiraniju tehnologiju od uobičajenog praćenja proizvoda poput bar kodova. Tehnologija koja može omogućiti ove zahtjeve je tehnologija radio-frekvencijske identifikacije (RFID) [20]. Ova tehnologija temelji se na RFID tagovima za pohranjivanje podataka u njihovu memoriju i RFID antenama za čitanje podataka s tagova ili pisanje podataka na tag [20]. RFID tehnologija je već dobro poznata tehnologija, te bi se mogla implementirati u Manufacturing Execution System (MES), stvarajući tako „RFID-enabled Manufacturing Execution System“ [21]. Ova vrsta praćenja proizvodnje uživo [9] povezana sa sustavom za planiranje resursa poduzeća (ERP) može značajno poboljšati planiranje proizvodnje [22]. Glavni cilj „RFID-enabled Manufacturing Execution System“ je imati podatke o proizvodnji u stvarnom vremenu [23], tj. imati MES u stvarnom vremenu [24]. Glavni slojevi MES-a u stvarnom vremenu koji stvaraju MES okvir su [24][25]: radni sloj s različitim hardverskim uređajima (RFID čitači, Wi-Fi mreža ili slično); MES sloj; sloj sučelja koji ima za cilj međukomunikaciju u stvarnom vremenu s drugim informacijskim sustavima poduzeća (ERP općenito); i sloj donošenja odluka koji se sastoji od informacijskih sustava, poput ERP sustava (Razina 4 u ISA-95 standardu automatizacije [26]). Međutim, MES (također nazvan Manufacturing Operations Management ili MOM, razina 3 u ISA-95) se ne može promatrati kao dio ERP-a, niti je u potpunosti podređen njemu. MES se preklapa s ERP-om, jer daje uvid u izvođenje proizvodnje u stvarnom vremenu (Razine 2 i 1 u ISA-95). Ako se proizvodni planovi ne izvrše kako je planirano, to pokreće ponovno planiranje i donošenje odluka koje utječu na promjene u ERP-u i drugim informacijskim sustavima [9]. Zaključno, MES s omogućenom RFID tehnologijom može poslužiti kao vrlo dobra ICT platforma za podršku novim izazovima proizvodnje koje pokreće Industrija 4.0, poput koncepta pametne tvornice. Međutim, RFID tehnologija ima i svoja ograničenja [27][28][29]. Kao dokaz koncepta, potpuna vertikalna integracija proizvodnje demonstrirana je unutar Learning Factory [30] na FESB-u (slika 4.). Industry-4.0-ready oprema instalirana je na 4 radna mjesta na kojima se odvija proces montaže. Riječ je o sljedećoj opremi: RFID sustav za praćenje proizvoda,

odnosno izvođenje proizvodnje spojen na programabilni logički kontroler (PLC); Windows 10 Tablet koji služi kao Human Machine Interface (HMI) za kontrolu PLC-a, ali također predstavlja jednostavan MES (RFID-enables) povezan s ERP-om.



Slika 4. Demonstracija vertikalne integracije proizvodnje unutar Learning Factory [30]

ERP sustav koji se koristi unutar Learning Factory je 'Venio ERP' tvrtke Venio Indicium Ltd. Ovaj ERP sustav se temelji na MS SQL bazi podataka tako da se svim podacima može pristupiti s neke druge desktop ili web aplikacije korištenjem autorizirane veze. Ova činjenica omogućuje razvoj veze između MES-a i ERP sustava. Kompletna hardversko/softverska shema vertikalne integracije prikazana je na slici (slika 5.).



Slika 5. Hardversko/softverska shema prikazane vertikalne integracije proizvodnje [30]

Zaključno, Smart Factory s RFID-om bila je jedno od glavnih poboljšanja platforme Industrije 4.0 prije deset godina. Međutim, tada su očita i poznata ograničenja RFID tehnologije bila zanemarena. Nadalje, uzimajući u obzir činjenicu da se dugoročno izlaganje ljudi RFID zračenju smatra potencijalno nezdravim [31], cijela ideja korištenja RFID tehnologije za omogućavanje koncepta pametne tvornice mora se ponovno razmotriti ili redizajnirati.

3. INDUSTRIJA 5.0

3.1. Osnovne značajke Industrije 5.0

Godine 2020. globalna pandemija COVID-19 pogodila je EU i cijeli svijet [32] te je naglašena važnost čovjeka u svakom pogledu. Velik dio fokusa bio je stavljen na tvorničke radnike i sve ostale zaposlenike. Nadalje, pandemija je razbila globalne lance vrijednosti, a EU je ostala bez nekih važnih proizvoda poput toaletnog papira i medicinskih maski. Europska prerađivačka industrija nije se borila samo zbog pandemije, već i zbog prekinutih opskrbnih lanaca, pri čemu se niti malo nisu pokazali otpornima na smetnje iz okoline. Sve ove aspekte primijetila je Europska komisija, koja je 2021. [4][33] objavila potpuno novi dokument, Industrija 5.0 (I5.0), koji se fokusira na usmjerenost na čovjeka, otpornost i održivost (Slika 6.).



Slika 6. Europski koncept industrije 5.0: usmjerenost na čovjeka, otpornost i održivost [4]

Usredotočenost na čovjeka ima još jedan važan aspekt: uporaba strojnog učenja (Machine Learning - ML) i umjetne inteligencije (Artificial Intelligence - AI) u proizvodnom sektoru koje je popularizirala Industrija 4.0. Problem AI/ML-a je što su oni, većinu vremena, rješenja crne kutije koja daju neke rezultate bez jasnog uvida u proces i njegove parametre. Ponekad su radnici čak podređeni nekom informacijskom sustavu temeljenom na umjetnoj inteligenciji, a ta činjenica predstavlja epohalnu i po mnogo čemu problematičnu promjenu. Naime, tehnologija je kroz povijest uvijek bila podređena čovjeku, nikad obrnuto. Stoga je ponovno stavljanje ljudi u središte i transparentna i poštena AI/ML tehnologija [34] jedan od najvažnijih aspekata Industrije 5.0.

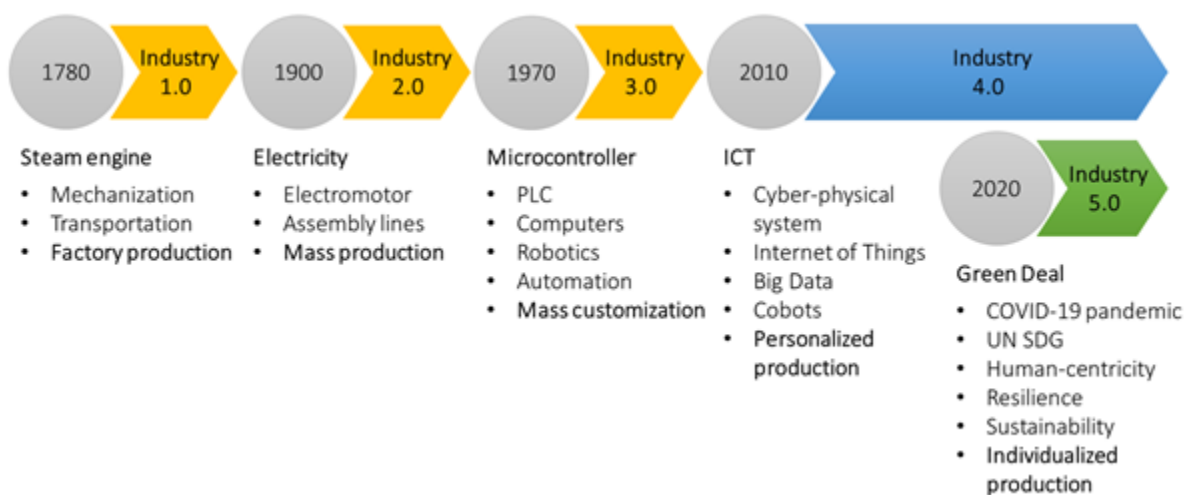
Što je zapravo Industrija 5.0? U ovom istraživanju, Industrija 5.0 je viđena onako kako je vidi Europska komisija [35]: to nije zamjena za Industriju 4.0, već više njeno ažuriranje. Ovakav pogled na Industriju 5.0 prihvaćaju i drugi znanstvenici [6]. Važno je napomenuti da je radni dokument Europske komisije o ažuriranju Industrije 4.0 u 2020. izvorno nazvan Industrija 4.1 [33]. Stoga novi trendovi među znanstvenicima i praktičarima koji već govore o Industriji 6.0 [36] propuštaju bit. No, industrijska paradigma nije operativni sustav, niti softver, pa se ne može očekivati potpuno nova verzija svake godine. Trebalo bi proći barem dva ili tri desetljeća prije nego što se predstavi nova industrijska paradigma. Stoga, zaključno, Industrija 5.0 je korekcija ciljeva Industrije 4.0 da se uklopi u Europski zeleni plan i održivi globalni razvoj (Tablica 1.).

Tablica 1. Bitne razlike između Industrije 4.0 i Industrije 5.0 (prilagođeno iz [35][37]).

Dimenzija	Industrija 4.0 - ciljevi	Industrija 5.0 - ciljevi
Tehnologija	Usmjerenost na poboljšanu učinkovitost putem digitalne povezanosti i podataka umjetne inteligencije	Naglašava utjecaj alternativnih načina (tehnološkog) upravljanja na podatke o održivosti i otpornosti
	Tehnologija usredotočena na pojavu kibernetičkih ciljeva	Osnažuje radnike korištenjem digitalnih uređaja, podupirući pristup tehnologiji usmjeren na čovjeka
Ekonomija	Usklađen s optimizacijom poslovnih modela unutar postojeće dinamike tržišta kapitala i ekonomskih modela, tj. u konačnici usmjeren na minimiziranje troškova i maksimiziranje dobiti za dioničare	Osigurava okvir za industriju koja kombinira konkurentnost i održivost, omogućujući industriji da ostvari svoj potencijal kao jedan od stupova transformacije
Ekologija	Ne postoji težište na dimenzije dizajna i izvedbe koje su ključne za sustavnu transformaciju i odvajanje upotrebe resursa i materijala od negativnog utjecaja na okoliš i klimu	Gradi tranzicijske putove prema ekološki održivoj upotrebi tehnologije
Društvo	Ne postoji težište na dimenzije dizajna i izvedbe koje su bitne za sustavnu transformaciju i odvajanje uporabe resursa i materijala od negativnih društvenih učinaka	Proširuje djelokrug odgovornosti korporacija na njihove cijele lance vrijednosti
		Uvodi pokazatelje koji pokazuju, za svaki industrijski ekosustav, napredak postignut na putu prema dobrobiti, otpornosti i ukupnoj održivosti

Budući da je Industrija 5.0 paralelni pristup Industriji 4.0 (Slika 6.), nije ipak nešto što je zamjenjuje [6]. To također znači da kada se mjeri razina industrijske zrelosti, Industrija 5.0 ne može biti razina iznad Industrije 4.0; procjena je više mjera kako je poduzeće usklađeno s ciljevima industrije 5.0: otpornost, održivost i usmjerenost na čovjeka,. Na slici 7. je vidljivo zašto Industrija 5.0 nije nova industrijska revolucija, jer se nije dogodio neki novi tehnološki iskorak. Prva industrijska revolucija potaknuta je izumom parnog stroja, druga izumom električne energije, treća izumom mikrokontrolera, a četvrta razvojem ICT-a i izumom

interneta; u ovom trenutku nema tehnološkog izuma koji bi mogao pokrenuti petu industrijsku revoluciju. Unatoč tome, Industriju 5.0 pokrenuli su Zeleni dogovor EU-a, pandemija COVID-19 i UN-ovi ciljevi održivog razvoja (SDG)!



Slika 7. Usporedba Industrije 4.0/5.0 i povijesni pregled [38]

Također je važno napomenuti da je tvornička proizvodnja započela s mehanizacijom (parni stroj), da bi s montažnim/proizvodnim linijama ubrzo postala masovna proizvodnja. Kasnije je uz pomoć računala i informacijskih sustava bilo moguće uvesti montažu mješovitog modela koja je omogućila masovnu prilagodbu. Moderno doba, međutim, dopušta personaliziranu ili individualiziranu proizvodnju [50]. Ponekad se personalizirana i individualizirana proizvodnja vide kao ista stvar, ali ponekad se razlikuju. Personalizirana proizvodnja može se promatrati kao proizvodnja malih serija personaliziranih proizvoda uglavnom u odnosima između poduzeća [51], a individualizirana proizvodnja može se promatrati kao proizvodnja pojedinačnih artikala u odnosima između poduzeća i potrošača [17]. Personalizirana i/ili individualizirana proizvodnja nisu jednostavni ciljevi; stoga bi se poduzeće trebalo potruditi nabaviti tehnologije Industrije 4.0 kako bi ih postiglo.

3.2. Tri glavna cilja Industrije 5.0

Glavna obilježja industrije 5.0 su: održivost, otpornost i usmjerenost na čovjeka. Vjeruje se da su ova obilježja poželjna europskoj industriji kako bi ostala sposobna i konkurentna u

budućnosti. Za ostvarenje industrije 5.0, postavlja se pitanje na koji način kako EU politika može omogućiti uvjete koji bi bili poticajni za industriju za pripremu i inovaciju u budućnosti.

a) Usmjerenost na čovjeka

Europska unija već je usvojila čovjeko-centričan i socio-centričan pristup u nekoliko svojih ključnih politika. Glede usmjerenosti na pristup čovjeku i dalje ima mjesta za napredak u kontekstu industrije. Za osiguranje koristi tvrtki i djelatnika od digitalnih tranzicija, neophodno je redizajniranje poslovnih modela, te radnici trebaju biti uključeni u svaki korak tranzicijskog procesa. Tvrtke trebaju ulagati u tehnologiju i radnike, pri čemu je neophodna snažnija poveznica između tvrtki s jedne strane, te ustanova za osposobljavanje i usavršavanje s druge strane. Istraživanje bi trebalo pratiti ovaj proces pružanjem kompetencija i stručnosti, temeljeno na širim trendovima u društvu i na tržištima rada. Obrazovanje, obuka, prekvalifikacija i usavršavanje su stvari na koje je neophodno i obavezno usmjeriti pozornost u procesu prilagodbe digitalne tranzicije u industrijama. Akcijski plan za digitalno obrazovanje (2021.-2027.) ocrtava Vizija Europske komisije za visokokvalitetno, uključivo i dostupno obrazovanje i sustave obuke prikladne za digitalno doba. Morat će se obavezno raditi na poticanju razvoja kompetencija i digitalnih vještina te digitalnog obrazovnog ekosustava. Nadalje, možda će biti potrebno dodatno raditi na politikama rada u vezi s odgovarajućim priznavanjem rada u digitalnom gospodarstvu (npr. označavanje podataka), rada na platformi ili revizija standardnog radnog vremena. Prioritetni zadaci moraju biti oni u kojemu radnici moraju ostati zaštićeni i potrebni članovi društva jer mnogi neće moći pronaći svoje mjesto u novim okolnostima transformirane industrije.

b) Održivost

U središtu europske politike dugo je prisutan Održivi razvoj, te se je EU u potpunosti obvezala na postizanje rezultata Agenda 2030. za 17 ciljeva održivog razvoja (SDGs), koju je usvojila Opća skupština UN-a 2015., kako je navedeno u dokumentu : „Održiva Europa do 2030’. Zeleni dogovor najavljen u prosincu 2019. jasno navodi što Europa mora učiniti kako bi prešla na održivo gospodarstvo. Nova stvarnost i realnost su Inovacije u zelenoj tehnologiji, usmjerene na digitalizaciji industrije EU (uključujući bolje korištenje velikih količina podataka i umjetne inteligencije). Sve više tvrtki uključuju održivost u svoje modele poslovanja zbog brige za društvo i okoliš. Za energetske industrije neophodno je razmotriti vezu između potrošnje energije i gospodarskog rasta. Takva analiza je neophodna u prepoznavanju problema specifičnih za industriju koji bi mogli dovesti do više ciljanog istraživanja i inovacijskih napora

za energetska učinkovitost. Primjena kružnog gospodarstva, u skladu s 12. UN-ovim ciljevima održivog razvoja za „održivu potrošnju i proizvodne obrasce“, generira brzo i trajno ekonomsku korist. Optimizacija postojećih tehnološko-ekonomskih rješenja svakako nije dovoljna, te industrija mora nastaviti razvijati nova rješenja koja mijenjaju igru, primjenjiva u praksi i razumijevanje implikacije prerade svojih poslovnih modela. U primjenu kružnog gospodarstva se uklapaju neke vrste materijala, dok druge (npr. kompoziti, vlaknasta plastika itd.) traže daljnje proučavanje i istraživanje. Takva bi istraživanja trebala nastaviti podržavati Horizon Europe, nadovezujući se na rad obavljen u okviru prethodnih okvirnih programa istraživanja. Puno Europskih tvrtki već prepoznaju tu industrijsku ekologiju i posebno industrijsku simbiozu.

c) Otpornost

Izbijanje pandemije COVID 19 omogućilo je pojavi u kojoj industrija može uvelike doprinjeti otpornosti društva, omogućujući održavanje proizvodnje te da radnici i dalje mogu ostati na svojim radnim mjestima. Izgradnja otpornijeg i u budućnosti spremnijeg EU gospodarstva omogućit će prevladavanje krize COVID-19. Uz pomoć za oporavak i otpornost Europska komisija želi podržati zemlje EU-a u reformskim naporima za održivim oporavkom. Provođenjem reformi te ulaganjem u zelene, digitalne i socijalne „otpornosti“ omogućiti će održivom rastu, oporavku i stvaranju novih radnih mjesta. Putem Europskog instrumenta oporavka popularnog naziva „Next generation“ izvršiti će se financiranje zemalja članica EU u iznosu od 750 milijardi eura, pri kojemu za pristup sredstvima države članice moraju definirati planove, te reforme i ulaganja. U prethodno navedenom kontekstu, EU komisija je također dala prioritetnu važnost za jačanje strateške autonomije Unije u područjima poput strateških lanaca vrijednosti. Također predlaže izradu novih strateških investicijskih instrumenata za ulaganje u vrijednosne lance ključne za buduću otpornost Europe i stratešku autonomiju u kontekstu zelene i digitalne tranzicije. Industrija će definitivno imati prioritetnu ulogu u prijelazu na otpornije održivo društvo koje je usmjereno na čovjeka, te će koordinacija i suradnja između industrije i država članica na europskoj razini omogućiti uspješan izlazak iz krize izazvane COVIDom-19. Iako su teška vremena, ona su prisutna u industriji s jedinstvenom prilikom za ulaganje u prijelaz na "novu normalu" Industrije 5.0. Kao što je pokazano, tranzicija prema Industriji 5.0 već je započela. Broj tekućih projekata u Obzoru 2020. u stvarnosti uvelike doprinose razvoju ovog koncepta. Koraci koji su dio alata za ostvarenje Industrije 5.0:

- Povećana svijest u industriji i EU socijalnih partnera, što omogućuje konsolidaciju i promicanje koncepta industrije 5.0. U tu svrhu priprema se info-grafika i namjenska web stranica predstavljanja glavnih elemenata koncepta.

- Implementacija tehnologija potrebnih te organiziranje virtualnih radionica o novim tehnologijama za industriju 5.0. Njegovi glavni ishodi uzimaju se u obzir u pripremi prvog programa Horizon Europe, posebno unutar klastera 4.
- Identifikacija postojećih akcija i prilika za razvoj industrije 5.0 diljem Europe, uključujući akcije za poticanje uključive tehnologije difuzije.
- Provjera prepreka u regulativama, slijedeći načelo inovacije relevantnih za industriju 5.0. Gdje je prikladno, predložiti inovaciju regulatornih sandbox-ova koji pomažu u prevladavanju takvih prepreka.
- Istraživanje otvorenih inovacija i testiranje novih oblika dijeljenja istraživanja i rezultati inovacija (na primjer, Manifest Europske komisije za EU istraživanje COVID-19).
- Davanje u prioritetima značajki Industrije 5.0 kao vodećih načela za razvoj zajedničkih tehnoloških planova u okviru strateške Inovacijske agende, kao što je spomenuto u novom Europskom istraživačkom prostoru komunikacija.
- Dosegnuti neke druge politike. Prijelazom u Industriju 5.0 morati će se mijenjati mnoge druge politike poput onih socijalnih, obrazovnih, industrijskih ili energetskih.

Najvažnije obilježje Industrije 5.0 je prijelaz žarišta s tehnologije na pristup u cijelosti usmjeren prema čovjeku. U stvarnosti to znači da industrija treba uzeti u obzir društvena ograničenja, a ne ciljano ostaviti bilo koga iza sebe. To ima za brojne posljedice po pitanju sigurne i motivirajuće radne sredine, te poštovanje ljudskih prava i kompetencije zahtjeva za radnike.

a) Nova uloga za djelatnike u industriji

Uloga radnika u industriji znatno se mijenja u Industriji 5.0., te ga se ne smije smatrati 'troškom', već prije svega 'investicijom' za tvrtku, omogućujući i tvrtki i radniku da se razvijaju, pri kojemu poslodavac mora biti zainteresiran za ulaganje u usavršavanje svojih zaposlenika, za postizanje boljih rezultata u poslovanju. Takovim pristupom ljudski kapital se više valorizira i cijeni, te je važan preduvjet za industriju 5.0 da tehnologija služi ljudima a ne obrnuto. Radnici obavezno moraju biti uključeni u projektiranje i uvođenje novih industrijskih tehnologija, prije svega robotiku i umjetnu inteligenciju. Horizon 2020 projekti su financirani s ciljem suradnje ljudi i strojeva, dok je Projekt Factory2Fit u kojima su radnicima dati veći utjecaj i odgovornost u definiranju proizvodnog procesa pomoću virtualnih sredstava.

U skladu s tim, napravljena je virtualna tvornica za testiranje i daljnji razvoj ideje na sastancima s radnicima i ostalim djelatnicima, te su rezultati projekta pokazali pozitivan utjecaj na produktivnost i motiviranost radnika. Ovakvi projekti omogućuju povezivanje automatizacije s

ljudskim znanjem i kvalifikacijama, čime se jača centralizirani pristup prema čovjeku. Kao drugi primjer, razvijena je tipologija Operator 4.0, koji ima za cilj povećati mogućnosti radnika u industriji bez uporabe robota. Ova tipologija uključuje 8 proširenih operatera: Operator super snage (operator + egzoskelet), Augmented Operator (operator + uvećana stvarnost), Virtualni operator (operator + virtualna stvarnost), Zdravi operator (operator + nosivi uređaj za praćenje), pametniji operator (operator + inteligentni osobni pomoćnik), kolaborativni operater (operator + kolaborativni robot), društveni Operator (operator + društvene mreže), te Analitički operator (operator + Big Analitika podataka). Ovim pristupom ljudi ostaju u središtu procesa proizvodnje, a tehnologija maksimizira koristi i za tvrtku i za radnika.

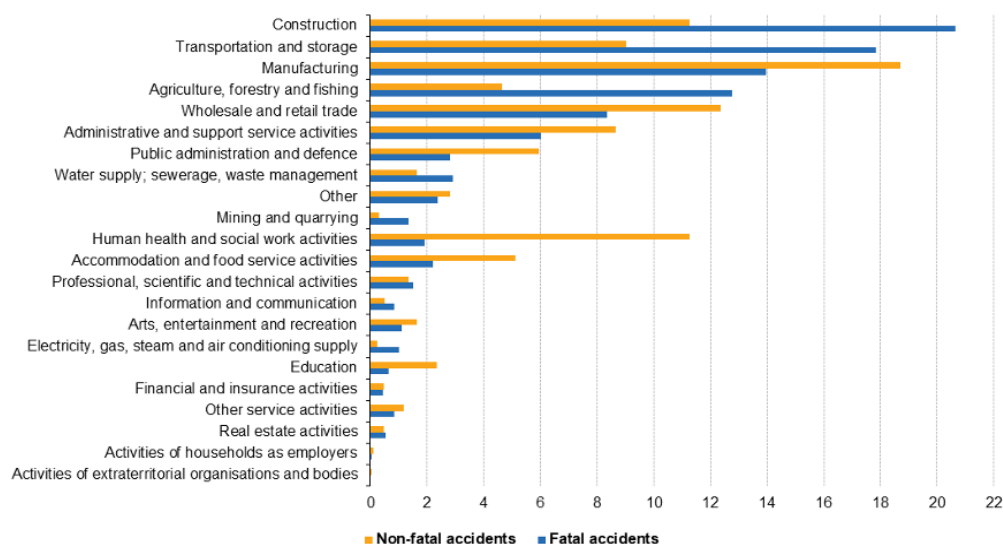


Slika 8. Tipologija Operator 4.0

b) Sigurna i stimulativna radna okolina

Gubitak radnih mjesta jedan je od bojazni uvođenja novih tehnologija. Pravilnom uporabom, nove tehnologije imaju potencijal za uspjeh tj. da su radna mjesta stimulativna i sigurnija za radnike, kao i za povećanje broja radnih mjesta. Eurostat podaci o nezgodama na radnom mjestu govore da su sektori u kojima se događaju nesreće sektori u kojima se najviše obavljaju složeni i kompleksni zadaci, te se isti mogu relativno lako automatizirati, uvelike smanjujući broj nezgoda na radnom mjestu, pogotovo one koje imaju za posljedicu smrt radnika. Trenutačni broj nezgoda na radnom mjestu je znatna: u 2017. bilo je 3,3 milijuna nesreća bez smrtnog

ishoda (2/3 žrtava nesreće bili su muškarci), kao i više od 3500 smrtno stradalih slučajeva nezgoda.



Note: non-fatal (serious) accidents reported in the framework of ESAW are accidents that imply at least four full calendar days of absence from work. Ranked on the values for fatal accidents.
Source: Eurostat (online data codes: hsw_n2_01 and hsw_n2_02)

eurostat

Slika 9. Tragične i ne tragične nezgode na radu, EU-28, 2017. (izvor: eurostat)

Umjetna inteligencija te alati virtualne i proširene stvarnosti, mogu pomoći radniku da ispuni više specijaliziranih zadataka, što zahtijeva njegovu posebnu stručnost i obuku. Kriza Covid-19, zbog mjera fizičkog distanciranja pri čemu je u opasnost dovedeno funkcioniranje mnogih industrija, izričito je pokazala potencijal digitaliziranog daljinskog rada. Prilikom projektiranja digitaliziranih radnih mjesta, potrebno je uzeti u obzir i mentalno zdravlje radnika te boljitak pri čemu se sve ne svodi samo na njegovo osiguranje i podršku fizičkom zdravlju u radnom okruženju. Zbog postojanosti rizika povezanih s digitaliziranim načinima rada, digitalne tehnologije mogle bi se koristiti za podršku radnicima u boljem nadzoru i upravljanju rizicima i utjecajem novog radnog okruženja na njihovo mentalno zdravlje i dobrobit. Uporaba novih tehnologija i digitalnih rješenja u pogledu kulture mentalnog zdravlja zaposlenika mogla bi vjerojatno donijeti koristi i uštede tvrtkama i industriji na povećanju produktivnosti i izbjegavanju dugotrajnih bolesti i odsutnosti. Oko 1 trilijun američkih dolara godišnje se očitava u izgubljenosti produktivnosti uzrokovanih depresijom i anksioznošću zaposlenika (podaci prema WHO-svjetska zdravstvena organizacija). Važan element koji treba uzeti u obzir kod projektiranja pametnih radnih mjesta su potencijalne predrasude koje treba ublažiti a to su razvoj tehnologija koje pokreću umjetnu inteligenciju koje se koriste u proizvodnim procesima.

c) Kompetencije, usavršavanje i prekvalifikacije

Industrije u EU se uvelike bore s nedostatkom kompetencija i vještina svojih djelatnika na koje institucije za obrazovanje i obuku nemaju rješenja, posebno za stručnu razinu i zahtjeve za digitalnim vještinama. Mladi ljudi se ne osjećaju dovoljno sposobnim i kompetentnim za buduće tržište rada. Razvoj novih tehnologija mogao bi biti rješenje za neusklađenost kompetencija, te bi bile intuitivnije i lakše za uporabu, tako da radnicima ne bi bile potrebne posebne kompetencije. Projekti Horizont 2020 SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing) i SAIS (Skills Alliance for Industrial Symbiosis) već obuhvaćaju ovaj pristup. Važno je napomenuti da je nemoguće osigurati usavršavanje svakog pojedinca u industriji. Neke će kompetencije uz povećano uvođenje automatizacije neizbježno postati zastarjele te će biti neophodno olakšati promjenu kvalifikacija nekih radnika što se često se odnosi na digitalne kompetencije npr. umjetnu inteligenciju. Obavezno je napomenuti da ljudi moraju imati osnovno razumijevanje načina na koji umjetna inteligencija funkcionira kao i moguće prednosti i ograničenja iste. Kako bi ljudi zadržali kontrolu nad ovom moćnom tehnologijom, ovo bi bio prvi uvjet. Digitalne vještine nisu jedine vještine za radnike u industriji 5.0, te postoji top 10 vještina koje će biti potrebne u budućoj proizvodnji. Samo četiri odnose se na digitalne vještine: "digitalna pismenost, AI i analitika podataka", "rad s novim tehnologijama", "cyber sigurnost" i "usmjerenost na podatke". Preostale vještine su više transverzalne vještine povezane s kreativnošću, poduzetnošću, fleksibilnošću i otvorenim umom razmišljanja (slika 10.).

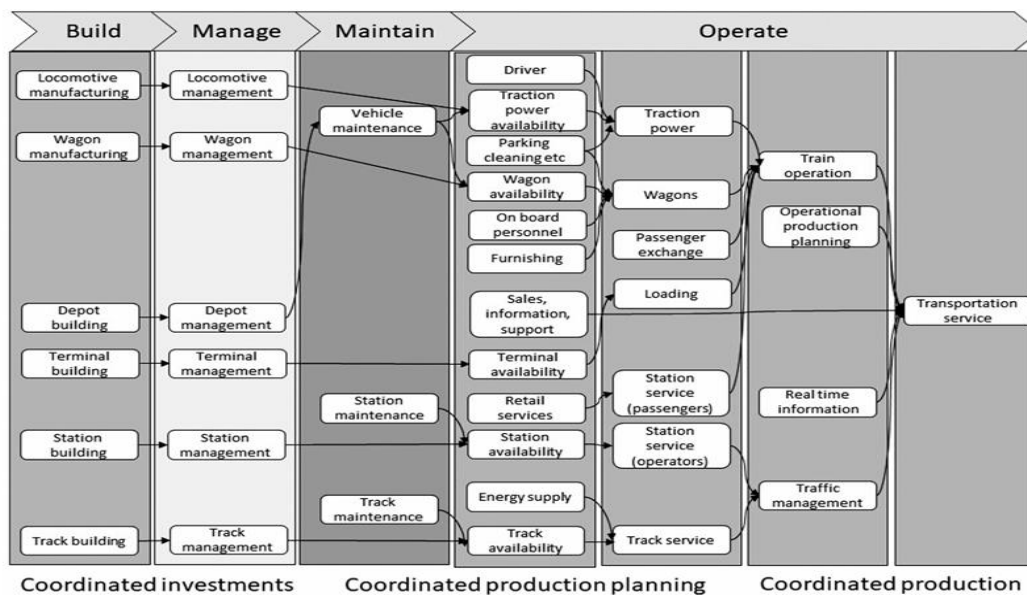


Slika 10. Deset kompetencija Svjetskog proizvodnog foruma za budućnost proizvodnje

4. ANALIZA PRIMJENE INDUSTRIJE 4.0/5.0 U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

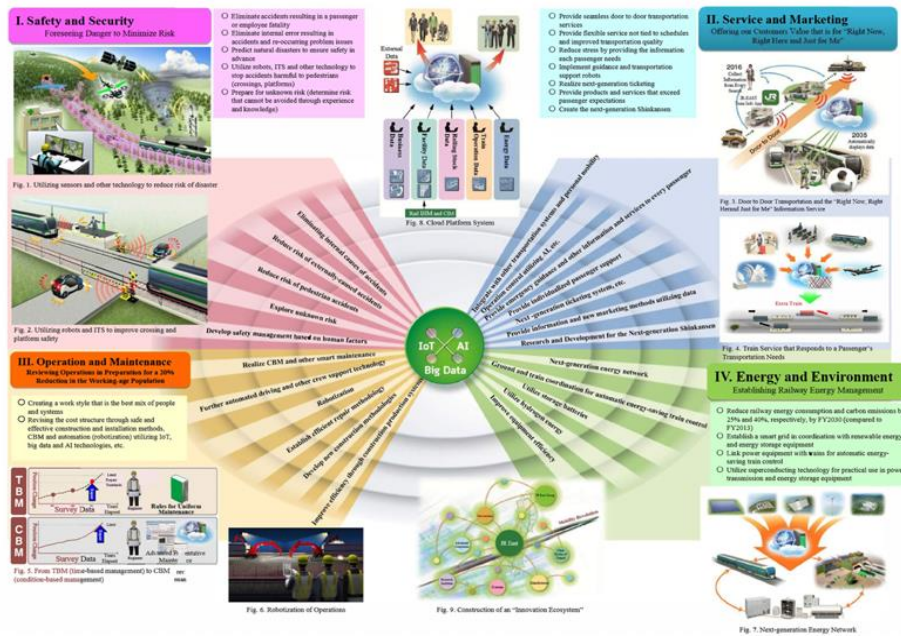
U nastavku će se na nekoliko primjera nekoliko znanstvenih istraživanja navesti primjeri uporabe Industrije 4.0/5.0 u željezničkom prometu u Europi i svijetu. Digitalizacija i inovativne tehnologije postaju neizostavni alati za očekivanu i željenu transformaciju opskrbnog lanca, te omogućuju optimiziranje kapaciteta, jačanje performansi, poboljšanje kvalitete i osiguravaju fleksibilnost cijelog lanca. Digitalna transformacija procesa i implementacija novih tehnologija koje se zajednički nazivaju Industrija 4.0 ne moraju se isključivo provoditi sustavom "sve ili ništa". Modularnost inteligentnih logističkih rješenja osmišljenih prema principima kibernetičko-fizičkih sustava omogućuje postupnu transformaciju cijelog lanca. Prometni sektor Europske unije važan je element u izgradnji cjelokupnog tržišta. Glavni zadatak teretnog prometa je kretanje robe od dobavljača do kupca. Digitalna transformacija poduzeća, kao i automatizacija proizvodnje izgrađeni su prema normi i potrebi. Ne radi se samo o širenju proizvoda, već prije svega o održivosti svih procesa što je bitan zahtjev u transportu. Najbrži način za povećanje radne učinkovitosti je automatizacija postojećih procesa korištenjem najsvremenijih tehnologija optimiranja poslova i upravljanja. Automatiziranje procesa razmjene podataka učinkovit je način za pojednostavljenje komunikacije i promicanje glatkog odvijanja pojedinačnih operacija unutar opskrbnog lanca. Digitalizacija i automatizacija poslovnih procesa pomaže zaposlenicima olakšati rad i prije svega pozitivno utječe na rezultate tvrtke [39].

U radu [40] cilj je bio opisati nove poslovne prilike unutar švedske željezničke industrije i podržati razvoj poslovnih modela koji odgovaraju potrebama i zahtjevima Industrije 4.0, označene kao Upravljanje uslugama 4.0. Studija je detaljna i opisna slučaja švedskog željezničkog sustava s posebnim fokusom na održavatelja željezničkih vozila. Javna izvješća, statistike, interni dokumenti, intervjui i dijalози čine osnovu za empirijske nalaze koji opisuju složeno poslovno okruženje deregulirane željezničke industrije. Glavni nalazi su u obliku identificiranih poslovnih prilika i prijedloga novih poslovnih modela za jednog od ključnih aktera, održavatelja vozila. Zaključci u radu pružaju razumijevanje razvoja poslovne strategije unutar složenih poslovnih okruženja kako bi poslovni modeli povezani s održavanjem mogli biti razvijeni za dostizanje Service Management 4.0 (Slika 11.).



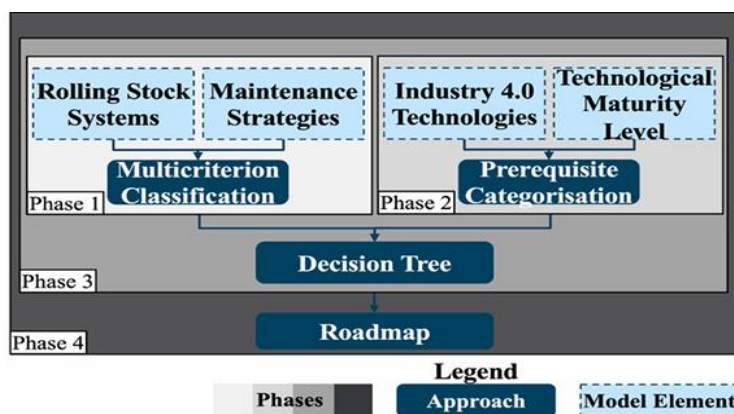
Slika 11. Željeznički sustav kraljevine Švedske [40]

Posljednjih su se godina željeznički sustavi diljem svijeta suočili s izazovima poput modernizacije inženjerskih projekata, učinkovitog upravljanja inteligentnom digitalnom željezničkom opremom, brzog rasta zahtjeva za putničkim i teretnim prijevozom, prilagođenih prijevoznih usluga i sveprisutne sigurnosti prijevoza. Transformacija prema inteligentnoj digitalnoj transformaciji u željeznici pojavila se je kao učinkovit odgovor na velike izazove s kojima se željeznička industrija suočava, čime je postala neizbježan globalni trend u razvoju željeznice. Istraživanje [41] provodi sveobuhvatnu analizu trenutnog stanja globalne inteligentne digitalne transformacije željeznice, fokusirajući se na karakteristike i primjene te tehnologije, sažima i analizira relevantne tehnologije i primjenjive scenarije u tom području, teoretski razjašnjavajući razvojne procese i, u praksi, pružajući smjernice i empirijske primjere za inteligenciju željeznice i digitalnu transformaciju. Digitalne i inteligentne tehnologije slijede valoviti obrazac kontinuirane iterativne evolucije, napredujući od ranih faza do razdoblja sve veće pozornosti i popularnosti, zatim do faze pada interesa, nakon čega slijedi ponovni porast i konačno dostizanje zrele faze. Rezultati rada nude referencu i smjernice za potpuno iskorištavanje prilika koje pruža najnoviji val revolucije digitalizacije, ubrzanje sveukupne nadogradnje željezničke industrije i promicanje globalnog suradničkog razvoja u inteligentnoj digitalnoj transformaciji željeznice. Nadalje, željeznički operateri suočavaju se s izazovom sve veće složenosti i očuvanja dostupnosti putničkog voznog parka, stavljajući održavanje i posebno nove tehnologije u fokus.



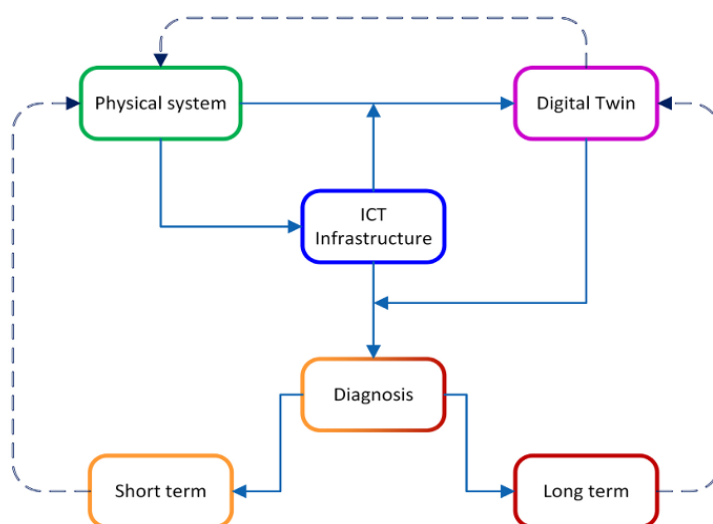
Slika 12. Vizualni okvir i smjer za tehnološke inovacije japanskih željeznica [41]

Istraživanje [42] predstavlja model odabira i implementacije tehnologija Industrije 4.0 u održavanju željezničkih vozila. Model se sastoji od različitih faza i uzima u obzir glavne komponente željezničkog vozila, povezane odgovarajuće strategije održavanja i tehnologije Industrije 4.0 uzimajući u obzir razinu zrelosti željezničkih operatera. Identificirani su relevantni kriteriji i glavni preduvjeti tehnologija. Model predlaže relevantne aktivnosti i potvrdili su ga stručnjaci iz industrije. Željeznička industrija kreće u usvajanje ovog novog modela industrije. Novi vlakovi dizajnirani su, proizvedeni i održavani prema metodologiji Industrije 4.0, ali većina trenutačnih vlakova u pogonu nije projektirana s ovom tehnološkom filozofijom, pa joj se moraju prilagoditi.



Slika 13. Model implementacije tehnologije Industrije 4.0 [42]

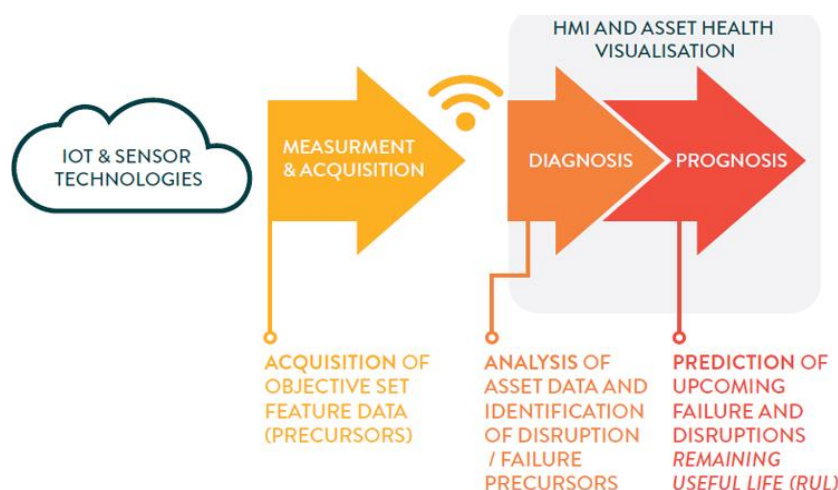
U radu [43] predložena je nova metodologija za prilagodbu brzog vlaka Industriji 4.0. Na taj način, vlak proizveden prije ove nove paradigme može iskoristiti prednosti održavanja 4.0. Ova se metodologija temelji na četiri faze (fizički sustav, digitalni blizanac, infrastruktura informacijske i komunikacijske tehnologije i dijagnoza) koje obuhvaćaju potrebne procese za digitalizaciju željezničkog vozila i koji međusobno dijele informacije. Opisuju se karakteristike koje moraju ispunjavati sustavi za prikupljanje podataka i komunikaciju, kao i originalne tehnike obrade signala razvijene za analizu vibracijskih signala. Ove tehnike omogućuju obradu eksperimentalnih podataka u stvarnom vremenu prema stvarnim zahtjevima održavanja. Metodologija se primjenjuje za određivanje radnih uvjeta okretnog postolja velike brzine kombiniranjem obrade signala stvarnih mjerenja vibracija tijekom normalnog rada vlaka i podataka dobivenih iz simulacija digitalnog blizanca (slika 14.).



Slika 14. Protok informacija u sustavu nadzora [43]

Kombinacija eksperimentalnih podataka i simulacije omogućuje uspostavljanje karakterističnih pokazatelja koji odgovaraju normalnoj vožnji vlaka i pokazatelja koji bi odgovarali anomalijama u ponašanju vlaka. Industrija 4.0 je koncept koji se odnosi na nove tehnologije koje duboko utječu na cijelu industriju, u svim sektorima. Razvoj tehnologija povezanih s internetom stvari (IoT) i inteligentnim sustavima vodi industriju prema digitalnoj transformaciji. U ovom scenariju, otvaraju se mnoge mogućnosti za sektor javnog željezničkog prijevoza, uglavnom za upravljanje imovinom, s obzirom na to da upravljanje imovinom predstavlja značajan dio napora i troškova operatera za održavanje komercijalne operacije. Rad

[44] predstavlja tradicionalne koncepte upravljanja imovinom koji se trenutno koriste u sektoru javnog željezničkog prijevoza, kao i neke mogućnosti za korištenje tehnologija Industrije 4.0 u ovom sektoru. Nadalje, predlaže se metodologija za implementaciju ovih mogućnosti, pri čemu se dinamična metodologija predlaže kao strategija implementacije, uzimajući u obzir analizu troškova i koristi, analizu rizika, plan projekta, plan implementacije i financijski plan. Očekuje se da ideje predstavljene u ovom radu mogu potaknuti druge sektore industrije da krenu prema Industriji 4.0, što je neizbježan trend i zasigurno će srednjoročno i dugoročno odrediti tko će preživjeti u sve konkurentnijem okruženju. Tehnologije Industrije 4.0 naširoko se koriste u željezničkoj industriji, fokusirajući se uglavnom na zadatke održavanja i kontrole potrebne u željezničkoj infrastrukturi. Slika 15. grafički prikazuje CBM (Condition-based Maintenance) proces i prediktivno održavanje.



Slika 15. CBM proces i prediktivno održavanje [44]

CBM i prediktivno održavanje su neprocjenjivi alati za optimizirano donošenje odluka o upravljanju imovinom, te će donijeti sljedeće prednosti: brža identifikacija i pravovremena kvalifikacija “propadanja” imovine; povećana dostupnost sredstava i optimizirana mogućnost održavanja za operatere; poboljšana pouzdanost i sigurnost sredstava, što dovodi do većeg povjerenja putnika i bolji ugled operatera; niži troškovi životnog ciklusa sustava.

Nadalje, istraživanje [45] predlaže model za željezničke operatere koji ih podržava u njihovim odlukama o implementaciji tehnologija Industrije 4.0 u održavanju željezničkih vozila. Model se sastoji od različitih faza i razmatra različite glavne mehaničke sustave zaliha kao i odgovarajuće strategije održavanja. Identificirani su relevantni kriteriji za odabir prikladne strategije održavanja za sustav željezničkih vozila korisnika modela. Osim toga, na temelju željeznice provodi se prilagođeni odabir novih tehnologija stupnjem tehnološke zrelosti

operatera. Sustavni pregled literature otkrio je tehnologije Industrije 4.0 koje su primjenjive za procese održavanja. Istraživanje doprinosi osposobljavanju željezničkih operatera za donošenje odluka u vezi s industrijom 4.0 integraciju tehnologije i time povećava učinkovitost procesa održavanja. Transport je sastavni dio svake tvrtke. U današnje vrijeme veliki je naglasak na korištenju ekološki prihvatljivih načina prijevoza pri kojemu željeznički prijevoz može prevoziti velike količine različite robe na velike udaljenosti. Kako bi željeznički promet u Slovačkoj mogao konkurirati ostalima načinimaa prijevoza, važno je da se elementi Industrije 4.0 primjenjuju u tehnološkom procesu na željezničkim stanicama. Cilj rada [46] je skretanje pozornosti na utjecaj uvođenja elemenata Industrije 4.0 u transportni proces u željezničkom prometu. Premisa istraživačkog zadatka temelji se na iskustvu s uvođenjem inteligentnih senzora u željeznički promet u nekim zemljama Europske unije. Na temelju analize korištenja informacijske i komunikacijske tehnologije u željezničkom prometu, u radu se provodi tehnološka ocjena izvedbe vagonске upravljačke jedinice u transportnom procesu s obzirom na brzinu obrade pošiljke u graničnom prijelazu. U posljednjih nekoliko godina, mnogi su se radovi bavili prediktivnim održavanjem (eng. Predictive Maintenance, PdM) korištenjem rješenja Machine Learning (ML) i Deep Learning (DL), posebice potonjeg, praćenjem i bilježenjem ponašanja industrijske opreme, poput vremenskog ponašanja i događaja grešaka, otkrivanjem anomalija u vremenskom nizu što se može dobiti iz zapisa koje generiraju senzori instalirani u različitim dijelovima industrijskog postrojenja. Rad [47] predstavlja pregled postojećih ML i DL tehnika za rukovanje PdM-om u željezničkoj industriji.

Nadalje, pametni gradovi i industrija 5.0 imaju potencijal za poboljšanje učinkovitosti i održivosti u industrijskim okruženjima, logistici i inteligentnom transportu, korištenjem naprednih tehnologija kao što je EU sustav upravljanja željezničkim prometom razine 3 u slučaju željezničke domene. Ova vrsta tehnologije omogućuje lokalizaciju vlakova i drugih željezničkih sredstava, što dovodi do poboljšane sigurnosti, pouzdanosti i kapaciteta na željezničkim prugama. U studiji [48] predlaže se sustav podrške bežične senzorske mreže (WSN) za upravljanje sastavom željeznice i integritetom koristeći tehnologiju Interneta stvari (IoT), posebno primjenjivu za teretni promet. Hardversko rješenje osmišljeno je za rad u ekstremnim uvjetima i sadrži sustav dinamičkog otkrivanja koji kombinira pristupe koji se temelje na dometu i pristupe bez dometa uz korištenje indikatora jačine primljenog signala (RSSI) kao indikatora pokrivenosti za pozicioniranje vlaka. Sustav je testiran u statičkim i dinamičkim scenarijima i pokazao je obećavajuće rezultate u slučaju korištenja u stvarnom svijetu. Moderni standardi dizajna Industrije 5.0 zahtijevaju tehnologije prediktivnog održavanja (PdM) kako bi se eksplicitno odgovorilo na potrebe donositelja odluka. Međutim,

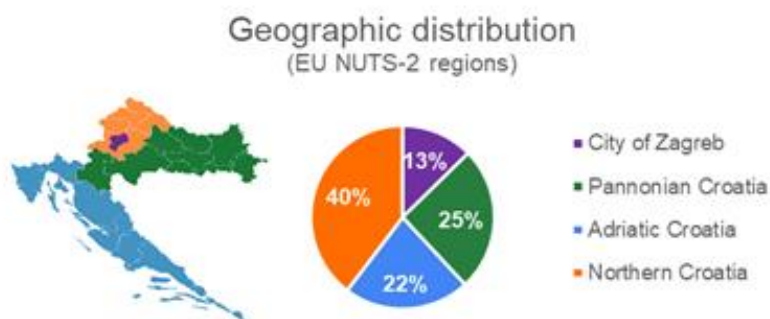
istraživanje PdM tehnika previdjelo je potrebe i važnost ljudskih donositelja odluka u implementaciji PdM-a i (ne)spremnost ljudi da prihvate ove napredne tehnologije u svojim radnim rutinama. U radu [49] se usvajaju vizije Industrije 5.0 i rješavaju problemi prihvatanja uzimajući pristup PdM-u usmjeren na čovjeka. Točnije, koristi se Smith-Carayon model radnog sustava za sintezu literature iz istraživačkih područja gdje su pokretači prihvatanja sustava detaljnije istraženi.

5. ANALIZA PRIMJENE INDUSTRIJE 4.0/5.0 U HRVATSKOJ

5.1. Analiza hrvatske prerađivačke industrije

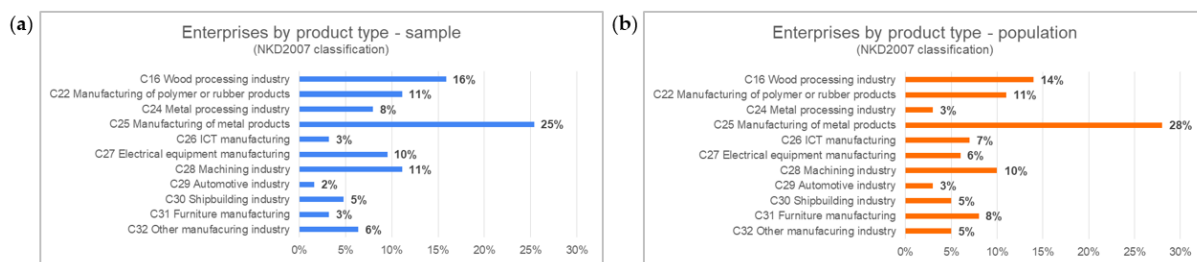
U svibnju 2022. hrvatskim industrijskim poduzećima u sektorima proizvodnje proizvoda od metala, drva i polimera poslan je on-line upitnik „Hrvatska prerađivačka industrija u odnosu na koncept Industrije 4.0/5.0“. Ostali sektori — industrija hrane i pića, farmaceutska industrija i industrija prerade minerala — namjerno su izbjegnuti, jer su ti sektori desetljećima imali visok stupanj automatizacije u svojim proizvodnim sustavima koji bi utjecali na rezultate na način da tehnološki napredak, pogotovo što se tiče automatizacije i robotike, izgleda puno bolje nego što stvarno jest. Podaci su prikupljeni 2 tjedna, a odgovorila su 63 poduzeća. Slična anketa vezana uz Industriju 4.0 provedena je 2015. godine. Tada je odgovorilo 155 poduzeća, ali su podaci prikupljeni 3 mjeseca. Međutim, istraživanje iz 2022. bilo je dvotjedno istraživanje.

Uzorak poduzeća imao je vrlo dobru geografsku distribuciju. Republika Hrvatska podijeljena je u četiri statističke regije po EU NUTS-2 podjeli. Uzorak industrijskih poduzeća sastavljen je na sljedeći način: 25% su poduzeća iz Jadranske Hrvatske, 22% iz Panonske Hrvatske, 40% iz Sjeverne Hrvatske i 13% iz Grada Zagreba (Slika 16.). Gledajući geografsku kartu ovih regija, distribucija se ne čini reprezentativnom. Međutim, mora se uzeti u obzir distribucija cijele proizvodne industrije. Istina je da jadranska i panonska Hrvatska pokrivaju više od 70% površine Hrvatske i da je samo 47% poduzeća u uzorku iz tih regija, no, slično kao u Italiji, najveći dio hrvatske prerađivačke industrije koncentriran je u sjevernoj Hrvatskoj i gradu Zagrebu. Jadranska Hrvatska više je posvećena turizmu, a Panonska poljoprivredi i ICT-u.



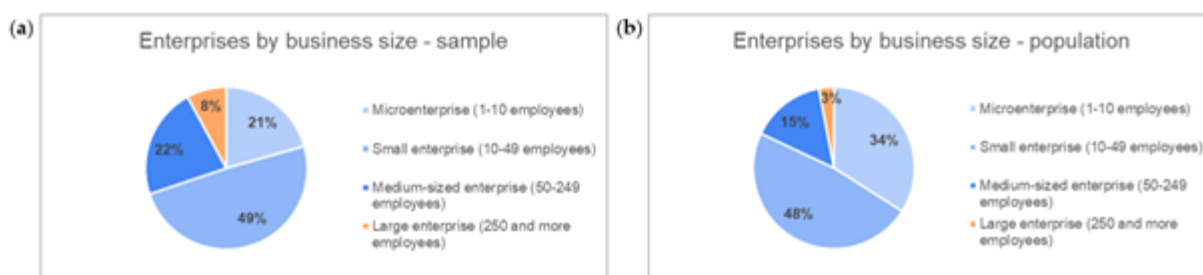
Slika 16. Geografska distribucija uzorka industrijskih poduzeća [38]

Uzorak poduzeća također dobro odražava distribuciju proizvodnih sektora. Proizvodni sektori podijeljeni su prema vrsti proizvoda prema NKD 2007 klasifikaciji Hrvatske. Vrste proizvoda od C17 do C21 uključujući C23 predstavljaju hranu i piće, farmaceutske proizvode i industriju prerade minerala, koji nisu bili dio ove analize. Uzorak je predstavljao oko 4% ukupnih poduzeća u ovim proizvodnim sektorima. Usporedba distribucije poduzeća u uzorku i ukupne populacije poduzeća prikazana je na slici 17. Razlika je jer se u ukupnoj populaciji nešto veći udio poduzeća bavi ICT proizvodnjom i proizvodnjom namještaja, ali sve ostalo je prilično slično.



Slika 17. Distribucija poduzeća prema vrsti proizvoda: (a) Uzorak poduzeća; (b) cjelokupna populacija poduzeća [38]

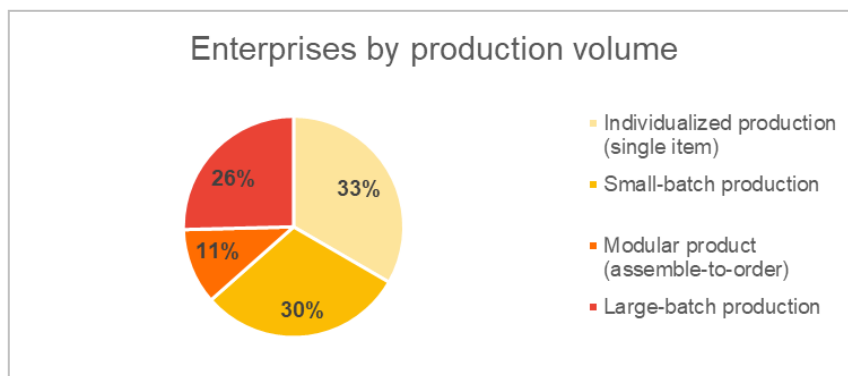
Sljedeći korak bio je validacija uzorka s obzirom na veličinu poslovanja poduzeća. I ovaj je kriterij pokazao da je uzorak poduzeća vrlo dobar (Slika 18.). U uzorku je veći udio velikih i srednjih poduzeća, dok je u stvarnosti broj mikropoduzeća veći. Međutim, omjer velikih poduzeća i malih i srednjih poduzeća (MSP) bio je vrlo sličan.



Slika 18. Distribucija poduzeća prema veličini poslovanja: (a) Uzorak poduzeća; (b) cjelokupna populacija poduzeća [38]

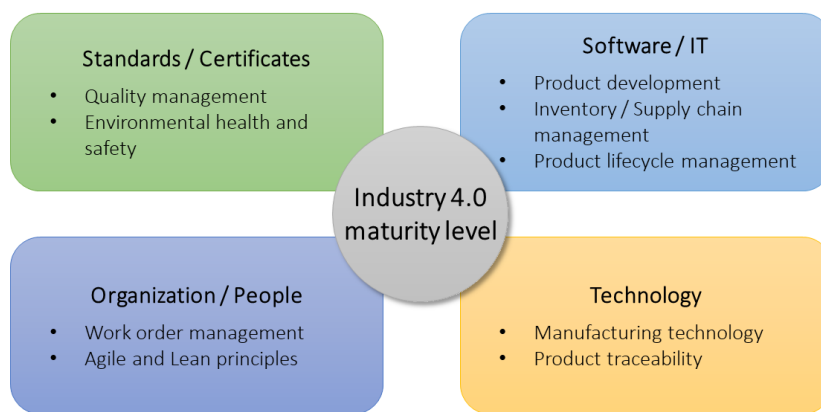
Još jedan zanimljiv podatak bila je distribucija poduzeća prema obujmu proizvodnje (Slika 19.). Samo 26% poduzeća iz uzorka bavilo se je proizvodnjom velikih serija; svi ostali bili su

usmjereni na individualiziranu, maloserijsku proizvodnju ili individualiziranu/maloserijsku modularnu proizvodnju. Međutim, budući da su poduzeća iz uzorka bila u proizvodnim sektorima vezanim za proizvode od metala, drva i polimera, važno je istaknuti da je velikoserijska proizvodnja u tim sektorima u Hrvatskoj predstavljala tek manjinu. Većina hrvatskih proizvodnih poduzeća iz ovih sektora izrađuje proizvode za već poznate kupce. Međutim, češće su u odnosima između poduzeća i poduzeća nego u odnosima između poduzeća i potrošača.



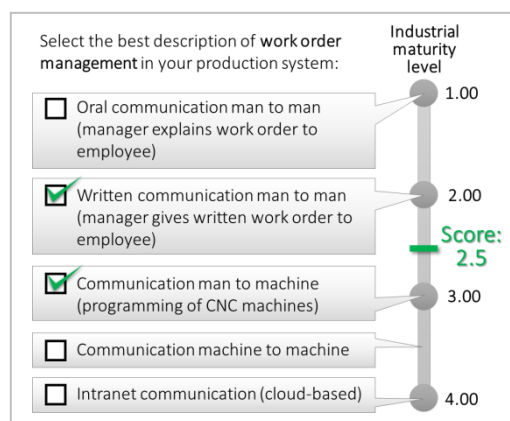
Slika 19. Distribucija poduzeća prema obujmu proizvodnje [38]

Što se tiče metodologije, on-line upitnik mora obuhvatiti sve važne aspekte tehnologije, organizacije i zaposlenika poduzeća. Dizajnirati takav upitnik uvijek je izazov, jer broj i detalji pitanja mogu predstavljati problem. Ako se postavlja previše pitanja i traži previše detalja, upitnik će oduzimati puno vremena, a samo će mali broj upitanih poduzeća biti voljan odgovoriti na njega. S druge strane, ako je broj pitanja premali, bit će teško dobiti cjelovitu sliku o tehnologiji, organizaciji i zaposlenicima poduzeća. U ovom istraživanju, na temelju iskustva s prethodnim upitnikom iz 2015. godine, osmišljen je upitnik koji pokriva sljedeće dimenzije (Slika 20.): razvoj proizvoda, proizvodna tehnologija, upravljanje radnim nalogima, sljedivost proizvoda, upravljanje zalihama/lancem nabave, životni ciklus proizvoda upravljanje, upravljanje kvalitetom, dinamični i lean principi, zdravlje i sigurnost okoliša. Slične vrijednosti obuhvaćene su analizama Veža i sur. [52] i Horvat i sur.[53].



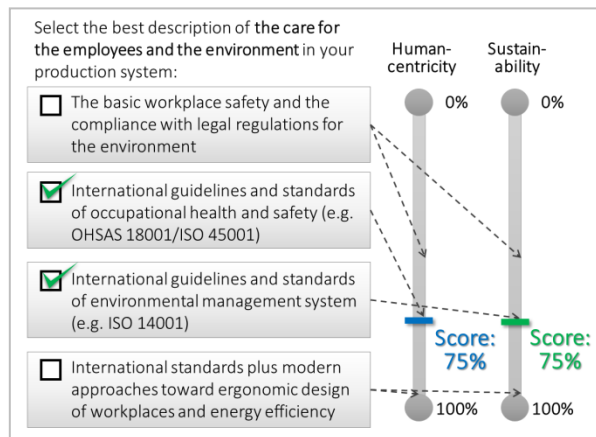
Slika 20. Dimenzije poduzeća obuhvaćene upitnikom [38]

Sljedeća važna stvar bio je model bodovanja, odnosno kako su se ocjenjivali odgovori na pitanja s obzirom na Industriju 4.0. U ovom istraživanju korišten je isti model bodovanja kao u prethodnom upitniku iz 2015. godine [52]. U tom je modelu svaka opcija (odgovor) u pitanju korelirala s nekom industrijskom generacijom, odnosno s jednom od četiri industrijske revolucije, ili je bila između dvije industrijske generacije. Kao odgovor moglo se je odabrati više opcija, a bodovanje takvih pitanja bila je prosječna vrijednost odabranih opcija (Slika 21.). Ovaj pristup korišten je za procjenu razine industrijske zrelosti poduzeća u korelaciji s Industrijom 4.0.



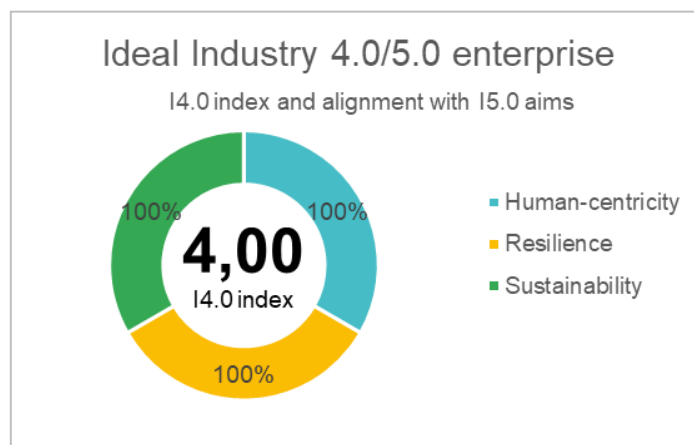
Slika 21. Primjer modela bodovanja za razinu industrijske zrelosti s obzirom na Industriju 4.0 [52]

Što se tiče Industrije 5.0, mogao bi se koristiti sličan pristup bodovanju, ali s drugačijim ishodom. Ishod, odnosno rezultat, nije bio na ljestvici od 1,0 do 4,0, već od 0% do 100%. Ipak, mjerena su tri različita kriterija koji predstavljaju ciljeve Industrije 5.0: usmjerenost na čovjeka, otpornost i održivost. Neka su se pitanja ticala samo jednog kriterija, a neka dva ili sva tri kriterija. Primjer takvog bodovanja prikazan je slikom 22.



Slika 22. Primjer modela bodovanja za usmjerenost na čovjeka i održivost s obzirom na industriju 5.0 [38]

Ukupna razina industrijske zrelosti ili indeks I4.0 za poduzeće bio je prosjek rezultata za sva pitanja. Na isti način, ukupni ciljevi I5.0 bili su prosječne vrijednosti za sva pitanja. To je značilo da je maksimalni rezultat bio 4,00 za indeks I4.0 i 100% za svaki cilj I5.0 (usredotočenost na čovjeka, otpornost i održivost). Poduzeće s takvim rezultatom bilo bi idealno poduzeće Industrije 4.0/5.0 (Slika 23.).

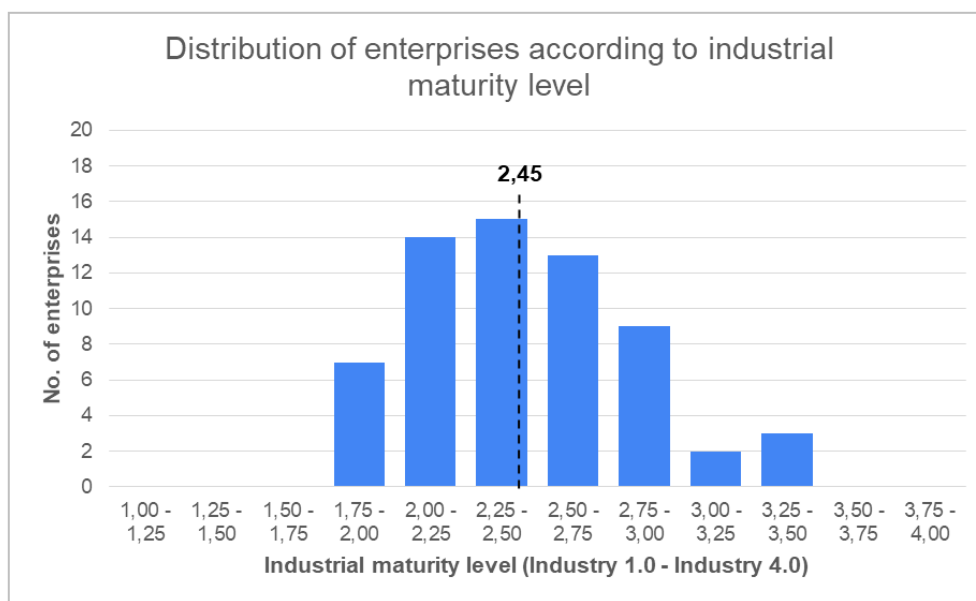


Slika 23. Primjer indikatora za idealno poduzeće Industrije 4.0/5.0 [38]

Metodologija korištena u ovom istraživanju nije bila idealna; međutim, predstavljala je dobru ravnotežu između jednostavnosti dizajna upitnika i složenosti zastupljenih pitanja. Kao što je spomenuto, da je upitnik predugačak i detaljan, samo bi nekoliko ljudi bilo spremno odgovoriti na njega, što bi rezultiralo lošim uzorkom poduzeća. U ovom slučaju upitnik je rezultirao reprezentativnim uzorkom; stoga bi se mogla napraviti cjelovita analiza i prezentirati rezultati.

5.2. Rezultati analiza hrvatske prerađivačke industrije

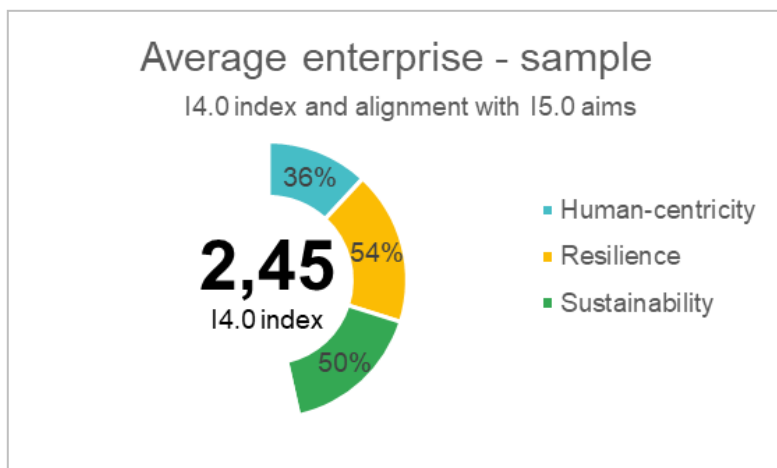
Prikaz rezultata analize aktualnog stanja hrvatske prerađivačke industrije prikazan je u dva dijela. Prvi dio je prikaz ukupnih pokazatelja za hrvatsku prerađivačku industriju. Drugi dio je prezentacija “naj” poduzeća iz svake od četiri statističke regije Hrvatske. Ova četiri poduzeća se zatim međusobno uspoređuju. Slika 24. prikazuje distribuciju poduzeća prema stupnju industrijske zrelosti, pri čemu je 2,45 prosječna razina industrijske zrelosti (indeks I4.0) hrvatske prerađivačke industrije. Slika 24. također pokazuje da većina poduzeća još uvijek pripada Industriji 2.0, ali su neka od njih poduzela ozbiljne korake prema Industriji 3.0. Samo nekoliko poduzeća u uzorku i samo nekoliko desetaka poduzeća u cijeloj populaciji pripadaju Industriji 3.0 i kreću se prema Industriji 4.0.



Slika 24. Distribucija poduzeća prema stupnju industrijske zrelosti [38]

Što se tiče Industrije 5.0, odnosno napretka u postizanju ciljeva I5.0, rezultati analize prikazani su na slici 24. Prosječno hrvatsko proizvodno poduzeće imalo je indeks I4.0 2,45, a ostvarilo je 36% napretka u odnosu na cilj I5.0. usmjerenosti na čovjeka, 54% napretka u vezi s ciljem I5.0 otpornosti i 50% napretka u pogledu cilja I5.0 održivosti. Važno je napomenuti da je otpornost hrvatskih proizvodnih poduzeća visoka jer su većina njih mala i srednja poduzeća koja nemaju globalne opskrbne lance, a Hrvatska je geografski i demografski mala zemlja s malim poremećajima na tržištu. Dakle, možda nisu tako otporni kao što se čine. S druge strane, indeks

usmjerenosti na čovjeka bio je nizak, jer je prosječni zaposlenik imao manje od 5 dana obuke godišnje.



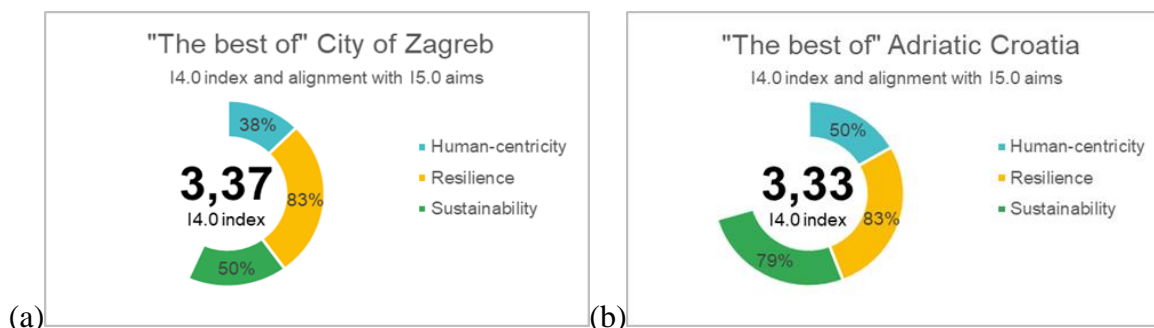
Slika 25. Prosječno poduzeće u hrvatskoj prerađivačkoj industriji—indeks I4.0 i usklađenost s ciljevima I5.0 [38]

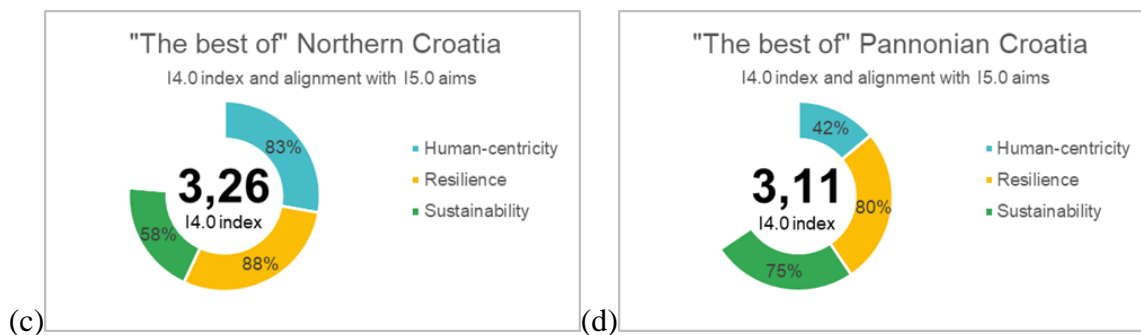
Tablica 2. Usporedba “najboljih” poduzeća iz svake od četiri NUTS-2 statističke regije Hrvatske [38]

Poduzeće	“The best of” City of Zagreb	“The best of” Adriatic Croatia	“The best of” Northern Croatia	“The best of” Pannonian Croatia
Veličina poduzeća	Mala poduzeća (10–49 zaposlenih)	Srednje poduzeće (50–249 zaposlenih)	Veliko poduzeće (250 ili više zaposlenih)	Srednje poduzeće (50–249 zaposlenih)
Vrsta proizvoda (NKD2007)	C25 Proizvodnja proizvoda od metala	C25 Proizvodnja proizvoda od metala	C25 Proizvodnja proizvoda od metala	C24 Metaloprerađivačka industrija
Proizvodnja veličina	Maloserijska proizvodnja	Velikoserijska proizvodnja	Maloserijska proizvodnja	Maloserijska proizvodnja
Elementi Industrije 4.0 u proizvodnom sustavu	(1) 3D scanning and 3D printing (2) Kolaborativni robot (3) Digital twin of inventory (4) Cloud computing and Big Data	(1) 3D scanning and 3D printing (2) Machine-to-machine (M2M) communication (3) RFID/barcode product tracking (4) Integration of information systems (PLM/ERP/MES)	(1) 3D scanning and 3D printing (2) RFID/barcode product tracking (3) Integration of information systems (PLM/ERP/MES)	(1) Integration of information systems (PLM/ERP/MES)
Usredotočenost na čovjeka, otpornost i održivost elemenata u proizvodnom	(1) Lean management principles (2) Human-robot collaboration (3) Digital twin	(1) Lean management principles (2) Product traceability (3) Product lifecycle management	(1) Lean management principles (2) EFQM excellence model (3) Product traceability	(1) Lean management principles (2) EFQM excellence model (3) Product lifecycle management

sustavu i poslovnom modelu	(4) Business intelligence	(4) Environmental management ISO 14001	(4) Product lifecycle management	(4) Environmental management ISO 14001
	(5) Environmental management ISO 14001		(5) Occupational health and safety OHSAS 18001/ISO 45001	
			(6) Employees have more than 15 days of training per year	

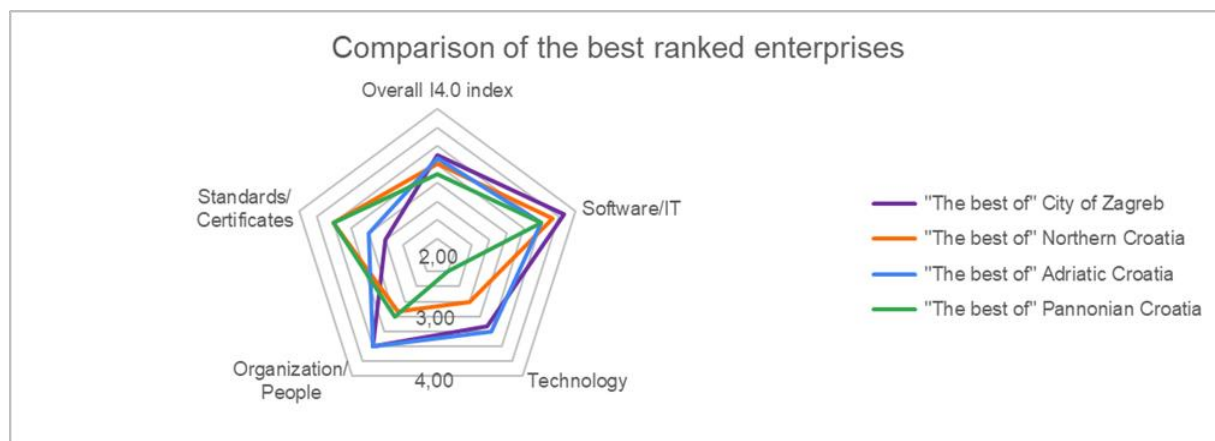
Slika 25. prikazuje indeks I4.0 i usklađivanje s ciljevima I5.0 za sva četiri poduzeća, s indeksom I4.0 u rasponu od 3,11 do 3,37. To znači da sva ova poduzeća pripadaju Industriji 3.0 i da su na putu prema Industriji 4.0. Što se tiče ciljeva I5.0, sva četiri poduzeća imala su sličnu otpornost, iznad 80%. Ali, kao što je spomenuto, to je samo zato što nisu toliko ovisni o globalnim opskrbnim lancima. Ocjene održivosti bile su visoke u kategorijama „The best of” Jadranske Hrvatske i „The best of ” Panonske Hrvatske jer su obje imale dobro upravljanje životnim ciklusom proizvoda i koristile standard upravljanja okolišem ISO 14001. Druga dva imala su nižu održivost, jer “The best of” Gradu Zagrebu nedostajalo je upravljanje životnim ciklusom proizvoda, a “The best of” Sjevernoj Hrvatskoj nedostajalo je upravljanje okolišem. Tri od četiri poduzeća imala su nizak napredak u usmjerenosti na čovjeka, jer im je nedostajalo usklađenosti sa standardima zdravlja i sigurnosti na radu kao što je OHSAS 18001/ISO 45001, a njihovi su zaposlenici imali manje od 15 dana obuke godišnje. S druge strane, “The best of” Sjeverna Hrvatska imala je te standarde i ulagala je u programe cjeloživotnog obrazovanja za svoje zaposlenike.





Slika 26. Indeks poduzeća I4.0 i usklađivanje s ciljevima I5.0: (a) „The best of“ Grada Zagreba; (b) „The best of” Jadranske Hrvatske; (c) „The best of” sjeverne Hrvatske; (d) „The best of” Panonske Hrvatske

Slika 27. prikazuje usporedbu četiriju grupa dimenzija poduzeća—softver/IT, tehnologija, organizacija/ljudi i standardi/certifikati—za ova četiri poduzeća.



Slika 27. Usporedba četiri skupine dimenzija poduzeća „najboljih“ poduzeća iz svake od četiri NUTS-2 statističke regije Hrvatske

Poduzeća “The best of” Grad Zagreb i “The best of” Adriatic Hrvatska bila su tehnološki najnaprednija, koristeći najsuvremenije strojeve, uključujući kolaborativne robote. “The best of” Panonska Hrvatska imala je najgoru tehnologiju, a bila je na razini industrije 2.25. Ali to je veliko poduzeće, a ostala tri poduzeća su mala i srednja poduzeća, što još jednom dokazuje da mala i srednja poduzeća mnogo lakše usvajaju nove tehnologije. S druge strane, tehnološki manje napredne “The best of” Sjeverna Hrvatska i “The best of” Panonska Hrvatska usvojile su mnogo više standarda/certifikata koji su očito potrebni za njihovo poslovanje. Još jedno otkriće koje se može istaknuti je da dok je “The best of” Sjeverna Hrvatska imala najveći

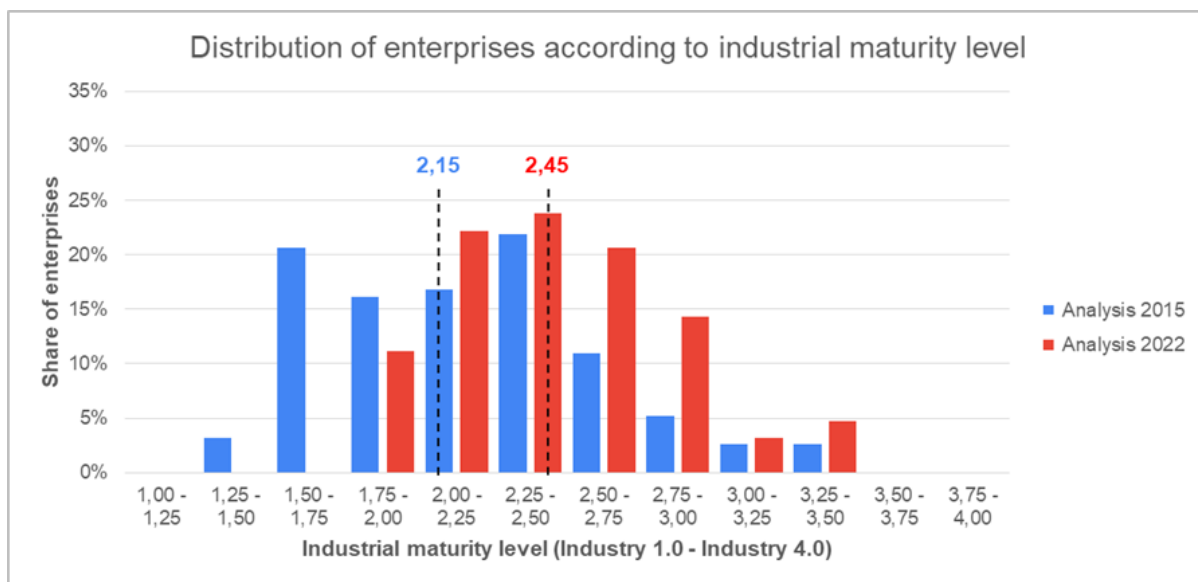
napredak usmjeren na čovjeka, s aspekta organizacije/ljudi, bila je slaba zbog velikog oslanjanja na usmenu umjesto dokumentirane ili digitalne komunikacije za upravljanje radnim nalogima.

5.3. Zaključci analize hrvatske prerađivačke industrije

U nastavku su rezultati analize detaljnije obrađeni i uspoređeni s rezultatima analize iz 2015. u kojima se Republika Hrvatska percipira kao turistička zemlja. Nedavno je postala jedno od najpopularnijih turističkih odredišta na svijetu, te je izabrana kao najbolja europska destinacija 2023. godine [54], te među 10 najboljih svjetskih destinacija za 2024. godinu [55]. No, Hrvatska nije samo turistička zemlja, jer je turizam samo jedan dio hrvatskog gospodarstva. U 2019., prije pandemije COVID-19, turizam je činio 41 posto hrvatskog izvoza i oko 20 posto hrvatskog BDP-a. Iste godine industrija je imala 49% udjela u hrvatskom izvozu i oko 20% hrvatskog BDP-a, a zapošljavala je oko 25% hrvatske radne snage. Kao i u mnogim drugim europskim zemljama, prerađivačka industrija je kamen temeljac hrvatskog gospodarstva. To se posebno pokazalo tijekom pandemije COVID-19, kada se turizam nije pokazao otpornim. Na kraju krajeva, malo ljudi Hrvatsku doživljava kao industrijsku zemlju. Međutim, prerađivačka industrija vrlo je važna za Hrvatsku; stoga su nalazi ovog istraživanja ključni za razumijevanje kamo ide hrvatska ista i koji su ključni koraci koje prerađivačka industrija mora poduzeti kako bi ostala konkurentna. Konkretno, većina poduzeća u hrvatskoj prerađivačkoj industriji još uvijek pripada Industriji 2.0 (Slika 23.), iako su neke nabavile neke stvari iz Industrije 3.0 (primjerice, CNC strojeve). Međutim, većina drugih tehnologija, npr. robotika i automatizacija, uvedena je samo u nekoliko proizvodnih poduzeća. Ali tehnologija nije jedini problem. Od 1980-ih, a posebno od 1990-ih, lean management kao organizacijski i liderski koncept vrlo je popularan u cijelom svijetu. U Hrvatskoj lean management nije uopće postao popularan, ali su ga u posljednjih 20 godina usvojila neka poduzeća [56]. Jedno od najuspješnijih i najpoznatijih hrvatskih poduzeća počelo je s uvođenjem lean menadžmenta [57] prije samo godinu dana! Ova pitanja postaju ozbiljna praznina za hrvatsku proizvodnu industriju. Nažalost, ove nalaze podupire i “RB Indeks spremnosti za industriju 4.0” [58] od 1,5 koji su za Hrvatsku izračunali konzultanti Roland Berger (na ljestvici od 1 do 5, gdje 1 predstavlja nisku spremnost, a 5 predstavlja visoku spremnost). Nadalje, Hrvatsku su uvrstili među “Okljevače”, skupinu zemalja koje oklijevaju ozbiljno ulagati u svoju proizvodnu industriju unatoč njezinom statusu važnog gospodarskog sektora.

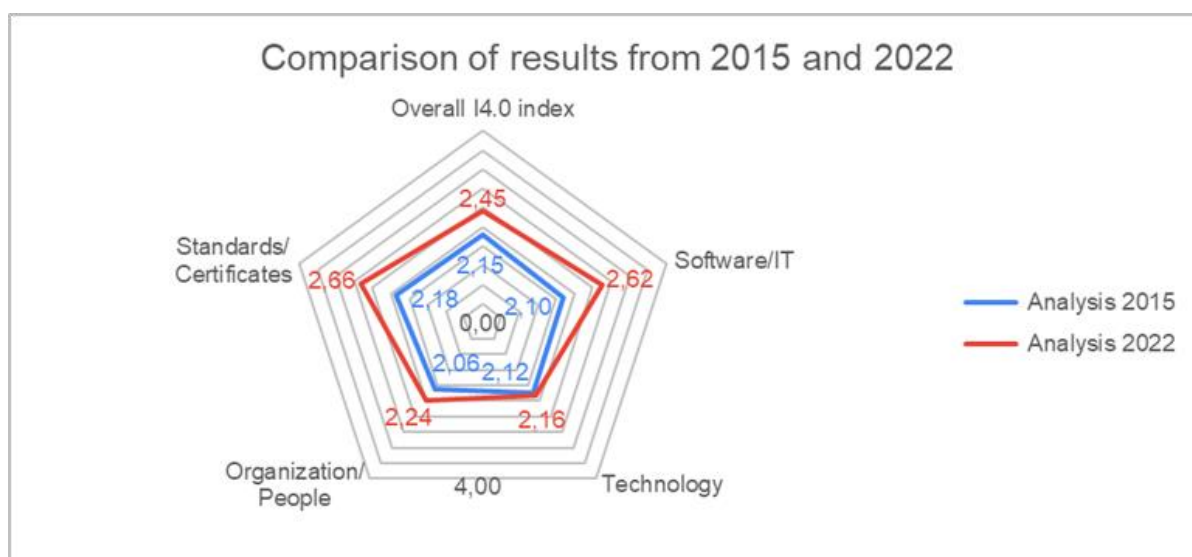
Usporedba analiza hrvatskih prerađivačkih industrija iz 2015. i 2022. pokazuje da je postignut određeni napredak u stupnju industrijske zrelosti (Slika 28.). Prosječna razina industrijske zrelosti hrvatskih prerađivačkih industrija bila je 2,15 u 2015., ali je porasla na 2,45 do 2022. Ali što je još važnije, kada se gleda na distribuciju poduzeća, sve je više poduzeća bliže Industriji 3.0. Čini se da je Industrija 3.0 u ovom trenutku najveće postignuće za proizvodna poduzeća u Hrvatskoj, budući da je samo desetak poduzeća iznad Industrije 3.0 i kreće se prema Industriji 4.0.

Kada se analiziraju četiri skupine dimenzija poduzeća—softver/IT, tehnologija, organizacija/ljudi i standardi/certifikati—može se otkriti važno pitanje. U slučaju hrvatske prerađivačke industrije, usporedba analiza iz 2015. i 2022. (Slika 28.) pokazuje da je najozbiljniji problem za hrvatska proizvodna poduzeća tehnologija. Ostala je na gotovo istoj razini 7 godina, a ta je razina bila tek nešto iznad Industrije 2.0. Čini se da su različite vrste CNC strojeva ostale vrhunska tehnologija za većinu poduzeća u Hrvatskoj. S druge strane, softver/IT i standardi/certifikati pokazali su najveća poboljšanja jer su se svi mogli lako kupiti. No, pitanje je koriste li se ispravno? Vjerojatno ne, jer nije bilo sličnog napretka u organizaciji/ljudima, što znači da su poduzeća kupovala softver i certifikate, ali nisu ubirala sve koristi od njih. Jedna od prednosti suvremenih ICT-a svakako je korištenje tehnologije digitalnih blizanaca. Međutim, digitalni blizanac identificiran je samo u jednom od pet najbolje rangiranih poduzeća, i to samo digitalni blizanac zaliha. Tehnologija digitalnih blizanaca može imati ozbiljan utjecaj na poboljšanje proizvodnih procesa i odgovarajućih poslovnih procesa. No, nedostatak načela lean upravljanja u hrvatskim proizvodnim poduzećima također sugerira nedostatak filozofije poboljšanja procesa, što otežava implementaciju tehnologije digitalnog blizanca.



Slika 28. Usporedba distribucija poduzeća prema stupnju industrijske zrelosti iz 2015. i 2022. godine

Analiza aktualnog stanja hrvatske prerađivačke industrije u 2022. dala je jasan uvid u sve probleme i nedostatke prosječnog proizvodnog poduzeća u Hrvatskoj. Ta se pitanja moraju ozbiljno razmotriti i obraditi u novoj industrijskoj strategiji Republike Hrvatske.



Slika 29. Usporedba četiri skupine dimenzija poduzeća i ukupnog indeksa I4.0 iz 2015. i 2022. godine

Budući da je jedano od glavnih problema hrvatske prerađivačke industrije zaostala tehnologija, mora se uspostaviti model državnog financiranja u kombinaciji s EU fondovima kako bi se

hrvatskim proizvodnim poduzećima pomoglo da prebrode ovaj ozbiljan jaz. U suprotnom, budućnost hrvatske prerađivačke industrije neće biti nimalo svijetla.

6. ZAKLJUČAK

Koncept Industrije 4.0, kao moderne proizvodne paradigme, osmišljen je za reindustrijalizaciju Europe i sprječavanje da se cijela industrija preseli na Daleki istok, prije svega u NR Kinu. Međutim, COVID-19 pandemija je pokazala da Industrija 4.0 premalo vodi brigu o ljudima, ali i okolišu, te neće pomoći Europi u ostvarenju politike Green Deal-a. Zbog toga nastaje koncept Industrija 5.0, koji veliki naglasak stavlja na ljude i okoliš. Primjeri uporabe Industrije 4.0/5.0 mogu se pronaći i u željezničkom prometu, dizajniranju te održavanju željezničkih vozila kako u Europi, tako i u svijetu. Istraživanja koja se izdvajaju su implementacija novih tehnologija i modela, te digitalna transformacija procesa u primjerima željeznica mnogih država. Uzimajući u obzir glavne komponente željezničkog vozila povezuju se odgovarajuće strategije održavanja i tehnologije Industrije 4.0. U Hrvatskoj se sve više primjenjuju elementi Industrije 4.0/5.0, ali sve više do izražaja dolazi tehnološka i organizacijska zaostalost naših poduzeća i na tome će trebati poraditi.

Tako kada je riječ o Hrvatskim željeznicama onda je u pitanju dvostruki izazov: primjena Industrije 4.0/5.0 u željezničkom prometu, te primjena Industrije 4.0/5.0 u hrvatskom okruženju. No, ipak postoje mogućnosti njene primjene. Tako Industrija 4.0/5.0 nalazi primjenu u istraživanju smanjenja tj. optimiranja troškova održavanja željezničkih vozila Hrvatskih željeznica (putnički vagoni prijevoz) gdje je s jedne strane velika količina podataka o zamjenskim dijelovima i ljudskim resursima („Big Data“), a s druge strane sve to stvara velike troškove. Primjena Industrije 4.0/5.0 mogla bi omogućiti voditelju procesa održavanja flote putničkih vagona donošenje strateških odluka prilikom planiranja resursa (pričuveni dijelovi, radna snaga) s obzirom na raspoloživa financijska sredstva te učinkovit način upravljanja voznom parkom uz kontrolu troškova ugradbenih dijelova te ljudskih resursa.

LITERATURA

- [1] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0; Heilmeyer und Sernau: Berlin, Germany, 2013.
- [2] The Nine Pillars of Industry 4.0 - Transforming Industrial Production. Available online: <https://circuitdigest.com/article/what-is-industry-4-and-its-nine-technology-pillars> (Accessed: 05/2024).
- [3] Luchtenberg D. (2022). The Fourth Industrial Revolution will be people powered. McKinsey & Company. Available online: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-fourth-industrial-revolution-will-be-people-powered> (Accessed: 05/2024).
- [4] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union, 2021.
- [5] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe. Publications Office of the European Union, 2022.
- [6] Xu, X.; Lu, Y.; Vogel-Heuser, B.; Wang, L. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *J. Manuf. Syst.*, 61, 530–535, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
- [7] Teixeira, J.E.; Tavares-Lehmann, A.T.C.P Industry 4.0 in the European Union: Policies and national strategies. *Technol. Fore-cast. Soc. Change*, 180, 121664, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121664>.
- [8] Klitou, D.; Conrads, J.; Rasmussen, M.; Probst, L.; Pedersen, B. Digital Transformation Monitor Italy: “Industria 4.0”; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2017.
- [9] Zhong, R.Y.; Dai, Q.Y.; Qu, T.; Hu, G.J.; Huang, G.Q. RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production, *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, 29, 283–292, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.08.001>.
- [10] Rocha, A.D.; Freitas, N.; Alemão, D.; Guedes, M.; Martins, R.; Barata, J. Event-Driven Interoperable Manufacturing Ecosystem for Energy Consumption Monitoring. *Energies*, 14, 3620, 2021. <https://doi.org/doi:10.3390/en14123620>.
- [11] Celent, L.; Mladineo, M.; Gjeldum, N.; Zizic, M.C. Multi-Criteria Decision Support System for Smart and Sustainable Manufacturing Process. *Energies*, 15, 772. <https://doi.org/doi:10.3390/en15030772>.

- [12] Wang, L.; Wang, G. Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. *Int. J. Eng. Manuf.*, 6, 1–8., 2016. <https://doi.org/10.5815/ijem.2016.04.01>.
- [13] Crnjac Zizic, M.; Mladineo, M.; Gjeldum, N.; Celent, L. From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. *Energies*, 15, 5221, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15145221>.
- [14] Zuehlke, D. Smart Factory—Towards a Factory-of-Things. *Annu. Rev. Control* 2010, 34, 129–138., 2010. <https://doi.org/doi:10.1016/J.ARCONTROL.2010.02.008>.
- [15] Saniuk, S.; Grabowska, S.; Gajdzik, B. Personalization of Products in the Industry 4.0 Concept and its impact on achieving a Higher Level of Sustainable Consumption. *Energies*, 13, 5895., 2020. <https://doi.org/10.3390/en13225895>.
- [16] Mladineo, M.; Crnjac Zizic, M.; Aljinovic, A.; Gjeldum, N. Towards a Knowledge-Based Cognitive System for Industrial Ap-plication: Case of Personalized Products. *J. Ind. Inf. Integr.*, 27, 100284, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100284>.
- [17] Gu, X.; Koren, Y. Mass-Individualisation—The twenty first century manufacturing paradigm. *Int. J. Prod. Res.*, 60, 7572–7587, 2022. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2013565>.
- [18] Lagorio, A.; Cimini, C.; Pinto, R.; Paris, V. Emergent Virtual Networks amid Emergency: Insights from a Case Study. *Int. J. Logist. Res. Appl.*, 26, 1124–1144, 2021. <https://doi.org/doi:10.1080/13675567.2021.2020227>.
- [19] T.H.J. Uhlemann, C. Schock, C. Lehmann, S. Freiburger, R. Steinhilper, The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems, *Procedia Manufacturing*, 9,113-120,2017.
- [20] D. Mavrikios, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Chryssolouris, On industrial learning & training for the Factories of the Future: A conceptual, cognitive & technology framework, *Journal of Intelligent Manufacturing, Special Issue on Engineering Education*, 24, 3, 473-485, 2013.
- [21] D. M. S. Velandia, N. Kaur, W. G. Whittow, P. P. Conway, A. A. West, Towards industrial internet of things: Crankshaft monitoring, traceability and tracking using RFID, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 41, 66-77, 2016.
- [22] S. Makris, G. Michalos, G. Chryssolouris, RFID driven robotic assembly for random mix manufacturing, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28, 3, 359-365,2012.
- [23] B. Gladysz, C. Lysiak, Light-responsive RFID Tags for Precise Locating of Objects in Manual Assembly Verification Workshops, *Procedia CIRP*, 41, 951-956,2016.

- [24] G.Q. Huang, Y.F. Zhang, P.Y. Jiang, RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 752-764, 2008.
- [25] A.V. Barenji, R. V. Barenji, M. Hashemipour, Flexible testing platform for employment of RFID-enabled multi-agent system on flexible assembly line, *Advances in Engineering Software*, 91, 1-11, 2016.
- [26] D. Brandl, What is ISA 95? Industrial Best Practices of Manufacturing Information Technologies with ISA-95 Models, http://www.apsom.org/docs/T061_isa95-04.pdf, Accessed: 03/10/2018
- [27] H. Ma, Y. Wang, K. Wang, Automatic detection of false positive RFID readings using machine learning algorithms, *Expert Systems with Applications*, 91, 442-451, 2018.
- [28] L. Tang, H. Cao, L. Zheng, N. Huang, Value-driven uncertainty-aware data processing for an RFID-enabled mixed-model assembly line, *International Journal of Production Economics*, 165, 273-281, 2015.
- [29] N. Gjeldum, M. Mladineo, M. Crnjac, A. Aljinovic, A. Basic, Performance analysis of the RFID system for optimal design of the intelligent assembly line in the learning factory, *Procedia Manufacturing*, 23, 63-68, 2018.
- [30] Mladineo M, Veza I, Gjeldum N, Crnjac M, Aljinovic A, Basic A. Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning Factory, *Procedia Manufacturing*, 31, 384-389, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.060>.
- [31] D. D. Arumugam, D. Engels, Impacts of RF radiation on the human body in a passive RFID environment, 2008 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, San Diego, USA, 1-4, 2008.
- [32] Javaid, M.; Haleem, A.; Singh, R.P.; Haq, M.I.U.; Raina, A.; Suman, R. Industry 5.0: Potential Applications in COVID-19. *J. Ind. Integr. Manag.*, 5, 507–530, 2020. <https://doi.org/10.1142/S2424862220500220>.
- [33] Müller, J. Enabling Technologies for Industry 5.0—Results of a Workshop with Europe’s Technology Leaders; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2020.
- [34] Paglia, V.; Smith, B.; Kelly, J.; Qu, D.; Pisano, P. Rome Call for AI Ethics. Available online: <https://www.romecall.org/the-call> (Accessed: 05/2024).
- [35] Renda, A.; Schwaag Serger, S.; Tataj, D.; Morlet, A.; Isaksson, D.; Martins, F.; Mir Roca, M.; Hidalgo, C.; Huang, A.; Dixson-Declève, S.; et al. Industry 5.0, a

- Transformative Vision for Europe; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2021.
- [36] Duggal, A.S.; Malik, P.K.; Gehlot, A.; Singh, R.; Gaba, G.S.; Masud, M.; Al-Amri, J.F. A sequential roadmap to industry 6.0: Exploring future manufacturing trends. *IET Commun.*, 16, 521–531, 2022. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12284>.
- [37] Celent, L.; Bajić, D.; Jozić, S.; Mladineo, M. Hard Milling Process Based on Compressed Cold Air-Cooling Using Vortex Tube for Sustainable and Smart Manufacturing. *Machines*, 11, 264, 2023, <https://doi.org/10.3390/machines11020264>.
- [38] Mladineo, M.; Celent, L.; Milković, V.; Veža, I. Current State Analysis of Croatian Manufacturing Industry with Regard to Industry 4.0/5.0. *Machines*, 12, 87, 2024.
- [39] Gerhátová, Z.; Zitrický, V.; Klapitaa, V. Industry 4.0 Implementation Options in Railway Transport Horizons of Railway Transport, *Transportation Research Procedia*, 53, 23–30, 2021.
- [40] Kans, M.; Ingwald, A. Service-based business models in the Swedish railway industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29, 5, 68-87, 2023. DOI 10.1108/JQME-06-2021-0051
- [41] Li, P.; Xue, R.; Shao, S.; Zhu, Y.; Liu, Y. Current state and predicted technological trends in global railway intelligent digital transformation, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing, China, *Railway Sciences*, Vol. 2 No. 4, 397-412, 2023. DOI 10.1108/RS-10-2023-0036
- [42] Wippel, M.; Lucke, D.; Jooste J.L. An Industry 4.0 Technology Implementation Model for Rolling Stock Maintenance, 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems Science Direct, *Procedia CIRP*, 104, 606–611, 2021.
- [43] Bustos, A.; Rubio, H.; Soriano-Heras, E.; Castejon, C. Methodology for the integration of a high-speed train in Maintenance 4.0, *Journal of Computational Design and Engineering*, 8(6), 1605–1621, 2021. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab06>
- [44] De Magalhães, B., T., C.; Dos Santos, D.M.; De Araújo, D., C., F.; Jaquie, G., H., L. Asset management in rail public transport sector an industry 4.0 technologies, Brasília, 2020.
- [45] Wippel, M.T. Development of a Model for the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Rolling Stock Maintenance, Master thesis, Stellenbosch University, 2021.
- [46] Židova, Z.; Zitrický, V. The Impact of the Use of Technology in International Rail Freight Transport on Transport Processes, *Promet – Traffic & Transportation*, 35(2), 243-254, 2023. <https://doi.org/10.7307/ptt.v35i2.123>

- [47] Davari, N.; Veloso, B.; Gama, J.; de Assis Costa, G.; Pereira, P.M.; Ribeiro, R.P. A Survey on Data-Driven Predictive Maintenance for the Railway Industry, *Sensors*, 21, 5739, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21175739>
- [48] Hernandez, R.; Mujica, G.; Portilla, J.; Parrilla, F. Internet of Things Technology for Train Positioning and Integrity in the Railway Industry Domain. 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10154252/proceeding>
- [49] Oudenhoven, B.V.; Calseyde, P.V.D.; Basten, R.I.J.; Predictive Maintenance for Industry 5.0: Behavioural Inquiries from a Work System Perspective. *International Journal of Production Research*, 61,2, 2022. DOI:10.1080/00207543.2022.2154403
- [50] Tavares, M.C.; Azevedo, G.; Marques, R.P. The Challenges and Opportunities of Era 5.0 for a More Humanistic and Sustainable Society—A Literature Review. *Societies* 2022, 12, 149, 2022. <https://doi.org/10.3390/soc12060149>.
- [51] Mladineo, M.; Crnjac Zizic, M.; Aljinovic, A.; Gjeldum, N. Towards a Knowledge-Based Cognitive System for Industrial Application: Case of Personalized Products. *J. Ind. Inf. Integr.*, 27, 2022.100284. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100284>.
- [52] Veza, I.; Mladineo, M.; Peko, I. Analysis of the current state of Croatian manufacturing industry with regard to Industry 4.0. In *Proceedings of the International Conference CIM 2015, Biograd, Croatia, 10–13, June 2015*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>.
- [53] Horvat, D.; Stahlecker, T.; Zenker, A.; Lerch, C.; Mladineo, M. A conceptual approach to analysing manufacturing companies' profiles concerning Industry 4.0 in emerging economies. *Procedia Manuf.*, 17, 419–426, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.065>.
- [54] Wanderlust. Wanderlust Reader Travel Award. 2023. Available online: <https://www.wanderlust.co.uk/content/wanderlust-reader-travel-awards-results> (Accessed: 05/2024).
- [55] Lonely Planet, Best in Travel 2024—Countries. Available online: <https://www.lonelyplanet.com/best-in-travel/countries> (Accessed: 05/2024).
- [56] Prester, J.; Ivanko, F. Rasprostranjenost lean koncepata u hrvatskoj prerađivačkoj industriji. *Zb. Ekon. Fak. u Zagrebu*, 9, 105–122, 2011.
- [57] ePodravina.hr, Podravka uvodi Lean metodologiju za poboljšanje poslovanja i postizanje prednosti nad konkurencijom. Available online: <https://epodravina.hr/podravka-uvodi-lean-metodologiju-za-poboljsanje-poslovanja-i-postizanje-prednosti-nad-konkurencijom/> (Accessed: 05/2024).

[58] Roland Berger, Think Act Magazine: The New Industrial Revolution—How Europe Will Succeed. Available online:

https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf (Accessed: 05/2024).

SAŽETAK

U uvodu rada dat je prikaz povijesti nastanka pojedinih industrijskih revolucija od prve do četvrte (Industrija 4.0) prema Industriji 5.0, uz kratak osvrt na svaku pojedinu po razvoj čovječanstva kao i promjene paradigme u današnjici nakon što je svijet prošao pandemiju COVID-19. Jer sve to utjecalo je na novu prilagodbu industrije obzirom na potrebe i u prvi plan stavljanja čovjeka tj. radnika. U drugom poglavlju opisane su glavne značajke Industrije 4.0 kao i devet stupova na koje se oslanja („Big Data” i analitika, simulacija, horizontalna i vertikalna integracija, industrijski internet stvari (Internet of Things), napredna robotika - autonomni roboti, rad u oblaku (cloud computing), kibernetička sigurnost, proširena stvarnost, aditivna proizvodnja i 3D ispis), te koncept “Pametne tvornice” s primjerom vertikalne integracije proizvodnje. U trećem poglavlju opisane su glavne značajke Industrije 5.0. s osvrtom na glavne tri značajke: usmjerenost na čovjeka, održivost i otpornost, uz opis promjene uloga radnika po pitanju novih uloga za djelatnike u industriji, sigurno i stimulativno radno okruženje te vještine, usavršavanje i prekvalifikacije. Prikazana je usporedba razlika između Industrije 4.0 i 5.0. U četvrtom poglavlju prikazano je nekoliko primjera znanstvenih istraživanja uporabe Industrije 4.0/5.0 u željezničkom prometu, dizajniranju i održavanju željezničkih vozila u Europi i svijetu s naglaskom na implementaciju novih tehnologija i modela, te digitalnoj transformaciji procesa na primjeru željeznica Švedske, Slovačke, Japana itd. U zadnjem, petom poglavlju opisano je istraživanje primjene Industrije 4.0/5.0 u metaloprerađivačkoj i drvenoj industriji, te industriji polimera u četiri glavne regije u Republici Hrvatskoj uz rezultate i zaključak istraživanja. Na kraju su izvedeni zaključci i smjernice za daljnja istraživanja.

Ključne riječi: Industrija 4.0/5.0, proizvodni sustavi, organizacija, odlučivanje, informacijsko-komunikacijska tehnologija