

Primjena koncepta dualne transformacije u proizvodnim poduzećima

Dokmanić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:386577>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Karlo Dokmanić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Karlo Dokmanić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Nedeljku Štefaniću na pruženoj pomoći i savjetima, ne samo tokom izrade završnog rada, već i tokom cijelog preddiplomskog studija.

Zahvaljujem se poduzeću Pastor - tvornica vatrogasni aparati što su me primili, posebice gosp. Mariu Martiću, kao i Damianu Keretiću na izdvojenom vremenu i izvrsnim upoznavanjem s procesima u poduzeću.

Zahvaljujem se svojim prijateljima sa smjera industrijsko inženjerstvo i menadžment: B.Š., Š.B., I.P., L.F., T.B., L.S., B.B., bez kojih bi studiranje bilo značajno otežano.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na vjeri, pruženoj podršci i savjetima kada je trebalo.

Zahvaljujem se svojoj djevojci jer iza svakog uspješnog muškarca stoji žena.

Karlo Dokmanić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Dokmanić** JMBAG: **0035216829**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena koncepta dualne transformacije u proizvodnim poduzećima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of the concept dual transformation in manufacturing companies**

Opis zadatka:

U novoj europskoj industrijskoj strategiji iz 2021. godine, kao glavne sastavnice strategije navode se digitalna i zelena transformacija industrije. U složenim postojećim uvjetima svjetskog gospodarstva, kao posebni problemi se navode ograničenost resursa za proizvodnju i ubrzanje klimatskih promjena. Dualna transformacija predstavlja kombinaciju primjene digitalnih (Internet stvari, Internet usluga, Big data, Umjetna inteligencija, Virtualna i proširena stvarnost, Robotika, 5G mreže, RFID sustavi...) i zelenih (Obnovljivi izvori energije, Cirkularna ekonomija ...) tehnologija.

U radu je potrebno:

- Detaljno objasniti pojam Industrije 4.0 te opisati digitalne tehnologije koje se koriste u proizvodnji
- Opisati pojam Zelenog menadžmenta te opisati najmanje tri zelene tehnologije pogodne za primjenu u proizvodnim procesima
- Razraditi koncept dualne transformacije u uvjetima proizvodnje diskretnih proizvoda
- Za proizvoljno odabrano proizvodno poduzeće, primijeniti koncept dualne transformacije
- Kvantificirati postignute rezultate

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PROBLEMI POSTOJEĆIH UVJETA SVJETSKOG GOSPODARSTVA	2
2.1. Ograničenost resursa za proizvodnju	2
2.2. Ubrzanje klimatskih promjena	3
2.3. Europska industrijska strategija	5
3. INDUSTRIJA 4.0	7
3.1. Povijest industrijskih revolucija.....	7
3.1.1. Industrija 1.0	7
3.1.2. Industrija 2.0	8
3.1.3. Industrija 3.0	8
3.2. Pojam Industrija 4.0	9
3.2.1. Stanje Industrije 4.0 u Republici Hrvatskoj	14
4. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI.....	17
4.1. Internet stvari	18
4.1.1. 5G mreže	20
4.2. Velika količina podataka.....	21
4.3. Računarstvo u oblaku.....	22
4.4. Umjetna inteligencija	23
4.4.1. Strojno učenje i duboko učenje.....	24
4.4.2. Digitalni blizanac	26
4.5. Robotika	26
4.6. Virtualna i proširena stvarnost	27
4.7. RFID sustavi	27
5. ZELENA PROIZVODNJA	30
5.1. Međunarodni zeleni standardi, uredbe i direktive.....	30
5.1.1. ISO standardi	31
5.1.2. Direktive Europske unije	32
5.2. Zeleni menadžment	32
5.3. Zelene tehnologije pogodne za proizvodna poduzeća	34
5.3.1. Eko dizajn	34
5.3.2. Cirkularna (kružna) ekonomija	35
5.3.3. Obnovljivi izvori energije	39
5.3.3.1. Sunčeva energija	40
5.3.3.2. Energija vjetra.....	41
5.3.3.3. Energija iz biomase.....	42
5.3.3.4. Geotermalna energija	42

6. KONCEPT DUALNE TRANSFORMACIJE	43
7. PRAKTIČNI DIO	45
7.1. O poduzeću	45
7.2. Primjena koncepta dualne transformacije u Pastoru TVA.....	47
7.2.1. Snimka trenutnog stanja poduzeća.....	47
7.2.2. Primjena i prijedlog daljnjih aktivnosti dualne transformacije.....	53
7.2.3. Robotizacija i automatizacija radnih stanica i linija	57
7.2.3.1. Radna stanica za izradu plašteva.....	58
7.2.3.2. Linija za završnu montažu	60
8. ZAKLJUČAK.....	65
LITERATURA.....	66

POPIS SLIKA

Slika 1.	Produktivnost resursa zemalja članica EU-a [3]	3
Slika 2.	Najveći zagađivači 1970.-2018 [5]	4
Slika 3.	Naslovnica: Nova industrijska strategija Europe [7].....	6
Slika 4.	Industrijske revolucije kroz povijest [9].....	7
Slika 5.	Hannover Messe logo [10]	10
Slika 6.	Značajke pametnih strojeva [12]	11
Slika 7.	Horizontalna i vertikalna integracija poduzeća [9]	12
Slika 8.	DESI indeks za 2021. godinu [13]	14
Slika 9.	Rezultati projekta Smart Factory Hub [14]	15
Slika 10.	Industrijska zrelost tvrtki u Republici Hrvatskoj, 2015. [15].....	16
Slika 11.	Digitalne tehnologije proizvodnih poduzeća.....	17
Slika 12.	Internet svega [17].....	18
Slika 13.	IoT unutar proizvodnog poduzeća [19]	20
Slika 14.	Način rada računarstva u oblaku [24].....	22
Slika 15.	Veza između AI-a, strojnog učenja i dubokog učenja [25].....	24
Slika 16.	Komponente RFID sustava [30].....	27
Slika 17.	Problematika kojima se bave zelene tehnologije [32].....	34
Slika 18.	Oznaka CE iz direktive o eko dizajnu [37]	35
Slika 19.	Konverzija linearnog u kružni model [39]	36
Slika 20.	Hijerarhija nultog otpada [39]	38
Slika 21.	Stopa recikliranja komunalnog otpada u EU [3]	39
Slika 22.	Strategija dualne transformacije [41]	44
Slika 23.	Pastor TVA logo [42]	45
Slika 24.	Certifikati koje posjeduje Pastor TVA [42]	46
Slika 25.	Home page softvera za planiranje proizvodnje	48
Slika 26.	Početni zaslon centralnog softvera	49
Slika 27.	Primjer analize završne montaže	50
Slika 28.	Sekcija kontrole kvalitete iz centralnog softvera	51
Slika 29.	Primjer pregleda i analize radnih naloga	51
Slika 30.	Primjer pregleda i analize nabavnih naloga sirovina.....	52
Slika 31.	Aplikacija za zadavanje i predaju dnevnih zadataka.....	53
Slika 32.	Sirovac čelika prije rezanja i oblikovanja	58
Slika 33.	Automatizirana stanica za izradu plašteva	58
Slika 34.	Upravljačko računalo MG-a.....	59
Slika 35.	Analiza normativa izrade - rundalica	59
Slika 36.	Analiza normativa izrade - MG.....	60
Slika 37.	Aparat P6.....	61
Slika 38.	Tlocrt trenutne linije za završnu montažu – tzv. bijela soba [43]	62
Slika 39.	Novi tlocrt bijele sobe [43].....	62
Slika 40.	3D pogled na novu bijelu sobu [43]	63

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnološki napredci industrijskih revolucija [8].....	8
Tablica 2. Usporedba 5G mreže s prethodnima [21].....	20
Tablica 3. Pregled tehnologija i njihovih prednosti za proizvodna poduzeća.....	29
Tablica 4. Dimenzije društveno odgovornog poslovanja [32]	30
Tablica 5. Bijela soba – legenda [43]	63

POPIS KRATICA

Kratica	Opis
EU	Europska unija
BDP	Bruto domaći proizvod
CO ₂	Ugljikov dioksid
CH ₄	Metan
IPCC	Međuvladin panel o klimatskim promjenama (eng. Intergovernmental Panel on Climate Change)
UN	Ujedinjeni narodi
PLC	Programibilni logički kontroler (eng. Programmable Logic Controller)
IT	Informacijske tehnologije (eng. Information Technology)
CPS	Kibernetsko-fizički sustav (eng. Cyber-Physical System)
M2M	Komunikacija među strojevima (eng. Machine to Machine)
ICT	Informacijsko-komunikacijske tehnologije (eng. Information and Communications Technology)
DESI	Indeks digitalnog gospodarstva i društva (eng. Digital Economy and Society Indeks)
MSP	Mala i srednja poduzeća
IoE	Internet svega (eng. Internet of Everything)
IoT	Internet stvari (eng. Internet of Things)
AI	Umjetna inteligencija (eng. Artificial Intelligence)
VR	Virtualna stvarnost (eng. Virtual Reality)
AR	Proširena stvarnost (eng. Augmented Reality)
RFID	Radiofrekvencijska identifikacija (eng. Radio-frequency Identification)
ERP	Planiranje resursa poduzeća (eng. Enterprise Resource Planning)
WMS	Upravljanje skladišnim sustavima (eng. Warehouse Management System)
ISO	Međunarodna organizacija za standardizaciju (eng. International Organization for Standardization)
EMS	Sustav upravljanja okolišem (eng. Environmental Management System, EMS)
TVA	Tvornica vatrogasnih aparata

SAŽETAK

Tema završnog rada je „Primjena koncepta dualne transformacije u proizvodnim poduzećima“. Dostupnom i relevantnom literaturom obrazložen je značaj Industrije 4.0 te digitalne i zelene transformacije za proizvodna poduzeća u uvjetima proizvodnje diskretnih proizvoda. U radu su prikazane digitalne tehnologije koje su nužne za digitalizaciju poslovnog i digitalnu transformaciju proizvodnog procesa. Kada se poduzeće uz digitalnu transformaciju odluči transformirati i zeleno upravljanje, tada je to dualna transformacija. Svako poduzeće je različito, sukladno tome, svakome poduzeću treba drukčije i pristupiti prilikom dualne transformacije. Koncept se može opisati u pet koraka digitalne te četiri koraka zelene transformacije. Na primjeru jednog hrvatskog poduzeća, primijeniti će se koncept dualne transformacije analizom trenutnog stanja i prijedlogom daljnjih aktivnosti kojima bi se poboljšala dinamika i planiranje proizvodnje te zeleno upravljanje.

Ključne riječi: Industrija 4.0, digitalna transformacija, digitalne tehnologije, zelena transformacija, zelene tehnologije, dualna transformacija

SUMMARY

The subject of the undergraduate thesis is "Application of the dual transformation concept in manufacturing companies." The importance of Industry 4.0, digital and green transformation of manufacturing companies in the conditions of discrete products is explained by the available and relevant literature. The paper presents digital technologies that are necessary for digitalization of business and digital transformation of production processes. When a company, in addition to digital transformation, decides to transform also green management, then it is a dual transformation. Every company is different, that is why every company needs to be approached differently during the dual transformation. The concept can be described in five steps of digital and four steps of green transformation. On the example of a Croatian company, the concept of dual transformation will be applied by analysing the current situation and giving proposals for further activities that would improve the dynamics and planning of production and the green management.

Key words: Industry 4.0, digital transformation, digital technologies, green transformation, green technologies, dual transformation

1. UVOD

Današnje tržište postaje sve dinamičnije i konkurentnije, posebice među proizvodnim poduzećima koja proizvode diskretne proizvode. Osim toga, svijet se susreće s globalnim problemima klimatskih promjena te ograničenošću resursa za proizvodnju. Način na koji čovječanstvo trenutno proizvodi energiju, proizvode i usluge nije održiv. Europa je u tome kontekstu veoma ambiciozna postavljajući cilj da do 2050. godine postane prvi potpuno ugljično neutralan kontinent. U novoj europskoj industrijskoj strategiji, digitalna i zelena transformacija industrija i proizvodnih poduzeća postaju ključne za postizanje budućih ciljeva. Povijest nas je naučila da nijedna industrijska revolucija nije došla jednostavno i preko noći. Industrija 4.0 je predstavljena 2011. godine na sajmu Hannover Messe u Njemačkoj. Koncept koji je tada predstavljen navodi da je temelj Industrije 4.0 kibernetičko – fizički sustav koji integrira virtualne i fizičke procese primjenom Interneta. Od tada su se razvile i nove, poboljšane i naprednije digitalne i zelene tehnologije prikladne za implementaciju u proizvodnim poduzećima. Nužno je da poduzeća prate trendove i nastoje optimizirati i modernizirati svoje pogone kako bi ostali konkurentni na tržištu, ali i da napreduju na inozemnim tržištima. Put prema Industriji 4.0 često nije jednostavan, posebice zbog podatka da je industrijska zrelost u Republici Hrvatskoj i dalje manja od 3.0. Završni rad će obuhvatiti ono relevantno za postizanje efikasne dualne transformacije, odnosno digitalne i zelene tehnologije koje su prisutne u transformacijama proizvodnih poduzeća. U konačnici, kako bi poduzeća „lakše“ digitalno i zeleno transformirala svoje proizvodne i poslovne procese, predstavljen je koncept dualne transformacije kroz pet koraka digitalne te četiri koraka zelene transformacije. U praktičnom djelu rada će se napraviti analiza trenutnog stanja proizvoljno odabranog poduzeća – Pastor tvornica vatrogasni aparata (TVA). Zatim će se nakon uočenih trenutnih nedostataka, primijeniti i dati prijedlog (razrada) daljnjih aktivnosti dualne transformacije.

2. PROBLEMI POSTOJEĆIH UVJETA SVJETSKOG GOSPODARSTVA

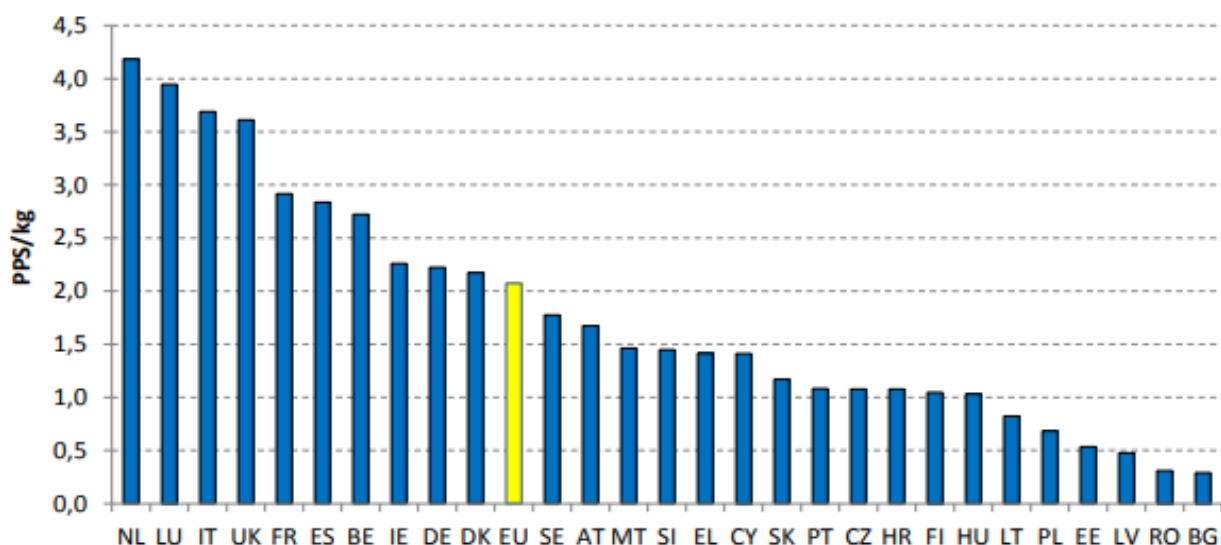
Europska komisija je glavno političko i izvršno tijelo Europske unije (EU), nadležno za niz aktivnosti kojima se potiču i promiču opći interesi Europske unije. Prema analizama Europske komisije, ako će globalni trendovi ostati isti te ako se potrošnja ključnih resursa ne smanji, do 2050. godine će za održavanje postojećeg stanja biti potrebna više od dva planeta [1].

2.1. Ograničenost resursa za proizvodnju

Gospodarski aspekt globalizacije, odnosno rast svjetskog gospodarstva donio je snažan i neodrživ pritisak na Zemljine resurse. Prema Europskoj komisiji stanje će biti sve gore kako će se broj stanovnika približavati brojcima od 9 milijardi. Razlog tomu je veća konkurencija za ograničene resurse koji će dizati cijenu i nestabilnost. Zbog toga Europska komisija promiče tzv. „učinkovito korištenje resursa“, odnosno korištenje resursa na održiviji način [1].

Pojam resurs odnosi se na sve materijale dostupne u našem okruženju koji nam pomažu da zadovoljimo ljudske potrebe i želje. Resursi se mogu na različite načine klasificirati, no često se prirodni resursi dijele prema dostupnosti na obnovljive te neobnovljive. Iscrpljivanje neobnovljivih izvora i resursa donosi nekoliko problema, primjerice njihovu ograničenost i nestanak te štetni otpad koji nastaje kao posljedica njihove uporabe [2].

Kada se priča o učinkovitom korištenju resursa, često se spominje pojam produktivnost resursa. Produktivnost resursa se definira odnosom bruto domaćeg proizvoda (BDP-a) i domaće potrošnje materijala, tj. ukupna količina materijala koju pojedina proizvodnja iskorištava. On se on stoga izražava u eurima po kilogramu (€/kg). Produktivnost resursa se podosta razlikuje među državama članicama EU-a [Slika 1.] [3]. Produktivnost resursa najviše ovisi o strukturi nacionalnih gospodarstva, kao i opsegu i strukturi njihove međunarodne trgovine. Iz navedenog razloga se uslužna gospodarstva doimaju učinkovitijima, odnosno produktivnijima, a države članice s niskim BDP-om i razvijenijim industrijskim i primarnim sektorima (npr. šumarstvom i/ili rudarstvom) imaju manju učinkovitost i produktivnost u usporedbi s državama koje imaju veće uslužne sektore, no to nije pravilo [3].



Slika 1. Produktivnost resursa zemalja članica EU-a [3]

Produktivnost resursa trenutno ne stagnira, jer se povećala za 32,3 % u desetljeću od 2007. do 2016. godine. U Nizozemskoj (NL) je 2016. zabilježeno najveće poboljšanje produktivnosti u odnosu na prijašnju godinu te je ona u 2016. imala najveću produktivnost resursa. Nakon Nizozemske slijede redom Luksemburg, Italija i Ujedinjeno Kraljevstvo, dok su Bugarska, Estonija, Latvija, Litva, Poljska i Rumunjska države članice s najlošijom produktivnošću resursa. Nažalost, Republika Hrvatska se nalazi također debelo ispod prosjeka EU-a [3].

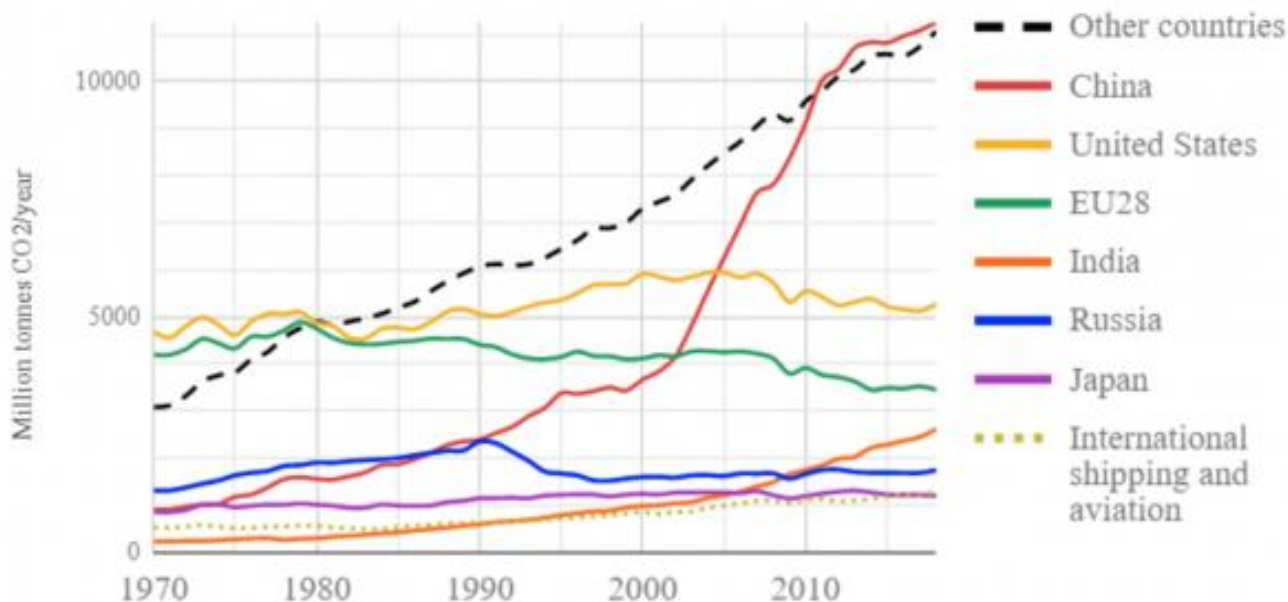
Strategije rasta EU-a žele pretvoriti EU u pametno, održivo i uključivo gospodarstvo. Jedan od osnovnih elemenata jest Plan za resursno učinkovitu Europu [1]. Dakle, učinkovito korištenje resursa kao odgovor na ograničenost resursa za proizvodnju usko je povezano sa zelenim tehnologijama, poput obnovljivih izvora energije i cirkularnom ekonomijom.

2.2. Ubrzanje klimatskih promjena

Danas su sve glasnije priče o iznadprosječno toplim ljetima, ekstremnim ljetnim šumskim požarima, ubrzanom otapanju ledenjaka, povećanju globalne temperature, ekstremnim vremenskim nevremenima itd. Nažalost, sve je više fizičkih dokaza klimatskih promjena, što je posljednjih godina dovelo do intenzivnijeg i glasnijeg promišljanja i djelovanja sukladno ubrzanjima klimatskih promjena.

Klimatske promjene uzrokovane su globalnim zagrijavanjem Zemljine površine i atmosfere, a iako se klima drastično mijenja na našem planetu, ona se u posljednjih 150 godina mijenja više nego ikada. Više je uzroka koji su doveli do klimatskih promjena – tektonika ploče, sunčevo

toplinsko zagrijavanje, promjene u planetarnoj putanji, vulkani,... Međutim, današnje klimatske promjene gotovo su u potpunosti posljedica ljudskog djelovanja. Sagorijevanjem fosilnih goriva (nafte, ugljena i prirodnog plina) ispuštaju se u atmosferu te nastaju staklenički plinovi (eng. Greenhouse gasses) poput vodene pare, ugljikovog dioksida (CO_2) i metana (CH_4), a poljoprivredom i krčenjem šuma se dodatno povećavaju količine stakleničkih plinova jer ih nema tko onda i ublažiti. Problem stakleničkih plinova je u tome što zadržavaju toplinu u atmosferi, a taj efekt nazivamo efektom staklenika. Efekt staklenika je prirodna pojava, no taj se efekt maksimalno povećao ljudskim djelovanjem u industrijskom dobu. Porast temperature od svega nekoliko Celzijevih stupnjeva može prouzročiti katastrofalne posljedice. Iako se klimatske promjene ne mogu samo tako poništiti, njihove se posljedice mogu znatno ublažiti te im se možemo prilagoditi. Mjerama ublažavanja koje donose organizacije i politike nastoji se smanjiti emisije stakleničkih plinova. Razvoj čiste energije, povećanje šumskih područja te implementacija zelenih tehnologija neki su od efikasnih alata kojima se služimo. Potrebne su drastične promjene u ključnim područjima - energetici, industriji, proizvodnji, gospodarenju otpadom, poljoprivredi, prometu itd. Europska komisija je 2019. godine objavila Europski zeleni plan, čime su klimatske promjene dobile značajnu mjesto u političkom programu EU-a [4].



Slika 2. Najveći zagađivači 1970.-2018 [5]

Svake se godine ispusti čak 30 giga tona CO₂ u Zemljinu atmosferu, a najveći udio toga otpada na korištenju fosilnih goriva te generiranju toplinske i električne energije pomoću neobnovljivih izvora energije. Prema izvještaju Svjetske meteorološke organizacije, 2020. godine je koncentracija CO₂ u atmosferu dostigla najvišu razinu, unatoč pandemiji Covid-19 i smanjenom korištenju fosilnih goriva. Konkretno, 2020. godine emisije su bile za 149% veće od emisija koje su se prosječno proizvodile prije prve industrijske revolucije. [5]

Na široj (svjetskoj) sceni se također odvijaju konferencije i donose se odluke o aktivnostima vezanim za usporenje klimatskih promjena. Najpoznatija organizacija jest Međuvladin panel o klimatskim promjenama (eng. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) koji je nastao 1988. godine na poticaj Ujedinjenih naroda (UN) i Svjetske meteorološke organizacije. IPCC u svojem djelovanju pruža redovite procjene znanstvenih dokaza vezanih iz klimatske promjene, njihov učinak i buduće rizike te mogućnosti prilagodbe i ublažavanja. [6]

Ne nose sve države svijeta jednaku odgovornost za trenutnu, ali i buduću situaciju s klimatskim promjenama. Većina emisija stakleničkih plinova u svijetu stvara se u nekoliko država, pa tako Kina danas proizvodi 30% ukupnih stakleničkih plinova, a Sjedinjene Američke Države (SAD) 14%. Prema statistikama deset najvećih zagađivača su redom: Kina, SAD, Indija, Rusija, Japan, Njemačka, Iran, Južna Koreja, Saudijska Arabija te Indonezija [5].

2.3. Europska industrijska strategija

Europska komisija je 10. ožujka 2020. postavila temelje za industrijsku strategiju prema kojoj je fokus EU-a na dualni (dvostruki) prijelaz iz trenutnog stanja u zeleno i digitalno gospodarstvo. Cilj ove strategije je povećanje konkurentnosti industrije i gospodarstva i jačanje otvorene strateške autonomije Europe. Ova strategija predstavlja put prema klimatskoj neutralnosti i digitalnom vodstvu. 11. ožujka 2020. godine Svjetska zdravstvena organizacija je proglasila koronavirus pandemijom. Iskustva stečena tijekom pandemije bolesti Covid-19 navele su Europsku komisiju na ažuriranje industrijske strategije iz 2020. godine. Iako se uzrokovana kriza i njeni učinci unutar država razlikuju ovisno o gospodarstvima i poduzećima, kao najistaknutiji problemi se predstavljaju [7]:

- Ograničeno slobodno kretanje robe i usluga zbog zatvorenih državnih granica
- Ograničena dostupnost osnovnih proizvoda zbog prekida globalnih lanaca opskrbe
- Poremećaj potražnje

Kako bi se nastojali riješiti navedeni problemi, u ažuriranoj industrijskoj strategiji iz 2021. godine predlažu se nove mjere koje su u obzir uzele iskustva stečena tijekom krize. U središtu strategije je između ostalog i promicanje poslovnih argumenata u korist dualne tranzicije. Pandemija je utjecala na brzinu i opseg dosadašnje tranzicije pa je ona sada u procesu ubrzavanja. Komisija je svjesna da će poduzeća koja su usmjerena na održivost i digitalizaciju biti među vođama sutrašnjice, stoga Komisija u cilju ubrzanja dualne tranzicije sudjeluju u različitim aktivnostima, poput [7]:

- Navođenja prijedloga i osmišljavanja načina tranzicije zajedno sa sektorima i dionicima
- Poticanjem ulaganja u dekarbonizirane energije
- Analizirajući sektore čelika i ostalih materijala
- Osmišljavanjem projekata za izgradnju digitalnih i zelenih kapaciteta koji obuhvaćaju više država EU-a



Slika 3. Naslovnica: Nova industrijska strategija Europe [7]

3. INDUSTRIJA 4.0

3.1. Povijest industrijskih revolucija

Tehnički napredak znači i promjenu načina na koji ljudi proizvode stvari i usluge. Kada svijet doživi promjenu u smislu tehničkog napretka koji je apsolutna novost od onog prethodnoga, tada tu promjenu nazivamo industrijska revolucija. Ljudska povijest je doživjela četiri industrijske revolucije [8]:

- Prva industrijska revolucija – danas često zvano i Industrija 1.0
- Druga industrijska revolucija – Industrija 2.0
- Treća industrijska revolucija – Industrija 3.0
- Četvrta industrijska revolucija – Industrija 4.0



Slika 4. Industrijske revolucije kroz povijest [9]

3.1.1. Industrija 1.0

Prva industrijska revolucija započela je u 18. stoljeću, a tehnološki napredak s kojim se svijet tada suočio je implementacija snage na paru i vodu unutar industrijskih okruženja. Tako je došlo i do prve mehanizacije proizvodnih procesa i postrojenja. Mehanizacija je donijela povećanje proizvodnih volumena od oko osam puta. Iako je para otprije bila poznata, njena uporaba u industrijskim okolina je značila veliku prekretnicu i povećanje produktivnosti tadašnjeg rada. Osim proizvodnog volumena, Industrija 1.0 doprinijela je i razvoju dotadašnjih oblika prijevoza. Nastaju novi oblici pogona, poput parobroda, a kasnije i lokomotive pogonjene vodenom parom. Zbog novih oblika prijevoza sirovine i proizvodi su se i znatno brže počeli kretati među ljudima [8].

3.1.2. **Industrija 2.0**

Druga industrijska revolucija započela je u 19. stoljeću. Otkriće električne energije je potaklo ondašnju industriju na implementaciju prvih pokretnih radnih traka. Prva takva pokretna traka pojavila se Chicagu 1870. godine, gdje se koristio pokretni konvejer pogonjenom električnom energijom gdje su se artikli kretali prema radnicima koji su onda obavljali svoje različite zadatke. Uvidjevši prednosti takvog rada, Henry Ford po istome principu pokreće masovnu proizvodnju automobila. Uvodi proizvodnu liniju unutar pogona u kojemu svaki radnik obavlja svoj zadatak. Takav način rada je Fordu donio značajnu brzinu i produktivnost rada, ali i manje troškove proizvodnje [8].

3.1.3. **Industrija 3.0**

Treća industrijska revolucija je započela 70-ih godina prošloga stoljeća. Svijet se tada upoznao s novim tehnologijama – industrijskim računalima (Programmable logic controller, PLC) i memorijskim kontrolerima. 70-ih godina su se počeli pojavljivati prvi polu automatizirani pogoni i linije. Daljnjim razvojem tehnologija – elektronike i IT-a (eng. Information Technology) došlo je i do daljnje automatizacije proizvodnje, tj. proizvodnje s značajnim smanjenjem manualnog rada gdje se pojavljuju industrijski roboti za potpunu automatizaciju [8].

Tablica 1. Tehnološki napredci industrijskih revolucija [8]

Industrija 1.0	Pogon strojeva na vodu i paru, mehanizacija rada, prosječno povećanje produktivnosti osam puta, novi oblici pogona transportnih sredstava
Industrija 2.0	Implementacija električne energije u proizvodne i uslužne djelatnosti – Fordovi pogoni automobila – pojava pokretnih traka, masovnom proizvodnjom do još veće produktivnosti i manjih troškova rada
Industrija 3.0	Pojava novih tehnologija – elektronike, računala i PLC-a zbog kojih nastaju prvi polu automatizirani pogoni, daljnji razvoj omogućio i potpunu automatizaciju bez manualnog rada, pojava autonomnih robota
Industrija 4.0	Trenutno na snazi, glavna karakteristika joj je pametno povezivanje svih resursa (ljudi, strojeva, opreme) unutar poduzeća te virtualne i fizičke okoline kroz primjenu novih digitalnih tehnologija i Interneta

3.2. Pojam Industrija 4.0

Svaka od industrijskih revolucija je donijela mnoge prednosti, poboljšanja i kvalitetu proizvodnih procesa. Industrija 3.0 bila je zapravo poticaj idućoj svjetskoj industrijskoj revoluciji – Industriji 4.0, koja je otišla korak dalje te je sve elemente, procese i aktivnosti išla dodatno unaprijediti i međusobno povezati.

Razvoj novih digitalnih tehnologija znači i njihovu primjenu u industriji i proizvodnji. Njihovom pojavom rodile su se nove značajke buduće forme industrijske proizvodnje koja traži svoju snagu na konkurentnom tržištu kakvo je danas, a te značajke su [9]:

- Snažnije individualiziranje proizvoda prema zahtjevima kupca
- Bolja povezanost poduzeća s kupcima
- Visoko fleksibilna (velikoserijska) proizvodnja
- Manje serija proizvoda uz brzu izmjenu i veliki broj varijanti
- Proizvodnja inteligentnih proizvoda, postupaka i procesa
- Dodatno povećana efikasnost proizvodnje i produktivnost rada
- Zamjena klasične hijerarhijske proizvodnje s decentraliziranom samoorganizacijom
- Široka integracija kupaca i poslovnih partnera u procesima stvaranja nove vrijednosti kroz cjelokupni lanac vrijednosti
- Povezivanje proizvodnje i visoko kvalitetnih uslužnih djelatnosti, koji se stapaju u tzv. hibridne proizvode

Kao odgovor na nove značajke buduće forme industrijske proizvodnje pojavio se termin Industrija 4.0. Začetnici koncepta i sami počeci povezani su sa strategijom visoko-tehnološkog razvoja Njemačke vlade iz 2006. godine. Prvo javno pojavljivanje Industrije 4.0 se dogodilo na sajmu u Hannoveru 2011. godine, sajmu koji se svake godine održava pod nazivom Hannover Messe [9].

Hannoverski sajam predstavlja jedan od najvećih svjetskih sajmova, a posvećen je temi razvoja i napretka tehnologija i industrije općenito. Svake godine Hannover Messe broji oko 6.500 izlagača te 250.000 posjetitelja. Njegova povijest je izrazito duga pa se tako pri sajam održao 1947. godine poticajem britanske vojne vlade kako bi se potaknuo gospodarski napredak poslijeratne Njemačke [10].

Njemački savez ministarstva obrazovanja i istraživanja je tada oformio radnu skupinu koja je bila sastavljena od predstavnika akademskih zajednica, znanstvenika i industrijalaca. Navedena radna skupina predala je finalno izvješće koje je predstavljeno ponovno na sajmu u Hannoveru u travnju 2013. pod naslovom „Preporuke za provedbu strateških inicijativa Industrije 4.0“ [11].



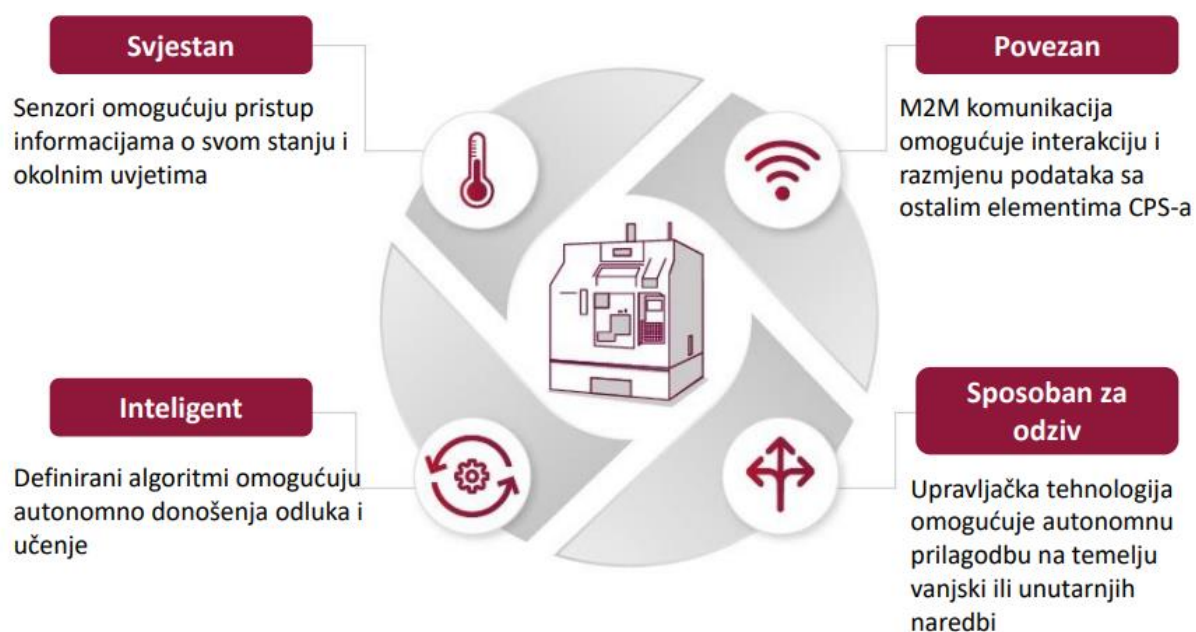
Slika 5. Hannover Messe logo [10]

U preporuci autori navode kako će se u budućnosti uspostaviti globalne mreže koje će uključivati sve njihove resurse (strojeve, strojne parkove, skladišne sustave itd.) u obliku kibernetско-fizičkih sustava (eng. Cyber-Physical System, CPS) [11].

CPS je sustav koji integrira virtualne i fizičke procese unutar poduzeća primjenom ugrađenih računala i Interneta. Glavne funkcije CPS-a su [12]:

- Nadzor procesa u realnom svijetu
- Stvaranje virtualne kopije realnog svijeta
- Donošenje decentraliziranih odluka te
- Postavljanje okvira za pametnu komunikaciju između objekta i ljudi u realnom vremenu (eng. Real-time)

CPS sustavi implementirani u proizvodnu okolinu se sastoje od pametnih strojeva, kojima je karakteristika da su svjesni, inteligentni, povezani te sposobni za odziv - M2M (eng. Machine to Machine) [Slika 5.] [12], naprednih sustava za pohranu podataka i autonomnih proizvodnih pogona koji su u mogućnosti međusobno izmjenjivati informacije, pokretati potrebne aktivnosti i radnje te se međusobno ili samostalno kontrolirati. Takva proizvodna okolina olakšava temeljna poboljšanja industrijskih procesa uključenih u proizvodnju, inženjering, korištenju materijala te upravljanju lancem opskrbe i životnim ciklusom proizvoda [11].



Slika 6. Značajke pametnih strojeva [12]

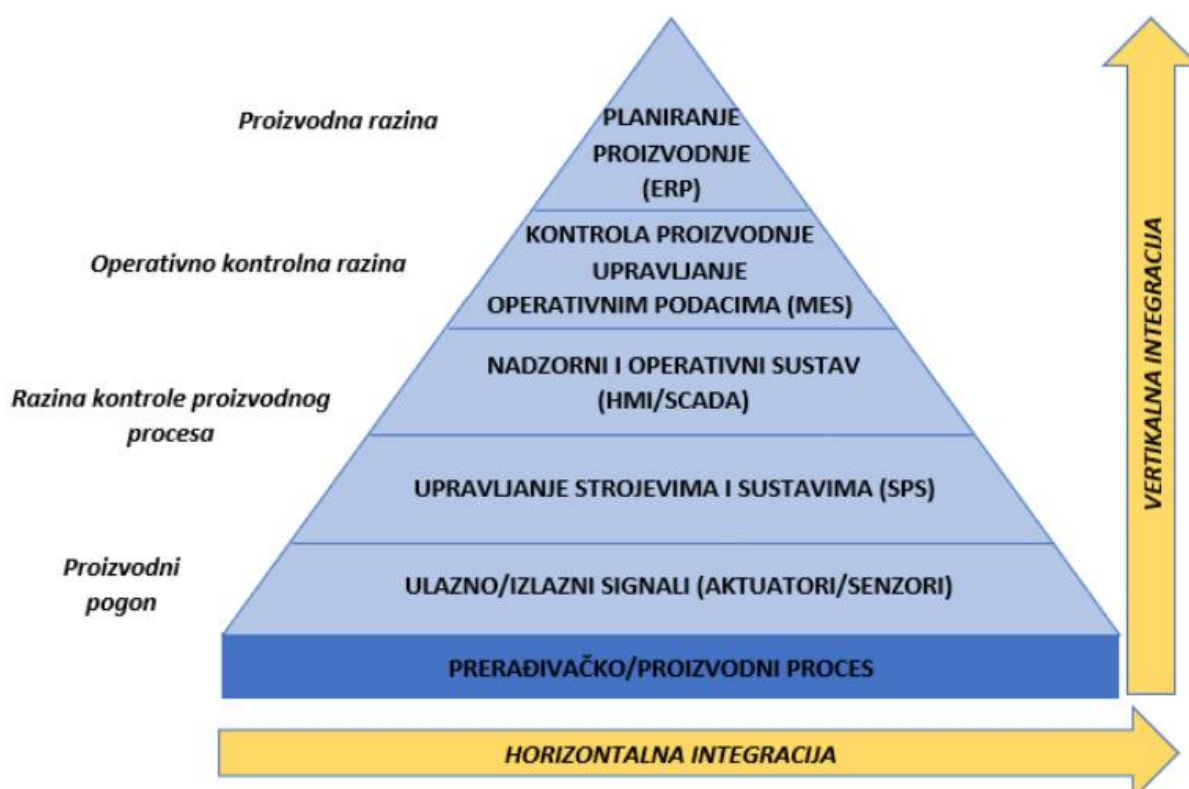
Glavni ciljevi i značajke Industrije 4.0 su [11] [12]:

- Razvoj inter-organizacijskih lanaca vrijednosti kroz horizontalnu integraciju
- Digitalni inženjering kroz cijeli lanac vrijednosti (eng. End-to-end engineering) za proizvod i vezani proizvodni sustav
- Vertikalna integracija fleksibilnih i povezanih proizvodnih odjela i sustava

U područjima proizvodnje, automatizacije i IT-a, horizontalna integracija predstavlja integraciju ljudi i različitih IT sustava korištenih u svim stupnjevima proizvodnih i poslovnih planiranja procesa koji uključuju razmjenu sirovina, materijala energije i informacija unutar poduzeća (npr. ulazna i izlazna logistika, proizvodnja, marketing itd.), ali i među drugim poduzećima (mreže vrijednosti). Horizontalna integracija omogućava umreženost proizvodnih lokacija, uključenost kupca u proizvodni proces, razmjenu informacija kroz cijeli lanac vrijednosti te inteligentnu komunikaciju u nabavi, proizvodnji i logistici [11].

Vertikalna integracija predstavlja integraciju različitih IT sustava na različitim hijerarhijskim pozicijama poduzeća (npr. aktuator i senzor, proizvodnja, kontrola, upravljanje proizvodnjom, i izvršenje te razine korporativnog planiranja). Vertikalna integracija omogućava umreženost unutar poduzeća svih vrsta procesa, od operativne razine do razine proizvodnog pogona, povezujući IT sustave na svim razinama [11].

Horizontalna i vertikalna integracija unutar proizvodnih poduzeća imaju za cilj omogućiti end-to-end inženjerstvo kroz cjelokupni lanac vrijednosti, odnosno pratiti cjelokupni životni vijek nekog proizvoda, od njegovog planiranja, konstruiranja i dizajniranja preko proizvodnih procesa pa sve do izlazne logistike. Proizvodi tako postaju pametni – jedinstveno su prepoznatljivi, mogu se locirati u bilo kojem trenutku i na bilo kojem mjestu, poznaju svoju vlastitu prošlost, prethodne procese i trenutni status te alternativne mogućnosti za postizanje ciljeva, odnosno njihovog krajnje plasiranja na tržište [11].



Slika 7. Horizontalna i vertikalna integracija poduzeća [9]

Ovako predstavljena Industrija 4.0 ima značajan utjecaj na poduzeća, ali i na radnike. Radnici su prisutniji u inovativnim idejama i procesima, postaju podrška za pametne potpomognute sustave, postaju educiraniji (obuka, IT znanja) te generiraju nova znanja i vještine, organizacija postaje decentralizirana što radnicima omogućava više prostora za odlučivanje. Također, pojavljuje se nova interakcija između čovjeka i stroja s manjim prisustvom radnika unutar samog pogona te proizvodnja tako postaje gotovo u potpunosti autonomna [9].

Neke od prednosti koje Industrija 4.0 donosi proizvodnim poduzećima su [9] [11]:

- Prilagodljiva, agilnija i fleksibilnija proizvodnja
- Dinamičnost procesa
- Jačanje konkurentnosti na tržištu - spremnost na izazove domaćih i stranih tržišta
- Orijentiranost ka individualnim željama kupaca
- Smanjen pritisak i stres na radnike
- Nove dodane vrijednosti, novi oblici rada (obuka radnika) i novi poslovni modeli
- Usmjerenost na produktivnost i efikasnu upotrebu resursa

Čest pojam koji se veže uz Industriju 4.0, odnosno njen konačni produkt je Pametna tvornica (eng. Smart Factory). Postoje razne definicije Pametne tvornice, no jednostavno rečeno, Pametna tvornica je proizvodna okolina u kojoj su svi ljudi, strojevi i oprema unutar poduzeća međusobno povezani i komuniciraju kao preko društvenih mreža [11].

Dakle, proizvodna okolina koja implementacijom sveprisutnih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (eng. Information and Communications Technology, ICT) i sustava te ostalih digitalnih tehnologija reagira na promjene u stvarnom vremenu te pomaže ljudima i strojevima u realizaciji poslovnih zadataka na najoptimalniji način kroz CPS sustav, naziva se pametna tvornica. Glavni cilj pametne tvornice je zadovoljstvo krajnjih korisnika – kupaca [12].

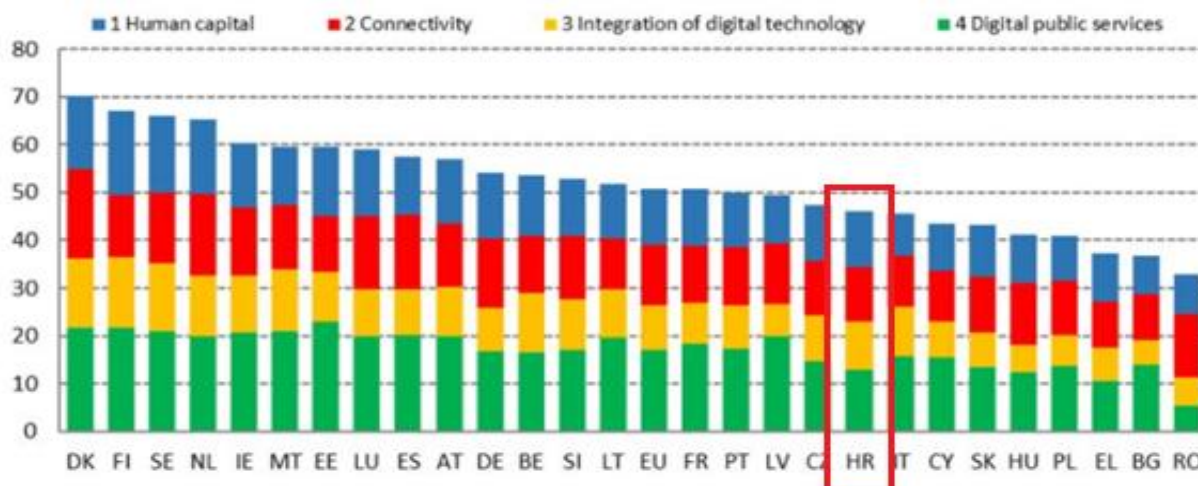
Iako je ovako predstavljena Industrija 4.0 te njen glavni proizvod – Pametna tvornica neophodna ukoliko se države, gospodarstva, industrije i poduzeća žele osnaživati i opstati na konkurentnom tržištu, ona sa sobom nosi i poneke nedostatke [9]:

- Zahtijeva veće napore u istraživanju i razvoju te prilikom implementacije
- Mogući neuspjeh i gubitci ukoliko se implementira neefikasno
- Tehnički i digitalni standardi i tehnologije znaju biti skupe
- Potrebna je kontinuirana nabava i održavanje infrastrukture
- Laka neželjena kontrola uređaja i krađa podataka zbog manjka zaštite – cyber security
- Slaba pokrivenost široko pojasnim internetom u ruralnim područjima
- Potrebna edukacija zaposlenika o sustavima tehnologije
- Mogući otpor operatera i/ili ostalih radnika poduzeća

3.2.1. Stanje Industrije 4.0 u Republici Hrvatskoj

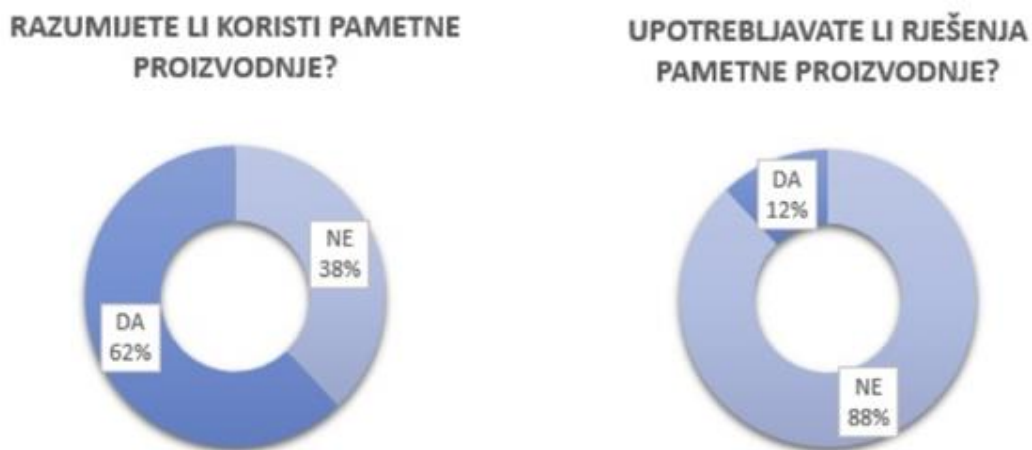
Njemačka nije jedina zemlja koja je prepoznala na vrijeme potencijal Industrije 4.0 i njenih tehnologija. Prednosti su prepoznale i zemlje iz Azije, SAD itd. Sve razvijenije zemlje EU-a danas imaju nacionalne ili regionalne strategije digitalne tranzicije proizvodnje. Ulogu u napretku nemaju samo državne Vlade koje osiguravaju dodatna sredstva koja omogućuju provođenje razvojno istraživačkih projekata i potpomognuta ulaganja, već tu ulogu preuzimaju i pružatelji tehnologija (osiguravajući ključne proizvodne tehnologije – strojeve, robote, senzore, aktuatori i sl.), pružatelji ICT tehnologija, industrijski korisnici, ali i konzultantske kuće koje provode studije i promiču trendove Industrije 4.0 u svojim zemljama i šire [12].

Europska komisija svake godine analizira i prati trendove svih članica EU-a vezano za sveukupne digitalne performanse i napredak u pogledu njihove konkurentnosti – tvoreći Indeks digitalnog gospodarstva i društva (eng. Digital Economy and Society Index, DESI). DESI indeks u svoj izračun uključuje nekoliko dimenzija - povezivost, ljudski kapital, upotrebu digitalnih javnih usluga te integraciju digitalnih tehnologija. Hrvatska je 2021. godine završila ispod prosjeka EU-a [Slika 7.] [13].



Slika 8. DESI indeks za 2021. godinu [13]

Nadalje, u sklopu projekta Smart Factory Hub 2017. godine analizom 26 malih i srednjih poduzeća (MSP) u proizvođačkoj industriji htjelo se saznati koliko su hrvatski poduzetnici upoznati, uključeni i spremni za Industriju 4.0. Većina hrvatskih MSP-ova razumije korist Pametne tvornice i upoznati su s novim trendovima u industriji te imaju namjeru postupno uvoditi pametna rješenja, tehnologije i metode u svoja poduzeća, no samo ih 12% trenutno i nastoji implementirati [Slika 8.] [14].



Slika 9. Rezultati projekta Smart Factory Hub [14]

Hrvatski poduzetnici su pokazali zainteresiranost te smatraju kako su sljedeća četiri područja najvažnija za povećanje konkurentnosti na tržištu [14]:

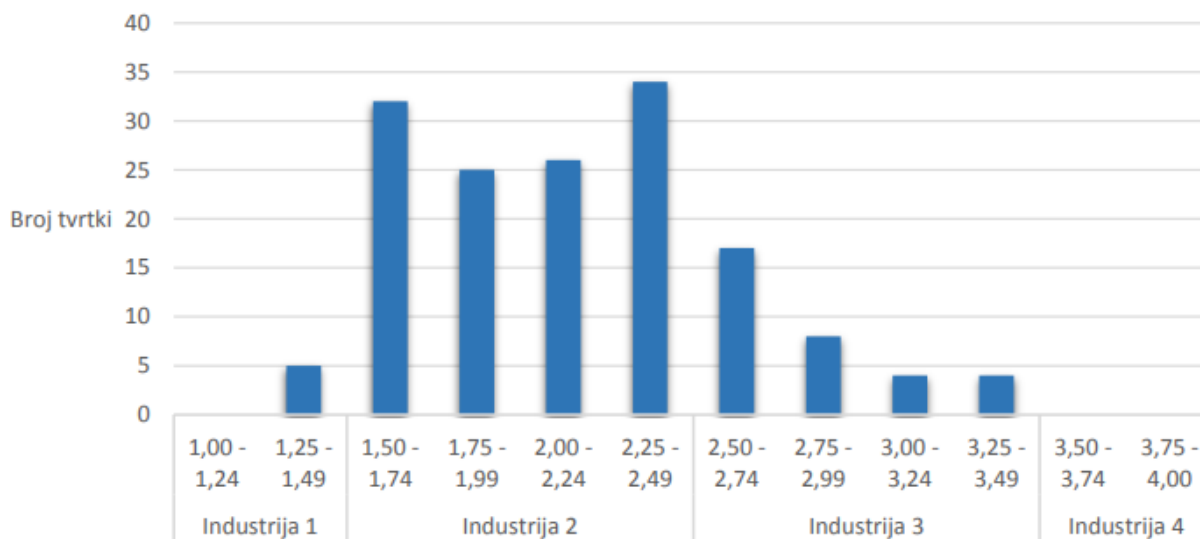
- Bolja kvaliteta proizvoda
- Bolja koordinacija s kupcima
- Smanjeni troškovi proizvodnje
- Bolja usklađenost sa specifikacijama kupca ili regulatornim zahtjevima

Nakon projekta zaključilo se da su hrvatski MSP-ovi voljni više surađivati u budućnosti, a najviše su zainteresirani za tehničku suradnju u proizvodnji. Mali je broj onih MSP-a koji koriste Lean proizvodnju (koja je temelj Industrije 4.0), dok su najutjecajnija područja za povećanje konkurentnosti kvaliteta proizvoda i suradnja s kupcima. Dva najvažnija izazova u implementaciji digitalnih tehnologija su trošak i nedostatak znanja, a iako MSP-ovi razumiju prednosti Industrije 4.0, samo ih 12% radi na poboljšanjima [14].

Treći pokazatelj koji može još jasnije predočiti sliku prisutnosti Industrije 4.0 u Republici Hrvatskoj je istraživanje provedeno u sklopu projekta INSENT, koji je 2015. godine kojim se analizirajući 161 poduzeće došlo do industrijske zrelosti u iznosu od 2,15. U uzorku spektar poduzeća se kretao u sljedećim omjerima [15]:

- Mikro poduzeća (5-9 zaposlenih) – 14%
- Mala poduzeća (10-49 zaposlenih) - 39%
- Srednja poduzeća (50-249 zaposlenih) – 30%
- Velika poduzeća (više od 250 zaposlenih) – 17%

Industrijska zrelost u iznosu od svega 2,15 predstavlja jako nisku razinu. S obzirom i na podatak da je u analizi sudjelovao velik broj poduzeća koji su na najvišoj razini industrijske zrelosti u Hrvatskoj, može se zaključiti da je navedena industrijska zrelost još i manja od brojke 2,15. Iz prikazanog [Slika 8.] [15] vidi se da niti jedno poduzeće nema zrelost veću od 3,5, odnosno da tada nije postojalo poduzeće u Republici Hrvatskoj u području Industrije 4.0 [15].



Slika 10. Industrijska zrelost tvrtki u Republici Hrvatskoj, 2015. [15]

Navedeno istraživanje je provedeno 2015. godine, stoga se može zaključiti da je danas industrijska zrelost nešto veća (procjena je oko 2,7). Trenutno stanje zasigurno u Republici Hrvatskoj ne stagnira. Dio hrvatskih poduzeća postepeno implementira digitalne i zelene tehnologije kojima se približavaju Industriji 4.0. Uglavnom su to srednja i veća poduzeća, dok mala i mikro kaskaju za njima.

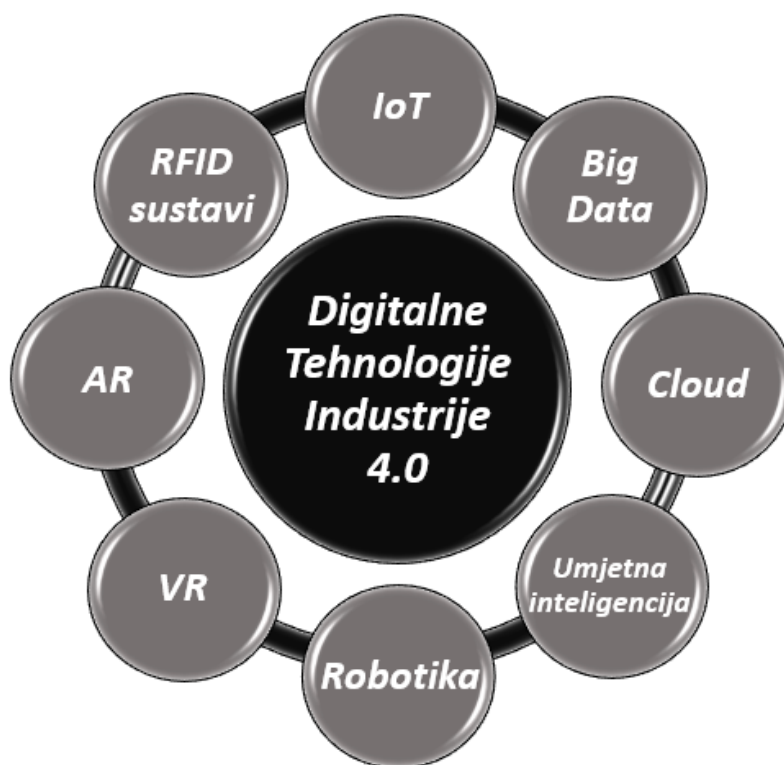
Prema novijem istraživanju Hrvatske narodne banke koje se provodilo na više od 7000 domaćih poduzeća, procjenom i analizom dostupnih informacija o poduzećima je prepoznato 58 poduzeća koja trenutno upotrebljavaju ili nude tehnologiju i usluge prema kriterijima Industrije 4.0, međutim većina njih ne spada u proizvodna poduzeća u uvjetima proizvodnje diskretnih proizvoda [16].

Također, u Republici Hrvatskoj postoje razne nove inicijative i projekti, a u budućnosti će zasigurno biti poticaja i potpora koje će se nuditi (EU fondovi, državni poticaji) i koji će omogućiti poduzećima rast i razvoj u segmentu Industrije 4.0.

4. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI

Industrija 4.0, kojoj je temelj kibernetско-fizički sustav te povezanost i integracija svih elemenata horizontalno te vertikalno u stvarnom vremenu, zahtijeva od poduzeća da napravi i konkretne korake kako bi ono postalo pametno. Ključan korak je digitalizacija poslovnog i proizvodnog procesa te strojnog parka, odnosno digitalna transformacija. Da bi poduzeće transformiralo svoje poslovanje potrebne su joj i digitalne tehnologije, a u tom kontekstu najčešće implementirane tehnologije u proizvodnim poduzećima su:

- Internet stvari (eng. Internet of Things, IoT)
- Velika količina podataka (eng. Big Data)
- Računarstvo u oblaku (eng. Cloud computing)
- Umjetna inteligencija (eng. Artificial Intelligence, AI)
- Robotika (eng. Robotics)
- Virtualna stvarnost (eng. Virtual Reality, VR)
- Proširena stvarnost (eng. Augmented Reality, AR)
- Radiofrekvencijska identifikacija (eng. Radio-frequency Identification, RFID)



Slika 11. Digitalne tehnologije proizvodnih poduzeća

4.1. Internet stvari

Internet svega (eng. Internet of Everything, IoE) predstavlja mrežnu vezu te povezivanje ljudi, procesa, usluga, podataka i stvari pomoću interneta. Internet svega omogućuje nove prilike za organizacije, pojedince i zemlje u ostvarenju povećanja vrijednosti na način da umreži ljude, procese, podatke i stvari [17].



Slika 12. Internet svega [17]

Internet ljudi povezuje ljude na efikasan način. Ljudi imaju ključnu ulogu kod Interneta svega jer donose odluke te definiraju i nadgledavaju procese. Internet podataka omogućava podacima da se transformiraju u informacije, a koje predstavljaju jedan od ključnih resursa nove Industrije 4.0. Internet usluga postaje temelj novih poslovnih modela usmjerenih na pružanje pravih usluga, pravom klijentu, prave kvalitete u pravo vrijeme, dok Internet stvari predstavlja kanal za povezivanje fizičkih objekata i računala unutar organizacija. Internet stvari se odnosi na mrežno povezivanje fizičkih objekata, dakle, Internet stvari ne uključuje ljude i procese u svoju komponentu. Ovako definiran IoT postaje preduvjet za proizvodna poduzeća koja žele djelovati u skladu s Industrijom 4.0 [12].

Spajanje fizičkih objekata (uređaja, strojeva, stvari i ostale opreme) može biti bežično i žičano putem internetskih veza, a ono sa sobom donosi nove mogućnosti u vidu njihovih kontrola, praćenja stanja i pružanja novih usluga. Fizički objekti spajaju se na internet zajedno s pripadajućim senzorima i aktuatorima koji koriste različite vrste lokalnih priključaka kao što su

Wi-Fi ili Bluetooth. Sensori mogu imati i povezivanje šireg područja, kao što su LTE, GSM, 4G, ili danas još poželjniji - 5G. Internet svega, posebice Internet stvari, primjenjuje se u različitim granama industrije i uslužnih djelatnosti, poput medicine, prometa, građevinarstva, arhitekture, poljoprivrede, unutar javnih ustanova, vojske i tako dalje [18].

Implementacija i korištenje Interneta stvari u proizvodnim poduzećima je transformiralo način na koji se roba proizvodi, komunikaciju među samim resursima (strojevima i uređajima) i korištenje podataka kroz informacijske tokove. Prednosti koje IoT direktno nosi sa svojom implementacijom unutar proizvodne okoline su [19] [20]:

- Proizvodi i procesi postaju pametniji – konstantno prikupljanje podataka kojima radnici poznaju trenutno stanje proizvoda/procesa u stvarnom vremenu
- Povećanje efikasnosti i produktivnosti rada – IoT omogućava strojevima i opremi da postaju povezani internetom i pripadajućim softverima kako bi postali automatizirani
- Povećanje energetske učinkovitosti – IoT može pratiti detaljnije podatke o energetskej potrošnji na razini strojeva i uređaja pomoću senzora
- Smanjenje troškova – znanje je moć, a znanje koje se radnicima pruža putem IoT rješenja daje alate koji su potrebni za smanjenje troškova i stvaranje većeg prihoda
- Smanjenje grešaka – smanjenje manualnog rada i unosa znači i smanjenje ljudske pogreške
- Smanjenje neplaniranih zastoja strojeva pomoću prediktivnog održavanja – IoT omogućava neprestano praćenje i monitoriranje stanja strojeva što omogućuje proaktivno djelovanje, odnosno pravovremene aktivnosti održavanja prije nego li dođe do zastoja, kvara ili havarije
- Povećanje kvalitete - zbog stalnog praćenje procesa i stanja strojeva, proizvodi postaju kvalitetniji jer su i strojevi ispravni i precizno održavani
- Povećanje zaštite na radu – također se prati i zaštita ljudi tokom rada, a ukoliko se i dogodi nesreća na radnom mjestu, svi u poduzeću mogu biti obaviješteni kako bi na vrijeme reagirali i kako bi se spriječila takva nesreća u budućnosti



Slika 13. IoT unutar proizvodnog poduzeća [19]

4.1.1. 5G mreže

5G je peta generacija mobilne mreže koja je nasljednik četvrte generacije – 4G. Glavna značajka 5G mreže u odnosu na prethodnika je mogućnost prijenosa većih količina podataka znatno većom brzinom.

5G je temelj za širenje novog potencijala umreženog društva. 5G mreže u proizvodnim poduzećima koriste nove razine brzine i latencije što omogućuje bolju kontrolu nad povezanim uređajima u stvarnom vremenu, eliminira distancu između ljudi i tehnologije, omogućuje sigurne transakcije, produljuje trajanje baterija IoT uređaja, pruža sigurnu komunikaciju, poboljšava upravljanje identitetom i zaštitu od napada. 5G je dizajniran za podršku do milijun uređaja po četvornom kilometru u odnosu na otprilike 60.000 uređaja s 4G mrežom, a upravo ta povećana gustoća nosi dodatne prednosti za IoT i Industriju 4.0 [21].

Tablica 2. Usporedba 5G mreže s prethodnima [21]

Mreža/karakteristike	3G	4G	5G
Širina pojasa	2 mbps	200 mbps	>1 gbps
Latentnost	100-500 milisek	20-30 milisek	<10 milisek
Prosječna brzina	144 kbps	25 mbps	200-400 mbps

4.2. Velika količina podataka

Big Data tehnologija odnosi se na prikupljanje i skladištenje podataka unutar organizacije, koji su veliki i izrazito kompleksni te nisu nužno prethodno obrađeni. Big Data može prikupljati podatke iz različitih izvora (npr. mobilnih uređaja, društvenih mreža, strojeva i njihovih senzora povezanih na IoT), a iz tog razloga se može koristiti ne samo u industrijskim i proizvodnim poduzećima, već i u zelenom menadžmentu, bolnicama, poljoprivredi, javnom sektoru, prometu itd. [22]

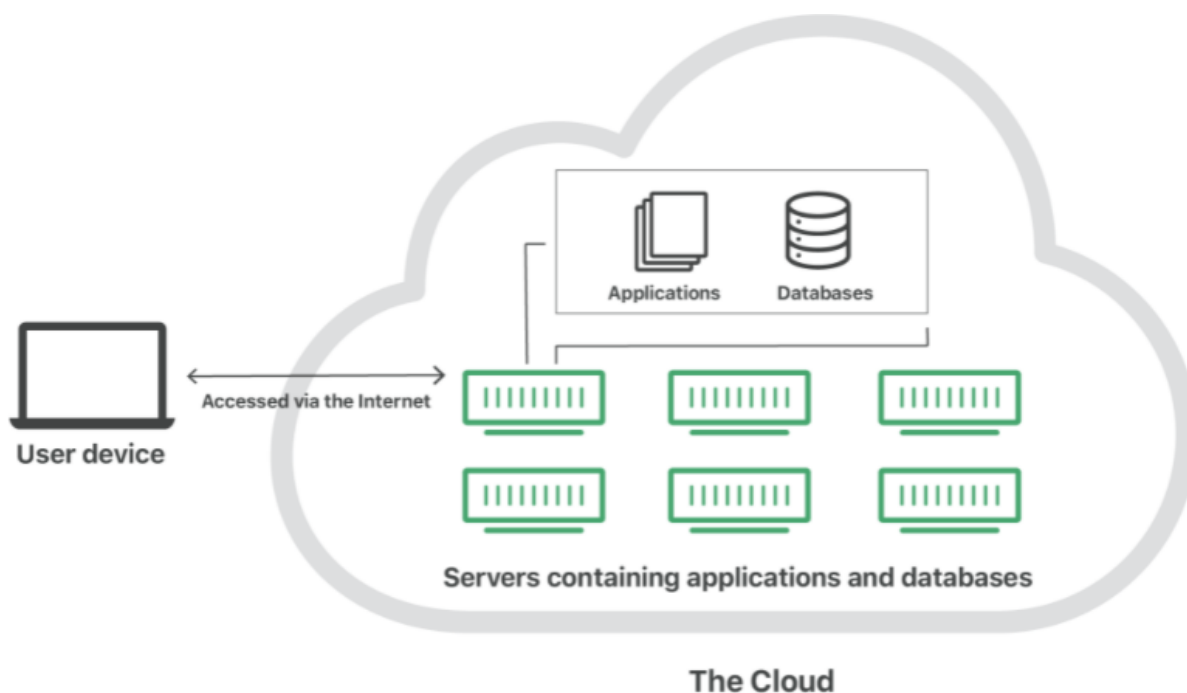
Karakteristika Big date je raznolikost, velika količina i velika brzina prikupljanja podataka. Zbog tih karakteristika te njihove kompleksnosti, tradicionalni softveri za obradu podataka jednostavno ne mogu više upravljati s takvim vrstama podataka. Big Data je usko povezana s ostalim digitalnim tehnologijama Industrije 4.0, poput Interneta stvari (dijeljenje podataka među strojevima, uređajima), Clouda (pohrana podataka) i Umjetne inteligencije (obrada i analiza podataka). Efikasno korištenje Big date unutar proizvodnih poduzeća donosi mnoge prednosti, poput [23]:

- Veća sigurnost poduzeća – veća količina podataka, a kasnije i informacija, donosi i konkretnije odgovore na probleme, a ti odgovori donose veće povjerenje i sigurnost prilikom donošenja odluka
- Razvoj proizvoda – pomoću Big date se može predvidjeti potražnja kupca na način da se grade prediktivni modeli za nove proizvode i usluge
- Prediktivno održavanje – prikupljanje podataka o stanju strojeva i opreme (npr. podaci sa senzora/aktuatora, podaci o greškama, temperaturi,..) i daljnja analiza mogu otkriti potencijalne neplanirane zastoje i kvarove strojeva te time maksimizirati životni vijek
- Strojno učenje – prikupljanje podataka, posebice Big date, omogućava analize i modele strojnog učenja, bez njih strojevi se jedino mogu programirati
- Povećanje efikasnosti – prikupljanjem velikih količina podataka se može analizirati i procijeniti stanje u proizvodnji, povratne informacije kupaca te druge čimbenike kako bi se smanjili budući zastoji i predvidjeli zahtjevi kupaca
- Računalna sigurnost (eng. Cyber security) – Big Data ima sposobnost identifikacije obrazaca u podacima koji upućuju na prijevare i neželjenu krađu podataka
- Potiče inovativnost – prikupljanjem raznih velikih količina podataka o međuovisnostima ljudi, procesa, trendova i sl. se mogu donijeti nove inovativne odluke i ideje za proizvod ili uslugu kupca

4.3. Računarstvo u oblaku

Računarstvo u oblaku (eng. Cloud computing) odnosi se na korištenje poslužitelja/servera (eng. server) kojim se pristupa putem interneta, softvere i baze podataka koje se nalaze na tim spomenutim serverima. Cloud serveri se nalaze u podatkovnim centrima širom svijeta.

Glavna prednost korištenja računarstva u oblaku je ta da poduzeća i njihovi korisnici ne moraju upravljati fizičkim poslužiteljima sami ili pokretati softverske aplikacije na vlastitim računalima, već oblak omogućuje korisnicima pristup istim datotekama i aplikacijama s praktički bilo kojeg uređaja. Obrada i pohrana podataka odvija se na serverima u podatkovnim centrima, a ne lokalno na uređaju korisnika. Zbog toga se korisnici mogu prijaviti primjerice na svoj Instagram račun s novog uređaja nakon prestanka korištenja starog i još uvijek pronaći svoj stari račun na istom mjestu, sa svim fotografijama, videozapisima i povijestima razgovora, odnosno svim podacima. To funkcionira na isti način s pružateljima usluga e-pošte u oblaku, kao što su Gmail ili Microsoft Office 365 te s pružateljima usluga pohrane podataka u oblaku, poput Dropboxa ili Google Drivea [24].



Slika 14. Način rada računarstva u oblaku [24]

Za proizvodna poduzeća prelazak na računarstvo u oblaku donosi sljedeće prednosti [24] [25]:

- Uklanja IT i režijske troškove – nije više potrebno ažurirati i održavati vlastite servere jer će to dobavljač oblaka koji se koristi učiniti sam (posebice mala poduzeća, koja si često ne mogu priuštiti vlastitu infrastrukturu)
- Lakši rad od kuće i međunarodno poslovanje - zaposlenici i kupci mogu pristupiti istim datotekama i aplikacijama s bilo kojeg mjesta i bilo kojeg uređaja
- Omogućava planiranje resursa poduzeća (eng. Enterprise Resource Planning, ERP) i sličnih softvera baziranih na cloud tehnologiji – integracija i povezivanje poslovnih procesa i ostalih odjela (prodaja, logistika, ljudski resursi, računovodstvo, služba za korisnike, planiranje,...) unutar poduzeća s proizvodnjom
- Just-in-time isporuke na zahtjev kupca – analizom pohranjenih podataka na Cloud o povijestima narudžbi se mogu automatski vidjeti narudžbe ili čak izraditi prognoze koje pomažu budućim zahtjevima

4.4. Umjetna inteligencija

Grana računalne znanosti koja se bavi razvojem sposobnosti računala za obavljanjem zadataka i aktivnosti za koje je potreban neki oblik inteligencije, naziva se umjetna inteligencija (eng. Artificial Intelligence, AI). Područje umjetne inteligencije se oformilo u 50-im godinama 20. stoljeća, kako bi bio dobiven odgovor na pitanje da li je moguće napraviti računalo koje će „misliti”. U širem smislu, cilj je umjetnom inteligencijom automatizirati intelektualne zadatke koje obavljaju ljudi. U početku se znanost bavila intelektualno zahtjevnim problemima za ljude – problemi koje je jednostavno matematički definirati. Tako su pravi izazovi za umjetnu inteligenciju postali problemi koji su jednostavni za ljude – intuitivni zadaci poput govora, raspoznavanja slika itd. [25]

Pojam umjetna inteligencija se rabi i za označavanje svojstva pokazivanja inteligencije nekog neživog sustava, odnosno inteligentnog sustava. Najčešće se to odnosi na novije računalne sustave, dok se izraz katkada neutemeljeno primjenjuje i na robote, koji nisu nužno inteligentni. Karakteristike inteligentnog sustava su prilagodljivo ponašanje, učenje na temelju iskustva, korištenje velikih količina znanja i podataka, pokazivanje svojstva svjesnosti, komunikacija s čovjekom prirodnim jezikom i govorom te dopuštanje pogreške i nejasnoća u komunikaciji. Prema stupnju inteligencije, umjetna inteligencija se dijeli se na jaku i slabu. Jakom umjetnom inteligencijom se smatra ona koja je u tolikoj je mjeri razvijena da može razmišljati na istoj

razini kao i čovjek. Za prepoznavanje takvih oblika inteligencije, Turing je razvio test prema kojem je računalo inteligentno ako više od 30% ispitanika koje je s njim neizravno komuniciralo, nije sposobno odrediti je li riječ o čovjeku ili stroju. Slabom umjetnom inteligencijom se smatra ona koja može pripisati tek neka inteligentna svojstva, poput mogućnosti prepoznavanja govora [26].

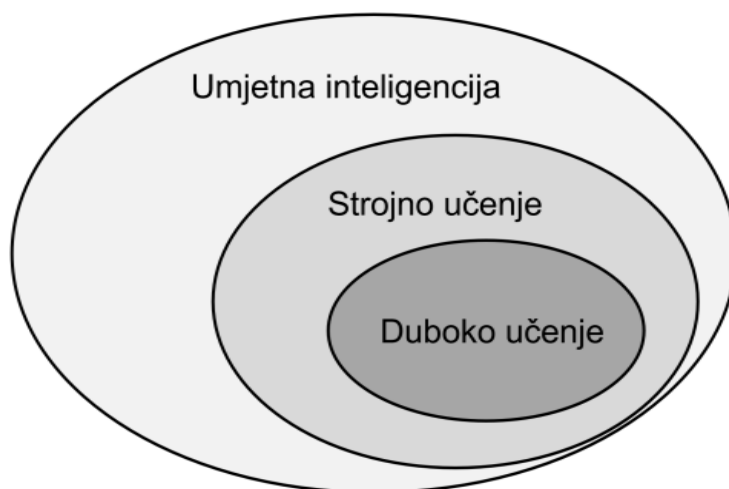
AI se može primjenjivati u svim proizvodnim i uslužnim djelatnostima: u proizvodnji, financijama i računovodstvu, marketingu, logistici, zdravstvu, maloprodaji, telekomunikaciji, poljoprivredi itd. Primjenjuje se i u svakodnevnom životu: Siri, Alexa, Cogito, Tesla, Rimac automobili, Netflix, Amazon, simulacijske igre (npr. šah) [25].

Općenito, funkcije inteligentnog sustava, pa tako i u proizvodnim poduzećima su [25] [26]:

- Prikupljanje podataka iz proizvodne okoline te njihova obrada znanjem čime pružaju informacije
- Interakcija s radnom okolinom (linije, strojevi, uređaji itd.)
- Komunikacija s čovjekom ili s drugim inteligentnim sustavima
- Zaključivanje i donošenje odluka u proizvodnim okolinama koja su dinamična
- Planiranje proizvodnje i resursa (ljudi, strojeva, energije,...) u raznim uvjetima

4.4.1. Strojno učenje i duboko učenje

AI kao polje obuhvaća između ostalog, strojno učenje i duboko učenje. Na početku se smatralo da je moguće eksplicitno programirati ljudsko znanje kroz skup pravila - simbolička umjetna inteligencija (ekspertni sustavi), međutim, simbolička umjetna inteligencija pokazala se neuspješnom kod složenijih problema, te je upravo zbog toga nastalo strojno učenje [25].



Slika 15. Veza između AI-a, strojnog učenja i dubokog učenja [25]

Strojno učenje je područje znanosti koje računalima daje sposobnost da uče bez da su eksplicitno programirana, odnosno bez ljudskog programiranja. Matematički temelji strojnog učenja su linearna algebra, vjerojatnost i statistika, diferencijalni i integralni računi te matematička optimizacija. Strojno učenje se sastoji od triju ključnih aktivnosti [25]:

- Odabira vrste modela (složenost - broj parametara, vrsta algoritma)
- Učenja modela (optimizacija funkcije gubitka s obzirom na parametre)
- Evaluacija (vrednovanje) modela i korekcija pogrešaka

Metode strojnog učenja se mogu podijeliti na [25]:

- Nadzirano učenje - cilj je predikcija nove vrijednosti odzivne varijable na temelju novog opažanja
- Nenadzirano učenje - ciljevi su grupiranje, otkrivanje vrijednosti koje odstupaju i smanjenje dimenzija skupa podataka
- Pojačano učenje - cilj simuliranog agenta (koji je u interakciji sa svojom okolinom) je maksimizirati akumuliranu nagradu

Duboko učenje je grana strojnog učenja koja koristi metode za učenje većeg broja razina reprezentacija sirovih ulaznih podataka primjenom slijeda jednostavnih nelinearnih transformacija, pri čemu svaka slijedeća razina reprezentacije ima viši stupanj apstrakcije u odnosu na prethodnu razinu. Primjenu nalazi upravo kod problema koji su teški za tradicionalni pristup strojnom učenju, poput računalnog vida i obrade jezika. Sposobnost obrade sirovih podataka bez potrebe da se koristi ekspertno znanje o istraživanoj domeni kod izvlačenja i formiranja važnih značajki (eng. Feature engineering), ističe se kao temeljna prednost ovog pristupa u odnosu na konvencionalne metode strojnog učenja. Primjeri primjene strojnog i dubokog učenja u proizvodnji su mnogobrojni, poput predikcije istrošenosti alata, omogućavanje prediktivnog održavanja, nadziranje stanja proizvoda u bilo kojem trenutku s ciljem poboljšanja kvalitete, predikcija potrošnje električne energije u proizvodnji, nadzor i predikcije raznih proizvodnih tehnologija (npr. uvijanje materijala, količina skinutog materijala u procesu poliranja, prinos peći za taljenje čelika, nadzor hrapavosti površine, lasersko zavarivanje,..), procjena troškova, ali i šire – npr. izrada digitalnog blizanca. Alati koji nalaze čestu primjenu kod strojnog učenja su Python, R, Matlab, Java, C++, MySQL i dr., dok su najpopularnije biblioteke za strojno učenje TensorFlow, Scikit-learn, Keras, PyTorch, mxnet i mnogi drugi [25].

4.4.2. Digitalni blizanac

Umjetna inteligencija, posebice strojno učenje, često je korištena tehnologija u simulacijskim softverima i virtualnim modelima fizičkih okolina, poput digitalnog blizanca. Digitalni blizanac je virtualni prikaz nekog fizičkog objekta ili sustava, primjerice proizvodnog sustava, koji obuhvaća njegov životni ciklus, neprestano se ažurira iz prikupljenih podataka u stvarnom vremenu te koristi simulacije i strojno učenje kako bi donio odluke. Iako simulacije i digitalni blizanac koriste digitalne modele za repliciranje različitih procesa sustava, digitalni blizanac predstavlja stvarno virtualno okruženje, što ga čini znatno bogatijim za proučavanje. Razlika između digitalnog blizanca i simulacija je uglavnom pitanje razmjera: dok simulacija obično proučava jedan određeni proces, digitalni blizanac može sam pokrenuti bilo koji broj korisnih simulacija kako bi proučavao više procesa, pa čak i kompletnu proizvodnu okolinu. Također, simulacijama često nisu potrebni podaci u stvarnom vremenu, dok digitalni blizanac donosi odluke u stvarnom vremenu prikupljanjem podataka sensorima sa strojeva, uređaja i iz okoline općenito [27].

4.5. Robotika

Robotika je grana inženjerske znanosti koja se bavi dizajnom, konstrukcijom, proizvodnjom i primjenom robota u različitim okolinama, a najčešće u proizvodnim sustavima. Roboti su široko rasprostranjeni u različitim industrijama gdje obavljaju zadatke koja su tradicionalno bila isključivo manualna. Danas se najčešće primjenjuju u uvjetima jednostavnih operacija koje se ponavljaju, u uvjetima u kojima čovjek ne može doći do radne točke ili u uvjetima koja su opasna za ljudsko zdravlje. Mnogi aspekti robotike primjenjuju umjetnu inteligenciju u njihov rad, gdje onda roboti postaju opremljeni ekvivalentom ljudskih osjetila, poput vida, dodira i osjeta (npr. temperature). Takva robotizacija omogućuje donošenje jednostavnijih odluka koji su praćeni sensorikom. Trenutna usmjerenja robotike su na osmišljavanju robota s visokim stupnjem samodostatnosti koji će omogućiti mobilnost i donošenje odluka u nestrukturiranom okruženju, tj. okruženju sklono neplaniranim promjenama [28].

Autonomnost i povezanost robota s drugim resursima unutar proizvodne okoline donosi veliki napredak i prednosti u okruženjima Industrije 4.0, poput:

- Bolje kvalitete proizvoda i konzistentnost procesa
- Maksimiziranje produktivnosti i proizvodnog kapaciteta
- Očuvanje zdravlja i sigurnosti radnika, izbacivanje dosadnih ponavljajućih aktivnosti

4.6. Virtualna i proširena stvarnost

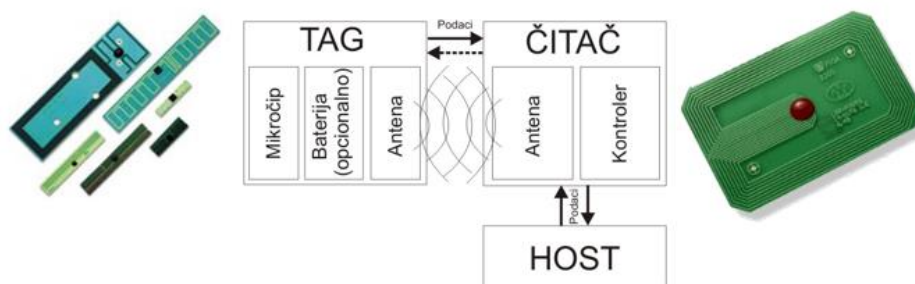
Proizvodna poduzeća se katkada suočavaju s problemom nedostatka radne snage koja posjeduje specijalizirana znanja i vještine potrebne za efikasan rad. Pojedine uloge u proizvodnim okolinama zahtijevaju mjesece i godine „uhodavanja“ i osposobljavanja radne snage. Kako bi se radnicima olakšao rad u takvim uvjetima, proizvodna poduzeća su počela koristiti nove tehnologije – virtualnu (VR) te proširenu (AR) stvarnost. VR i AR se danas tako svrstavaju u tehnologije Industrije 4.0. VR i AR su simulacijske tehnologije koje su vrlo slične. VR tehnologija koristi se zaslonom uređaja i naočalama na način da korisnik vidi samo svoje virtualno okruženje, dok AR koristi tehnologiju transparentnog prikaza na zaslonu uređaja na način da korisnik i dalje može vidjeti svoje okruženje. Prednosti ovih dviju tehnologija u proizvodnim poduzećima su [29]:

- I do četiri puta veća brzina edukacije i osposobljavanja radnika za specijalizirane radnje
- Nepostojanje rizika od oštećivanja stvarne (fizičke) opreme
- Razvijanje novih metoda i stilova učenja i upravljanja opremom
- 3D obilasci proizvodnih pogona u virtualnoj stvarnosti
- Omogućuje aktivnostima održavanja (i njihovih treninga) rad s distance
- Potpora logističkim aktivnostima

4.7. RFID sustavi

Radiofrekvencijski uređaji i identifikacija spada u grupu tehnologija automatskih identifikacija (uz npr. bar-kod, glasovnu tehnologiju, vizijske sustave, biometriku i sl.). RFID sustavi koriste radio valove za jedinstvenu identifikaciju označenih proizvoda. RFID komponente su [30]:

- Transponder (eng. Tag) – programiran je s informacijama
- Čitač (eng. Reader) – ima antenu koja šalje radio signal za aktivaciju taga, čitanje ili pisanje na tag



Slika 16. Komponente RFID sustava [30]

RFID ima mnoge prednosti u svome radu i uspoređujući s drugim autoidentifikacijskim tehnologijama. RFID ne zahtijeva direktnu liniju vidljivosti između taga i čitača za razmjenu podataka, te se stoga podaci mogu čitati kroz ambalažu/proizvod. Nezahtjevanjem direktne linije vidljivosti izbjegava se potrebna orijentacija označenih proizvoda u sustavima automatske identifikacije, što je karakteristično za bar-kod tehnologiju. S fiksno postavljenim bar-kod čitačem točnost čitanja u prvom prolazu iznosi 95 do 98%, a u otežanim uvjetima i s lošim održavanjem može pasti i ispod 90%. U većini uvjeta RFID može ostvariti 99,5 do 100% točnost čitanja u prvom prolazu. RFID čitači mogu automatski prepoznati i razlikovati sve tagove u svom polju čitanja i simultano procesirati podatke, imaju sposobnost čitanja i nekoliko stotina tagova u sekundi. Nedostatak RFID-a je to što su bar-kod tehnologije jeftinije, ali one mogu biti i zajedno u kombinaciji. Danas se upotrebljavaju i tzv. pametne naljepnice (eng. Smart label) koje su tiskane posebnim pisačem s ugrađenim RFID čipom i bar-kodom. RFID sustavi su relativno niske cijene i vrlo efikasni u svojim primjenama, stoga su proizvodnim poduzećima primamljive [30].

RFID nije novija tehnologija, ali je često spominjana tehnologija Industrije 4.0 jer donosi mnoge prednosti za proizvodne i poslovne procese [30] [31]:

- Povećanje efikasnosti – automatsko praćenje resursa RFID sustavom oslobađa radnike da rade druge aktivnosti
- Smanjenje ljudskih pogrešaka – nepostojanje potreba za ljudskom intervencijom znači i smanjenje ljudskih pogrešaka
- Praćenje WIP-a (eng. Work in Progress) – RFID omogućava praćenje proizvoda i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, a često se povezuje i sa softverima za planiranje proizvodnje, poput ERP-a
- Primjena u različitim okolinama - tehnologija izrade tagova omogućuje njihovu primjenu i u tehnološki vrlo zahtjevnim i nepogodnim uvjetima, kao što je čitanje pod vodom, na ekstremnim temperaturama (-40 C do 240 C), zaprašenim i prljavim pogonima i sl.
- Efikasnije upravljanje logističkim aktivnostima – RFID je česta tehnologija WMS sustava (eng. Warehouse Management System) pomoću koje se prati i kontrolira kretanje i stanje zaliha

Tablica 3. Pregled tehnologija i njihovih prednosti za proizvodna poduzeća

Tehnologije Industrije 4.0	Prednosti
Internet stvari	Proizvodi i procesi postaju pametniji, povezivanjem internetom se povećava efikasnost i produktivnost rada, energetska učinkovitost i kvaliteta, smanjuju se troškovi i greške u radu, omogućava se prediktivno održavanje, bolja zaštita na radu
Velika količina podataka	Sigurnost prilikom donošenja odluka, prediktivno održavanje, strojno učenje, povećanje efikasnosti, računalna sigurnosti, poticaj inovacijama
Računarstvo u oblaku	Uklanjanje IT i režijskih troškova, rad od kuće i iz inozemstva, podrška softverima za planiranje proizvodnje (npr. ERP), Just-In-Time isporuke
Umjetna inteligencije	Obrada podataka znanjem pruža informacije, interakcija s radnom okolinom, komunikacija čovjek-inteligentni sustavi, zaključivanje i donošenje odluka, planiranje proizvodnje i resursa, strojno učenje i simulacije
Robotika	Kvaliteta proizvoda, konzistentnost procesa, maksimiziranje produktivnosti i proizvodnih kapaciteta, očuvanje zdravlja i sigurnosti, izbacivanje ponavljajućih aktivnosti
Virtualna i proširena stvarnost	Povećanje brzine edukacija, treninga i obuke radnika (do 4x), nepostojanje rizika od oštećivanja fizičke imovine, razvijanje novih metoda i stilova upravljanja, 3D obilasci pogona, omogućuje aktivnostima održavanja rad s distance, potpora logističkim aktivnostima
RFID sustavi	Povećanje efikasnosti, smanjenje ljudskih pogrešaka, praćenje WIP-a, primjena u različitim okolinama, efikasnije upravljanje logističkim aktivnostima

5. ZELENA PROIZVODNJA

Poljoprivreda, urbanizacija i moderna masovna proizvodnja su čovječanstvu mnogo donijele, ali su prirodi i okolišu oduzele. Svakodnevno se onečišćuju zrak (izgaranjem krutih goriva, emisijama stakleničkih plinova, fotokemijskim smogom, uzgojem stoke), voda (industrijskim otpadnim vodama, raznim kemikalijama i otapalima, zagađenjem podzemnih voda, procesima eutrofikacije) i tlo (krčenjem šuma, otpadom, propadanjem tla, iscrpljivanjem nutrijenata) [32]. Godine štetnog utjecaja su učinile svoje, ubrzanje klimatskih promjena i ograničenost resursa za proizvodnju više nisu potencijalna tema i puka priča, već ozbiljni globalni problemi, znanstveno dokazani.

Društveno odgovorno poslovanje je koncept u kojem poslovni subjekt odlučuje na dobrovoljnoj osnovi doprinosti boljem društvu i čistijem okolišu, u interakciji s ostalim dionicima [32].

Tablica 4. Dimenzije društveno odgovornog poslovanja [32]

Upravljanje ljudskim resursima	Jednaki uvjeti i plaće za sve radnike, sigurnost zaposlenja, cjeloživotno učenje
Zdravlje i sigurnost na radu	Redoviti i izvanredni pregledi, zaštita na radu, zdrava radna okolina, promicanje zdravog života
Prilagodavanje promjenama	Alternativne strategije, restrukturiranje na socijalno odgovoran način, zajednički rad poduzeća
Upravljanje utjecajem na okoliš i prirodne resurse	Manje emisija štetnih tvari, manje količina otpada, ekološki proizvodi,...

5.1. Međunarodni zeleni standardi, uredbe i direktive

Međunarodna organizacija za standardizaciju (eng. International Organization for Standardization, ISO) međunarodno je tijelo za donošenje norma. ISO je sastavljen od predstavnika raznih nacionalnih normizacijskih tijela, što ga čini kao takvim najutjecajnijim u svijetu normiranja. ISO norme koje se tiču zelenog upravljanja predstavljaju standarde i smjernice koje organizacije (poduzeća) moraju slijediti i ispuniti kako bi dobile certifikat od kompetentnih, nepristranih i valjanih certifikacijskih tijela koja su akreditirana za izdavanje takvih certifikata drugim organizacijama [33].

Vezano za uredbe i direktive, većina zakonodavstva koja su potrebna za očuvanje okoliša i zeleno upravljanje su donesena u globalnim organizacijama, poput EU-a. Sljedeći je izazov primijeniti ta pravila u praksi. Jedna od zadaća Europske komisije jest provjeriti poštuju li se ti zakoni. Standardi su visoki, i kada države zatraže pristupanje EU-u ponekad je teško uskladiti zakone o zaštiti okoliša s normama EU-a [34].

5.1.1. ISO standardi

Jedna od najpoznatijih svjetskih familija normi jest ISO 14000 familija. Ona predstavlja skup standarda povezanih s održivim, a posebice zelenim upravljanjem okoliša te smjernice organizacijama za minimiziranje štetnog utjecaja na okoliš. ISO 14000 familija slična je ISO 9000 familiji normi – sustavima upravljanja kvalitetom, koji pridonose ekonomskom aspektu održivosti. Obje familije stavljaju fokus na procese i način na koji je proizvod usluga proizvedena, ne i na sam proizvod.

Neke od normi iz ISO 14000 familije su [33]:

- ISO 14001 sustav upravljanja okolišem – zahtjevi i upute za uporabu sustava upravljanja okolišem
- ISO 14006 sustav upravljanja okolišem – smjernice za uključivanje ekološkog dizajna (eng. Eco-design) u organizacijski sustav
- ISO 14020 do ISO 14025 – ekološke oznake i izjave
- ISO 14031 upravljanje okolišem – smjernice i procjena učinka na okoliš
- ISO 14040 upravljanje okolišem – smjernice o načelima, okvir rada i procjena životnog ciklusa (eng. Life Cycle Assessment) proizvoda
- ISO 14051 upravljanje okolišem – obračun troškova protoka materijala
- ISO 14062 upravljanje okolišem – integracija ekoloških aspekata u konstruiranju (eng. Design) i razvoju proizvoda
- ISO 14064 – staklenički plinovi – set alata organizacijama za mjerenje, kvantificiranje i smanjenje emisija stakleničkih plinova
- ISO 14090 – adaptacija organizacije na klimatske promjene - principi, zahtjevi i upute
- ISO 14065 – opća načela i zahtjevi koja mora zadovoljiti auditorij certifikacijskih tijela za ocjenu organizacije prema ISO 14064 norme

5.1.2. *Direktive Europske unije*

Direktive koje objavljuje Europska komisija, a povezane su s zelenom proizvodnjom, predstavljaju upute i prijedloge o postupanju s različitim resursima tokom životnog ciklusa proizvoda te otpadu i načinu postupanja s istim pri kraju životnog vijeka. Neke od njih su [34]:

- Direktiva o baterijama i akumulatorima
- Direktiva o kraju životnog vijeka vozila
- Direktiva o pakiranju i otpadu pakiranja
- Direktiva o ograničavanju opasnih supstanci iz električne i elektronične opreme
- Direktiva o otpadnim uljima
- Direktiva o otpadu električne i elektronične opreme
- Direktiva o potrošnji energije
- Direktiva o eko dizajnu
- Direktiva o sustavu ekološkog upravljanja i neovisnog ocjenjivanja

Direktiva o sustavu ekološkog upravljanja i neovisnog ocjenjivanja (eng. Eco-management and Audit Scheme) - EMAS je instrument upravljanja razvijen od strane Europske komisije namijenjen poduzećima i organizacijama za procjenu, poboljšanje i izvještavanje o učinku na okoliš. EMAS-om organizacije procjenjuju njihov utjecaj djelatnosti i aktivnosti na okoliš, a o tome informiraju javnost (o trenutnoj procjeni stanja utjecaja) te unapređuju učinkovitost rada u skladu sa zahtjevima zaštite okoliša. U Republici Hrvatskoj trenutno su tri poduzeća registrirana u EMAS registru: HiPP Croatia d.o.o., Končar – energetika i usluge d.o.o. te Premifab d.o.o [34].

5.2. **Zeleni menadžment**

Zeleni menadžment (eng. Green management) je paradigma koja uključuje: poboljšanje svijesti o okolišu, korištenje energetske prihvatljivih resursa (npr. obnovljivi izvori energije), korištenje ekološki prihvatljivih tehnologija, ponovnu upotrebu otpada te djelatnosti recikliranja (počevši od proizvodnih aktivnosti poduzeća do pakiranja i isporuke potrošačima). Poduzeća su danas itekako postala svjesna toga da okoliš mora biti očuvan. Fokus proizvodnim poduzećima postaje usmjeren prema zelenom upravljanju kao rezultatu lošeg stanja okoliša, ali i drugih globalnih problema, kao npr. glad i oskudice, problemi koji nastaju unatoč razvijenom društvu. Tako se proizvodna poduzeća transformiraju s tradicionalnog mentaliteta upravljanja na

ekološki orijentirano zeleno upravljanje. Cilj zelenog menadžmenta je osigurati izvođenje operativnih aktivnosti u sinergiji s okolišem te uskladiti poslovne politike, tehnologije, vizije i ciljeve s okolišem kako bi se omogućio kontinuirani rast održivog razvoja [35].

Zeleni menadžment, često i upravljanje okolišem (eng. Environmental management) proizvodnih poduzeća stavlja fokus na upravljanje aktivnostima koja imaju posredno (ili potencijalno) utjecaj na okoliš, a da bi poduzeće efikasno upravljalo tim segmentom, potreban im je i sustav upravljanja (eng. Environmental Management System, EMS). Kvalitetan EMS sustav ima sljedeća obilježja [32]:

- Uspostavljanje transparentne hijerarhije odgovornosti osoblja odgovornog za pitanja sustava upravljanja okolišem
- Pripremanje i objavljivanje godišnjih izvješća o djelovanju u području okoliša (npr. kao dio EMAS-a ili ISO 9001/14001 standarda)
- Uspostavljanje unutarnjih ciljeva zaštite okoliša, redovito preispitivanje istih i njihovo objavljivanje u godišnjim izvješćima
- Redovito praćenje djelovanja i napretka u svrhu postizanja politike sustava upravljanja okolišem
- Redovito obavljanje procjene rizika radi prepoznavanja opasnosti i štetnosti
- Redovito djelovanje u skladu s uspostavljenim mjerilima i preispitivanje postupaka proizvodnje, pročišćavanja otpadne vode i plina na vlastitoj potrošnji vode i energije, nastajanju otpada i sl.
- Provođenje odgovarajućeg programa osposobljavanja za zaposlenike i upute za izvršitelje radova na lokaciji; primjena dobre prakse održavanja u svrhu osiguranja ispravnosti rada tehničkih uređaja

Postoji nekoliko razloga zbog čega poduzeća uvode sustav upravljanja i zeleni menadžment u svoje poslovne procese [32]:

- Društveno odgovorno poslovanje
- Potreba poduzeća da se prilagode okolišnim regulativama
- Smanjenje utjecaja proizvodnih procesa na okoliš (okolišna osviještenost)
- Implementacija ekološki prihvatljivih resursa koja smanjuju troškove proizvodnje
- Informiranje korisnika o svojoj okolišnoj osviještenosti kao dio marketinga

5.3. Zelene tehnologije pogodne za proizvodna poduzeća

Poduzeća unutar EMS-a različitim alatima i tehnologijama nastoje upravljati sustavom kvalitetno i na ispravan način. Takvi alati i tehnologije će se koristiti ovisno o djelatnostima s kojima se sama organizacija bavi te njihovim procesima i mogućnostima. Problemi se nastoje ukloniti u potpunosti ili reducirati na samom izvoru [Slika 16.] [32].



Slika 17. Problematika kojima se bave zelene tehnologije [32]

5.3.1. Eko dizajn

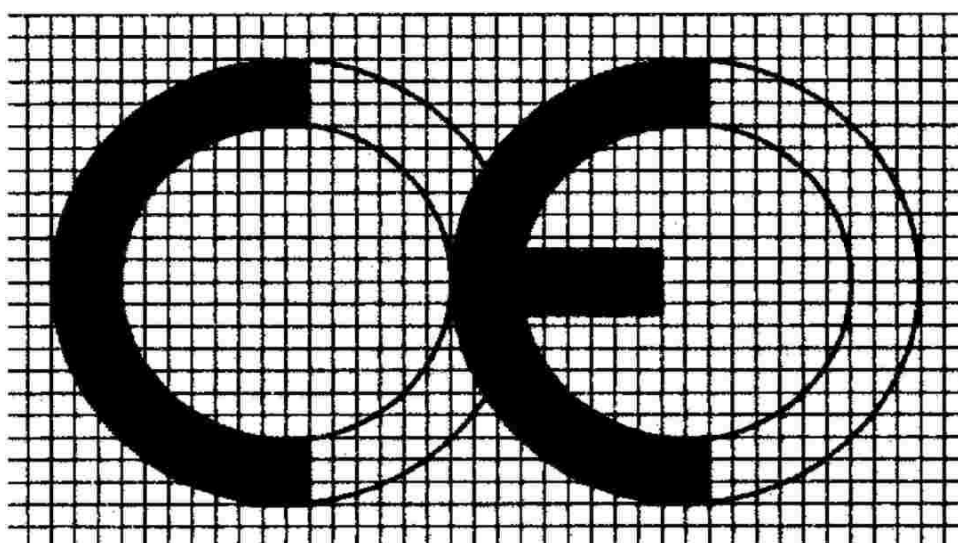
Eko dizajn je postupak u kojemu se prilikom osmišljavanja i dizajniranja proizvoda procjenjuje njegov utjecaj na okoliš kroz cijeli životni ciklus. Osim utjecaja na okoliš, procjenjuju se i utjecaji na zdravlje i sigurnost svih dionika, posebice potrošača. Procjena utjecaja tokom životnog ciklusa proizvoda sastoji od razmatranja [36]:

- Ulaznih sirovina i materijala
- Nabave i transporta
- Proizvodnje
- Upotrebe i rukovanja
- Gospodarenja otpadom kada proizvod postane otpad

Eko dizajn stvara sve veće potrebe za radnom snagom specijaliziranom za zeleni i održivi razvoj, poput inženjera materijala ili inženjera za okoliš. Prilikom osmišljavanja i dizajniranja proizvoda ključno je da što više sudionika proizvodnog poduzeća bude uključeno u te aktivnosti, npr. voditelji projekta, konstruktori, nabava, proizvodnja, kontrola i ispitivanja, vanjski transport itd., odnosno svi koji su uključeni u životni ciklus proizvoda, od nabave

sirovina, preko proizvodnih procesa do logistike. Na taj način se najefikasnije analiziraju učinci proizvoda na okoliš te na sigurnost i zdravlje potrošača [36].

Posebnu pažnju i dodatnu važnost eko dizajnu je pridonijela Europska komisija izdajući direktivu o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda [vidi poglavlje 5.1.2.], čime svi proizvodi koji se plasiraju na europsko tržište moraju biti usklađeni sa zahtjevima eko dizajna. Unutar direktive izrađena je i dobro poznata oznaka CE [Slika 17.] koja obavezno stoji na mnogim proizvodima unutar tržišta EU-a, a oznaka potvrđuje da proizvod ispunjava određene zahtjeve (izdane po propisima EU-a) prema potrošačima i okolišu. Oznaka mora biti visine od najmanje 5 mm, a ako se oznaka CE smanjuje ili povećava, moraju se poštovati omjeri iz gornjeg mrežastog crteža [37].



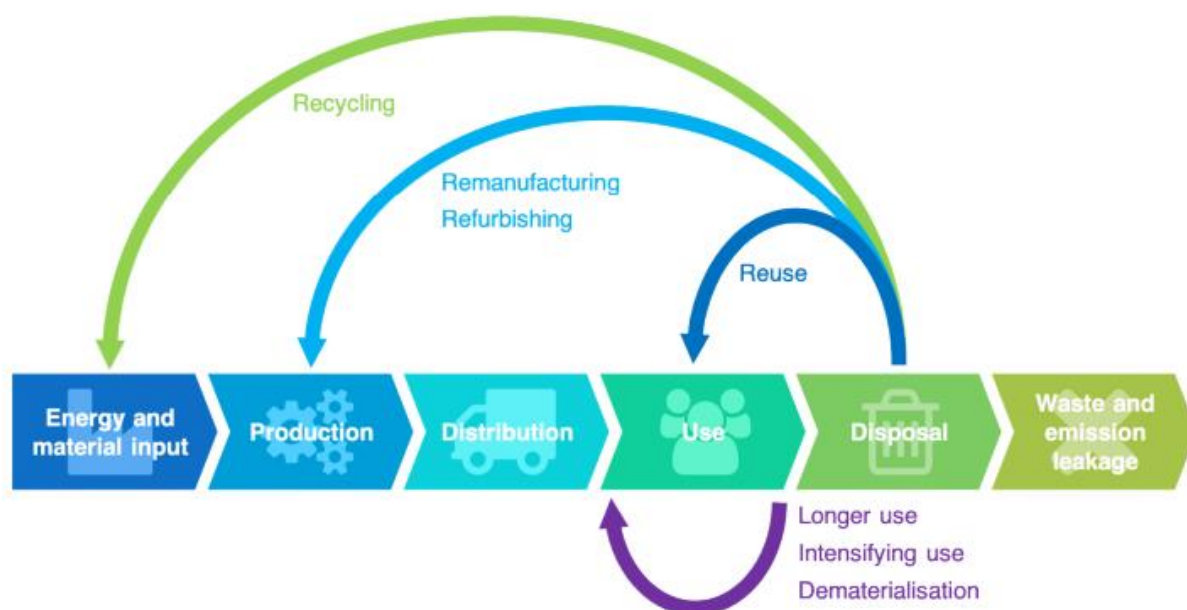
Slika 18. Oznaka CE iz direktive o eko dizajnu [37]

5.3.2. Cirkularna (kružna) ekonomija

Cirkularna, ili kružna ekonomija, zamjenjuje danas najčešći model – linearni model [Slika 18.] [39] koji radi po principu uzmi, iskoristi i odbaci. U proizvodnim poduzećima cirkularnom ekonomijom se resursi upotrebljavaju tako da se maksimizira trajanje vrijednosti svakog proizvedenog proizvoda na način da se eliminira ili minimizira nivo otpadnog materijala koji ne može biti ponovno upotrebljiv pri kraju životnog vijeka proizvoda. Glavi cilj cirkularne ekonomije je da se poveća iskorištenost resursa koji se na kraju upotrebnog ciklusa ponovno vraćaju u proizvodni proces u cilju stvaranje novih vrijednosti, npr. hrana koja je otpisana se može donirati, odvajanje određenih dijelova iz proizvoda i uređaja koji se mogu obnoviti i ponovno iskoristiti itd. [38]

Uz cirkularnu ekonomiju se tako vežu pojmovi „4R“ [39]:

- Redizajn (eng. Redesign)
- Ponovna upotreba (eng. Reuse)
- Popravak s ciljem ponovne upotrebe (eng. Recover)
- Recikliranje (eng. Recycle)



Slika 19. Konverzija linearnog u kružni model [39]

Primjer redizajna može biti promjena oblika čepa na ambalaži obične vode. Cilj takvog redizajna je povećanje materijske efikasnosti, odnosno načiniti istu funkciju (zatvaranje boce čepom) s manje materijala (i energije). Uzmimo primjer čepa kojemu se originalna masa od 2,46 grama smanji na 1,64 gram. Razlika u masi je tada 0,82 grama. Kada bi proizvodno poduzeće proizvodilo 100 milijuna takvih boca godišnje, ostvarila bi se ušteda na materiju od 82 tone. Prosječno, materijal plastike kojim se izrađuje čep košta 1500 €/t, što znači da bi poduzeće godišnje uštedilo 123.000 €. S ekološkog stajališta, za istu funkciju i ekonomsku aktivnost, 82 tone manje plastike znači veća efikasnost u pogledu energije i resursa za gospodarstvo, a isto tako i manje emisija u okoliš [39].

Ponovna upotreba se najčešće radi kod staklene višekratne ambalaže, izbacivanjem jednokratne polimerne ambalaže. Ponovna upotreba postoji i kroz centre za prihvata i ponovnu uporabu, gdje se potencijalno upotrebljiv otpad, posebno većih dimenzija prikuplja na način da se ne uništi i da ne pokisne. Otpadni predmeti se prihvaćaju i inicijalno pregledavaju te se utvrđuje stanje i definira smjer daljeg postupanja (npr. popravak – recover). Predmeti koji se prihvaćaju u takvim

centrima su tekstil, obuća i odjeća, sportski rekviziti, namještaj i kućna galanterija, bijela tehnika, elektronika i elektrotehnika, igračke i oprema za djecu, alat, građevinski pribor i materijal, knjige, vozila i plovila itd. [39]

Recikliranje je izdvajanje otpadnih materijala ili predmeta s ciljem nekog oblika ponovnog korištenja u ekonomskom sustavu. Najčešći oblik recikliranja je onaj u kojem se otpadne tvari vraćaju u sustav kao sekundarna sirovina za proizvodnju istog ili sličnog proizvoda. Recikliranje obvezno uključuje neki oblik odvojenog prikupljanja, pripremu za tržište i samu preradu u novi proizvod. Važna odlika recikliranja je povećanje stupnja održivosti društva jer smanjuje zagađenje otpadom, smanjuje specifični utrošak energije u proizvodnji i donosi odgovorno postupanje s resursima. Kvaliteta recikliranja definirana (ograničena) je načinom izdvajanja materijala, odnosno otpada iz sustava koji se može reciklirati. Najčešće se pod recikliranjem misli na materijalno recikliranje, koje može stvarati proizvode iste, više ili niže vrijednosti po jedinici mase proizvoda [39]:

- Iste - recycling
- Niže – downcycling
- Više - upcycling

Recikliranje otpadnih materijala zahtijeva sljedeće korake [39]:

- 1.) Odvojeno prikupljanje u kućanstvima, proizvodnim i uslužnim poduzećima te transport do pogona za obradu, sortirnice
- 2.) Priprema za recikliranje - sortiranje, prešanje/baliranje, transport do proizvodnog pogona
- 3.) Proizvodnja istog ili srodnog proizvoda

Materijali koji su pogodni za reciklirati su metali (čelik, obojeni metalo i specijalne legure), staklo (ambalažno, ravno, posebno), papir i karton (uredski, novinski, valoviti karton i sl.) te plastika (polimeri). Kod plastike je potrebno dodatno odvajanje i priprema za samo recikliranje. Potrebno je odvajanje po polimerima, bojama, primjesama i vrstama, a zatim slijedi usitnjavanje, pranje, sušenje te po potrebi i regranuliranje. Tek sitni fragmenti ili granulati specificiranog sastava i čistoće predstavljaju zamjenu tzv. „djevičanskoj” plastici proizvedenoj iz nafte i plina [39].

Ovako predstavljena cirkularna ekonomija ima i za cilj stvoriti tzv. hijerarhiju nultog otpada [Slika 19.] [39]. Kako bi se eliminirao otpad najprije treba pokušati smanjiti količinu otpada, zatim ponovno upotrebljavati materijale, a tek onda prednost imaju recikliranje i oporavak ispred odbacivanja otpada na odlagališta [39].

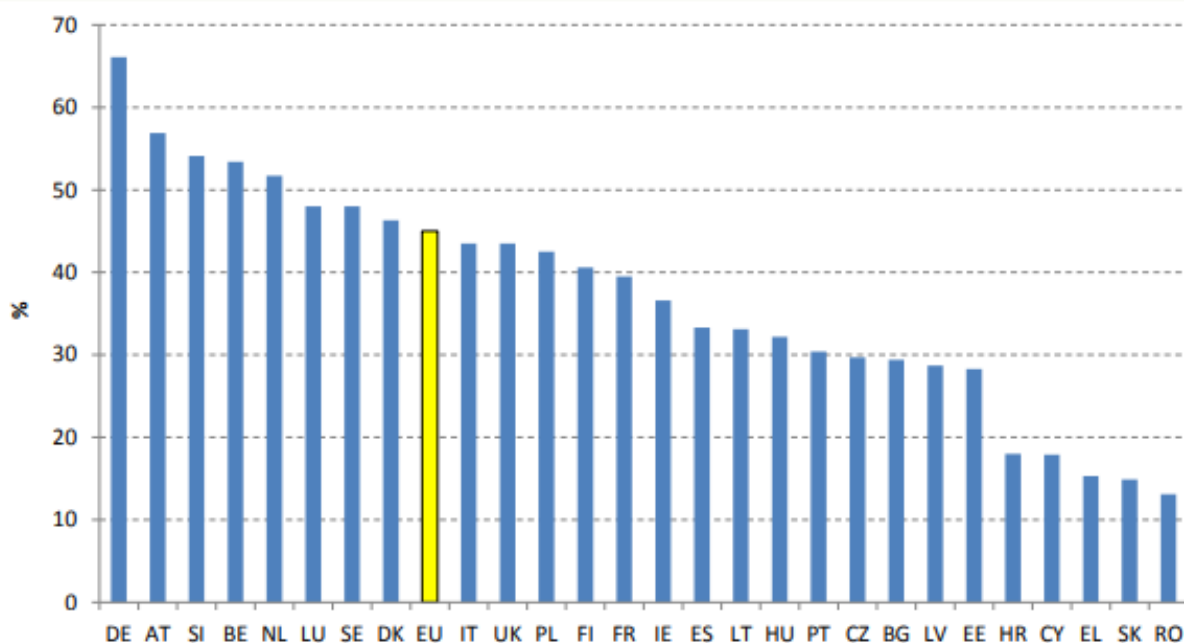


Slika 20. Hijerarhija nultog otpada [39]

Europska komisija također pridodaje veliku važnost cirkularnoj ekonomiji. Europski zeleni plan koji pruža smjernice za zelenu preobrazbu i transformaciju Europe u prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. godine, upravo cirkularnu ekonomiju izdvaja kao ključni alat za ispunjenje ciljeva [34].

Prednosti za proizvodna poduzeća koja implementiraju cirkularnu ekonomiju su [38]:

- Uvođenje mjera za prevenciju stvaranja otpada
- Uključivanje eko dizajna u poslovanje
- Poticaj korištenja obnovljivih izvora energije
- Smanjenje emisija stakleničkih plinova i utjecaja na okoliš
- Jačanje sigurnosti opskrbe sirovinama
- Jačanje konkurentnosti na tržištu
- Poticaj inovativnim rješenjima
- Otvaranje novih radnih mjesta



Slika 21. Stopa recikliranja komunalnog otpada u EU [3]

Prema podacima Eurostata 2017. godine [Slika 21.] [3], u EU se reciklira oko 46% ukupnog komunalnog otpada. Stopom recikliranja otpada se mjeri udio recikliranog komunalnog otpada u ukupnom komunalnom otpadu. Komunalni otpad se u ovom istraživanju sastoji od otpada koji stvaraju kućanstva, ali i sličan otpad koji stvaraju industrijska poduzeća i javni sektori. Republika Hrvatska prema Eurostatu ne reciklira niti petinu ukupnog komunalnog otpada [3].

5.3.3. *Obnovljivi izvori energije*

Oblici energije u prirodi se dijele na primarne, transformirane i korisne oblike energije. Primarni oblici energije se nalaze ili pojavljuju u prirodi, a mogu se podijeliti na obnovljive i neobnovljive oblike. Primarni oblici energije se uglavnom ne mogu upotrijebiti u svom prirodnom obliku, stoga se transformiraju u pogodnije energetske oblike. U transformiranom obliku postaju tehnički pogodniji te ekonomičniji za korisnike. Također, transport u primarnom obliku nije ni moguć. Neobnovljivi izvori energije koji se masovno koriste su ugljen, sirova nafta, prirodni plin (fosilna goriva) i nuklearna energija [40].

Obnovljivi izvori energije su [40]:

- Sunčeva energija
- Kinetička energija vjetra (energija vjetra)
- Biomasa
- Toplinska energija Zemljine unutrašnjosti i vrući izvori (geotermalna energija)
- Potencijalna energija vodotoka (vodne snage)
- Potencijalna energija plime i oseke i morskih valova
- Toplinska energija mora

Prednosti obnovljivih izvora energije za proizvodna poduzeća su [40]:

- Smanjenje emisija CO₂ u atmosferu i smanjenje zagađivanja
- Energetska samoodrživost - smanjuje se ovisnost o uvoznim energentima
- Smanjenje troškova za energiju
- Povećanje konkurentnosti
- Lokalni gospodarski razvoj, tj. otvaranje novih radnih mjesta

5.3.3.1. Sunčeva energija

Sunčeva energija predstavlja neograničen izvor energije pomoću kojeg nastaje izravno ili neizravno većina drugih oblika energije. Energija koja je dobivena sunčevim zračenjem je količinski podosta velika, no tehničke mogućnosti sunčeve energije su ograničavajući faktor i problem njezinog iskorištavanja. U Hrvatskoj unatoč idealnim insolacijskim i klimatskim uvjetima, potencijal sunčeve energije je i dalje izrazito neiskorišten. Na količinu dozračene sunčeve energije, odnosno insolaciju, utječu zemljopisna širina i klimatske karakteristike podneblja. Primjerice, iako područja srednje i sjeverne Europe imaju lošije klimatske uvjete za iskorištavanje sunčeve energije, svejedno ih puno bolje iskorištavaju za razliku od Hrvatske. Sunčeva energija se iskorištava aktivno ili pasivno. Prikladnom izgradnjom građevina (smještaj u prostoru, primjena odgovarajućih materijala, prikladan rasporedom prostorija i sl.) se pasivno koristi sunčeve energija koja onda izravno iskorištava sunčevu toplinu [40].

Osnovni principi aktivnog iskorištavanja energije sunca su [40]:

- Korištenje solarnih kolektora (pločastih i kolektora s vakumskim cijevima)
- Korištenje fotonaponskih modula

Pomoću solarnih kolektora sunčeva energija se izravno pretvara u toplinsku energiju. Efikasnost im varira (oko 20%, kod kolektora s vakuumskim cijevima je nešto veća), ovisno o materijalima i načinu postavljanja. Solarni kolektori se uvijek postavljaju na krovove građevina (npr. kuća, poduzeća) pod određenim kutom, ali uvijek na južnoj strani. Na taj način se u njima onda najefikasnije zagrijava voda pod utjecajem sunca i sunčeve energije, dok fotonaponski moduli pretvaraju energiju sunčevog zračenja izravno u električnu energiju. Efikasnost im je nešto manja od solarnih kolektora, približno oko 15% [40].

5.3.3.2. *Energija vjetra*

Tehnologije iskorištavanja energije vjetra su poznate čovječanstvu već stoljećima, a najpoznatiji primjer su rane vjetrenjače iz Nizozemske koje su se koristile na farmama za crpljenje vode i mljevenje žita. Princip rada energije vjetra je da se kinetička energija pretvara u električnu energiju pomoću vjetroturbine. Unutar vjetroturbina lopatice love energiju vjetra te na taj način dolazi do okretanje rotora i generatora koji onda proizvode električnu energiju. Vjetroturbine se pokreću brzinom vjetra većom od 18 km/h, dok postižu najveću snagu pri brzini od 54 km/h. Ta snaga ostaje konstantna sve do brzine od 108 km/h, kada dolazi do zaustavljanja rada lopatica zbog potencijalnih oštećenja. Vjetroturbine se koriste kao samostalne tehnologije ili se spajaju na električne mreže. Ako ih se koristi samostalno, onda se zbog promjena brzine vjetra (time i snage tijekom rada) potrošači moraju opskrbiti dodatnim izvorom električne energije. Vjetroturbine se mogu podijeliti na male (do 30 kW) te srednje (30-1500 kW) i velike (veće od 1500 kW). Iako imaju dobru opću efikasnost, vjetroelektrane za sada nisu ekonomski isplative za potrebe malih kućanstava ili poduzeća, za razliku od korištenja sunčeve energije [40].

5.3.3.3. Energija iz biomase

Od svih obnovljivih izvora, biomasa je najsloženiji oblik jer ima razne mogućnosti izvora, odnosno sirovina (šumska i poljoprivredna biomasa, industrijska biomasa nastala prilikom proizvodnih procesa, komunalni otpad, kanalizacijski mulj itd.) Biomasa se dobiva električna i toplinska energija, a može poslužiti i kao gorivo za promet. Zbog procesa prerade te tehnologija kojima se iskorištava biomasa, opseg navedenih biomasa je ograničen. Da bi se energija iz biomase smatralo obnovljivom (održivom), biomasa se mora koristiti kao zatvoreni ciklus. To znači da ako su npr. sječa i prirast biomase u jednakom odnosu, neće biti ni viška CO₂ koji se sakuplja u okolišu i koji uzrokuje klimatske promjene. Na taj način će se emisija CO₂ koja je nastala izgaranjem biomase utrošiti i na rast nove biomase. Danas postoje različite tehnologije nastajanja energije iz biomase, najčešće je to izravno pretvaranje energije običnim izgaranjem te izgaranje u pećima i kotlovima [40].

5.3.3.4. Geotermalna energija

Korištenje topline iz unutrašnjosti topline nazivamo geotermalnom energijom. To je energija Zemlje u obliku vrućih i toplih voda ili pare koja dolazi do površine Zemlje. Geotermalnim vodama i parama se dobiva električna i toplinska energija. Geotermalne elektrane izgledaju kao i svaka druga elektrana, ali razlika je u tome što one ne proizvode energiju izgaranjem goriva, već je crpe iz zemlje. Unutar tih elektrana se koriste toplinske crpke ili dizalice koje onda griju ili hlade (zimi se toplina iz zemlje iskorištava za grijanje zraka u građevinama, dok se ljeti preko izmjenjivača topline topao zrak prenosi u hladnije tlo) građevine te pripremaju toplu vodu (u ljetnom periodu kada se uklonjena toplina iskorištava). Da bi se toplinske dizalice koristile potrebne su električna energija ili energija dobivena izgaranjem plina. Omjer proizvedene topline i utrošene energije za pogon (kompresor, ventilator, pumpa te ostali dijelovi) u periodu od godinu dana, naziva se godišnji toplinski množitelj. Toplinski množitelj se kreće najčešće u rasponu od 2,5 – 4, čime se vrednuje energetska učinkovitost. Dizalice topline možemo dijeliti prema izvoru topline za njihov rad [40]:

- Dizalice topline zrak/zrak – koriste zrak iz bliske okoline za izvor topline
- Dizalice topline voda/zrak – koriste vodu za izvor topline (npr. potok, rijeku ili jezero)
- Dizalice topline tlo/zrak – koriste tlo kao izvor topline

6. KONCEPT DUALNE TRANSFORMACIJE

Dualna transformacija od poduzeća iziskuje aktivno djelovanje svih zaposlenika (i njihovo prihvaćanje jer je čest otpor prema promjenama), strpljenje, ali i kapitalna ulaganja (samostalna, kroz razne poticaje ili EU fondove). Svako proizvodno poduzeće je različito, što znači da svakom proizvodnom poduzeću treba drugačije i temeljito pristupiti prilikom dualne transformacije. Prilikom transformacije je poželjno da što više kadrova sudjeluje u izradi i realizacija rješenja, od vanjskih IT stručnjaka, konzultanata, unutarnjih stručnjaka za održavanje, stručnjaka za planiranje, stručnjaka za kvalitetu itd., odnosno da se transformacija vrši od strane interdisciplinarnog tima kako bi se i implementirale prikladne digitalne tehnologije. Katkada nije nužno provesti transformaciju baš svakog dijela pogona, već je potrebno digitalizirati i povezati ključne strojeve i radne stanice proizvodnje ili uska grla koja onda mogu doprinijeti optimizaciji.

Iz tog razloga, kako bi se dualna transformacija odvila na efikasan način, potrebno je poslovne i proizvodne procese najprije učiniti vitkima (eng. Lean), ako to već nije slučaj. Lean menadžment je svjetska najpoznatija filozofija upravljanja sustavom, primjenjiva u proizvodnim i uslužnim djelatnostima. Glavna karakteristika vitkog menadžmenta je kontinuirano unapređivanje procesa (i ljudi) prepoznavanjem i uklanjanjem svih aktivnosti koje donose gubitke poduzeću.

Dualnu transformaciju je potrebno provoditi u fazama, na način da trenutna proizvodnja ne pati (npr. da se dogodi prekidanje proizvodnje radi provedbe ili neplanirani kvarovi). Ključne aktivnosti za efikasnu dualnu transformaciju i njezin koncept se mogu opisati u pet koraka digitalne te četiri koraka zelene transformacije [Slika 21.] [41] koju je razvio Nedeljko Štefanić, profesor na smjeru industrijskog inženjerstva i menadžmenta Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Prema navedenom konceptu, pet koraka digitalne transformacije su [41]:

- Vertikalna i horizontalna integracija
- Robotizacija i automatizacija
- Pametni i povezani proizvodi i usluge
- Optimalno korištenje resursa
- Razvoj digitalnih znanja i vještina zaposlenika

Prema navedenom konceptu, četiri koraka zelene transformacije su [41]:

- Primjena obnovljivih izvora energije
- Obnovljivost sedam glavnih resursa Zemlje
- Primjena cirkularne ekonomije
- Ublažavanje klimatskih promjena – sinergija čovjeka i prirode



Slika 22. Strategija dualne transformacije [41]

Za uspješnu provedbu digitalne transformacije potrebna je i promjena načina razmišljanja/mentaliteta svih zaposlenih, na svim nivoima poduzeća: od menadžmenta preko voditelja, kontrole i sl. pa sve do operatera na radnim stanicama. Također, ključna je i edukacija radnika. Često se uz digitalizaciju veže i priča smanjenja broja zaposlenika u poduzećima, a u stvarnosti je drugačije. Dapače, otvara se prostor za nova radna mjesta koja zahtijevaju nova znanja i vještine, stoga je potrebno i kroz obrazovne sustave omogućiti novim generacijama dostupnost tih znanja i vještina.

7. PRAKTIČNI DIO

7.1. O poduzeću

Praktični dio završnog rada odrađen je u poduzeću Pastor tvornica vatrogasnih aparata (TVA) d.d. Sjedište i glavni pogon Pastora TVA se nalazi u Rakitju, na adresi Novačka cesta 2.

1930. godine gosp. Srećko Pastor utemeljio je prvu radionicu za proizvodnju i popravak vatrogasnih aparata u Hrvatskoj. Zahvaljujući poslovnosti i kreativnosti tadašnjeg vlasnika, radionica uz održavanje prelazi na proizvodnju ručnih vatrogasnih aparata. 1992. godine poduzeće Pastor se razdvojilo na: Pastor TVA i Pastor inženjering d.d. (poduzeće za projektiranje i izvođenje protupožarnih sustava) [42].



Slika 23. Pastor TVA logo [42]

Pastor TVA danas je najveći proizvođač vatrogasnih aparata u jugoistočnoj Europi. Pastor TVA profilirao se kao jedan od rijetkih proizvođača vatrogasnih aparata u Europi koji za svoje potrebe samostalno proizvodi i tijela spremnika vatrogasnih aparata. Ta činjenica omogućava im da prate cijeli proizvodni ciklus aparata, od "table lima" do finalnog proizvoda, što ih razlikuje od konkurencije. Upravo zbog toga, njihovi su aparati prepoznati kao visokokvalitetni i u potpunosti proizvedeni u EU što im omogućuje plasman na zahtjevna tržišta zemalja srednje Europe i šire, kao što su Belgija, Nizozemska, Luxembourg, Njemačka, Austrija, Švicarska. Naravno, na domaćem tržištu Pastor je i dalje vodeći brand kao i u cijeloj regiji jugoistočne Europe gdje su tradicionalno prisutni od Slovenije, preko Bosne i Srbije, sve do Crne Gore, Kosova i Makedonije, ali i u susjednim zemljama kao što su Mađarska i Rumunjska [42].

Pastor TVA danas broji ukupno 94 zaposlenika, od čega je: 40 radnika u proizvodnji, 24 u servisu, 10 u prodaji, 7 u logistici te 13 u dijelu upravljanja, odnosno menadžmenta. Radnici rade u jednoj smjeni, po potrebi (ukoliko ima puno narudžbi) prekovremeno ili vikendima.

Pastor TVA osim sjedišta u Zagrebu ima poslovnice na još dvije lokacije – Rijeka te Osijek. Za odabrano poduzeće se može reći da je uistinu jedinstven poslovni sustav koji objedinjuje [42]:

- Proizvodnju i distribuciju vatrogasnih aparata i protupožarne opreme
- Servis vatrogasnih aparata i protupožarne opreme

Razlog zbog kojeg je za praktični dio odabran Pastor TVA jest njihova politika poslovanja kvalitetom, okolišem te zdravljem i sigurnosti na radu, tj. zbog strateških ciljeva poduzeća [42]:

- Razvoj i trajno unaprjeđivanje procesa, proizvoda i tehnologije s ciljem ispunjenja zahtjeva svih zainteresiranih strana
- Usklađenost sa zakonskim i drugim zahtjevima vezanim za primjenjivu zakonsku i normativnu regulativu
- Unaprjeđivanje znanja i vještina zaposlenika te razine osjećaja odgovornosti i svijesti utjecaja na kvalitetu proizvoda i usluga, očuvanje okoliša i zaštitu na radu
- Osiguranje sigurnih radnih mjesta za zaposlenike kroz identifikaciju, ocjenu i otklanjanje izvora rizika, konzultiranje i uključivanje zaposlenika, te jamstvo sigurnosti za naše posjetitelje
- Kontinuirana zaštita okoliša smanjivanjem i dovođenjem rizika u prihvatljive granice kroz optimizaciju iskorištenja prirodnih resursa, povećanje energetske učinkovitosti i upravljanje zbrinjavanjem prepoznatih vrsta otpada

CERTIFIKATI I POLITIKA KVALITETE



Slika 24. Certifikati koje posjeduje Pastor TVA [42]

Pastor TVA upravlja svojim proizvodnim procesima prema međunarodnim normama ISO 9001, ISO 14001 i ISO 45001, čime teže u ostvarenju postavljenih ciljeva.

7.2. Primjena koncepta dualne transformacije u Pastoru TVA

Pastor TVA nastoji implementirati digitalne i zelene tehnologije u svoje proizvodne i poslovne procese, prateći trendove te modernizirajući svoj proizvodni pogon. U tu svrhu, neke od tehnologija su već implementirane (npr. ERP sustav, posjeduju ISO 14001 certifikat). Konkretno, u ovom praktičnom djelu, napraviti će se pregled dosadašnjih aktivnosti (izrada ERP-a), analizirati će se trenutno stanje, a onda će se dati i prijedlog rješenja daljnjih aktivnosti dualne transformacije. Također, prikazati će se i primjeri radnih stanica koji su robotizirani i automatizirani primjenom računala i robotike, te će se analizirati koje su to prednosti postignute u vidu transformacije u Industriju 4.0.

7.2.1. Snimka trenutnog stanja poduzeća

Poduzeće nastoji izbaciti sav papir pomoću kojeg odjeli komuniciraju i zamijeniti ga tabletima te olakšati procese. Razvijen je softver za planiranje proizvodnje pomoću MS Accessa, uvedeno je digitalno praćenje proizvodnje, gotovo kompletnog proizvodnog pogona (osim dvije operacije), većeg djela kontrole kvalitete (izbačena je većina papirnatih kontrolnih listova), razvijeno je softversko praćenje dobavljača, evidencija škarta u skladištu, dnevnih izvještaja i predatnica na skladište te je odrađena integracija sa softverom za praćenje proizvodnje koji prati efikasnost, kašnjenja itd. Svi podaci koji se unose u svakome odjelu i na svim operacijama koriste računarstvo u oblaku, odnosno svi su podaci pohranjeni na Cloud, koji omogućuje radnicima i menadžmentu pristup istim datotekama i aplikacijama, u ovom slučaju pomoću tableta i računala. Na taj način Pastor je razvio svoj interni ERP sustav koji mu omogućava bolju povezanost i vertikalnu integraciju, čime je započeo svoj put ka Industriji 4.0.

➤ *Planiranje proizvodnje:*

Za planiranje proizvodnje razvijen je softver uz pomoć MS Access programa. Softver je organiziran kao skup ploča od kojih svaka predstavlja jedan dio proizvodnog pogona koji se sastoji od više operacija. Voditelj proizvodnje postavlja datume kada će se koji radni nalog izvoditi na nekoj od prikazanih ploča. Kada su operacija unutar tog dijela proizvodnje na tom radnom nalogu odrađene, voditelj proizvodnje kvačicom označava radni nalog koji se onda prebacuje na sljedeću radnu ploču i tako sve dok ne prođe kroz sve dijelove proizvodnje. Voditelj proizvodnje ima razne mogućnosti praćenja i planiranja proizvodnje [Slika 25.].



Slika 25. Home page softvera za planiranje proizvodnje

➤ *Praćenje proizvodnje:*

Umjesto papira za vođenje dnevne evidencije, radnicima su raspoređeni android tableti. Tableti su spojeni na mobilnu mrežu i raspoređeni su na sve operacije. Podaci se unose na dnevnoj razini po tipovima aparata/plašteva/kapa/dijelova itd. koji se rade. Podaci se spremaju u MySQL bazu, a razvijen je i centralni softver u Pythonu preko kojega se podaci povlače te se omogućavaju razne automatske analize, pregledi i izračuni realnih normativa. Radnik pri dolasku na posao pokreće tablet i otvara aplikaciju s imenom operacije na kojoj radi. Aplikacija je posebno prilagođena za svaku operaciju kako bi se s jedne strane radnicima što više olakšao proces unosa, a s druge strane dobilo što je više moguće korisnih informacija. Radnik po dolasku na posao klikne na ikonu aplikacije, npr. radnik s linije za završnu montažu klikne na tabletu ikonu aplikacije ZAVRŠNA MONTAŽA.

Unutar aplikacije radnici imaju razne funkcije pomoću kojih evidentiraju, prate i analiziraju podatke o radu koji su potrebni za efikasnije poslovanje:

- Provjera dnevnih zadataka poslana od strane voditelja proizvodnje
- Unošenje odrađenih zadataka u bazu (uz eventualne napomene ili uočeni škart)
- Provjera odrađenih zadataka

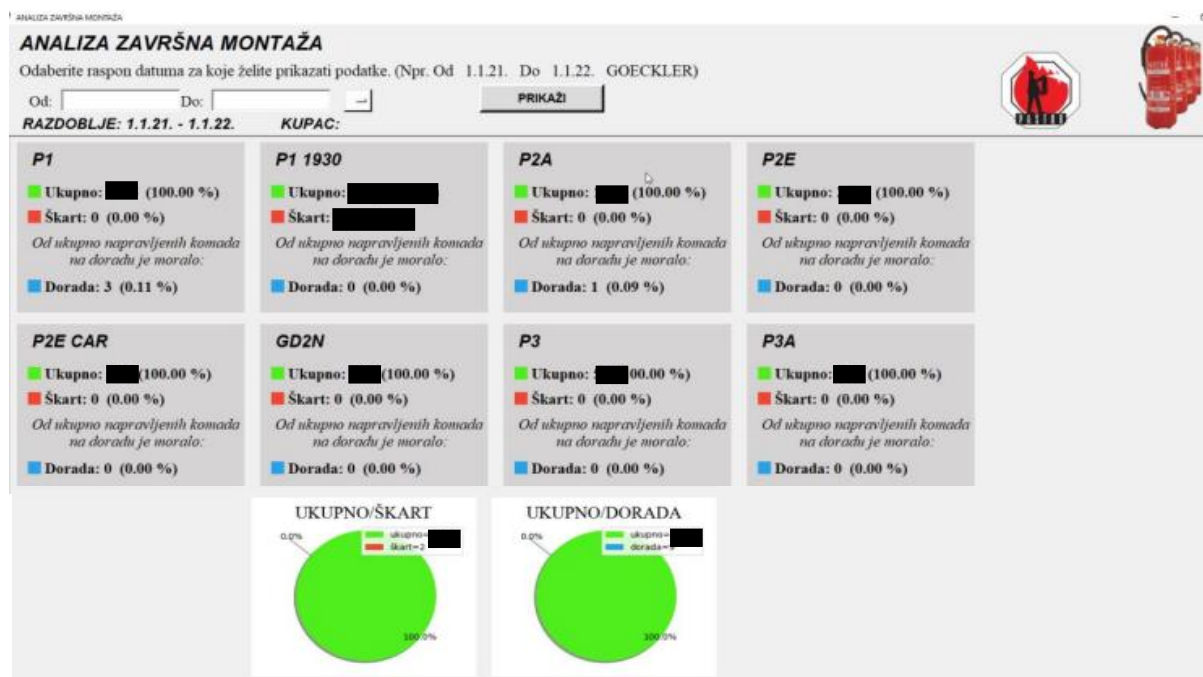
Unutar centralnog softvera [Slika 26.] prikupljaju se svi podaci iz pogona. Menadžment ima opciju pregleda kontrole kvalitete, sirovina ili (kroz povezivanje sa softverom za planiranje proizvodnje) radnih naloga. Klikom na bilo koji od crvenih ili sivih gumba otvara se prozor odabrane proizvodne operacije. Prikazat će se primjer za završnu montažu.



Slika 26. Početni zaslon centralnog softvera

Nakon klika na gumb ZAVRŠNA MONTAŽA, otvara se prozor sa sljedećim mogućnostima:

- Pregled svih unosa za odabrane dane, tjedne, mjeseci i godine
- Automatsko popunjavanje evidencijske Excel tablice (koja služi za npr. audite, sastanke i sl.)
- Analiza svih tipova proizvoda koji su rađeni u odabranom razdoblju zajedno s podacima o škartu i doradi
- Prikaz svih relevantnih normativa (utrošeni radni sati i dani, prosječni broj ljudi na operaciji, koliko je proizvoda/radniku, broj proizvoda po smjeni)



Slika 27. Primjer analize završne montaže

➤ Kontrola kvalitete:

Većinu podataka unosi glavni kontrolor preko aplikacije za kontrolu kvalitete, dok se neki podaci povlače direktno iz evidencijskih lista, npr. odabir greški s unosa za završnu montažu. Na nekim operacijama ljudi imaju dodatnu aplikaciju za unos podataka za kontrolu kvalitete, poput utiskivanja. Glavna aplikacija za unos kontrole kvalitete nalazi se na tabletu pod nazivom KONTROLA, a otvara se jednostavnim klikom. Kontrolor odabire operaciju za koju želi unijeti podatke. Kontrolor prati i popunjava podatke – digitalne kontrolne listove, koji se pohranjuju u centralnom softveru.

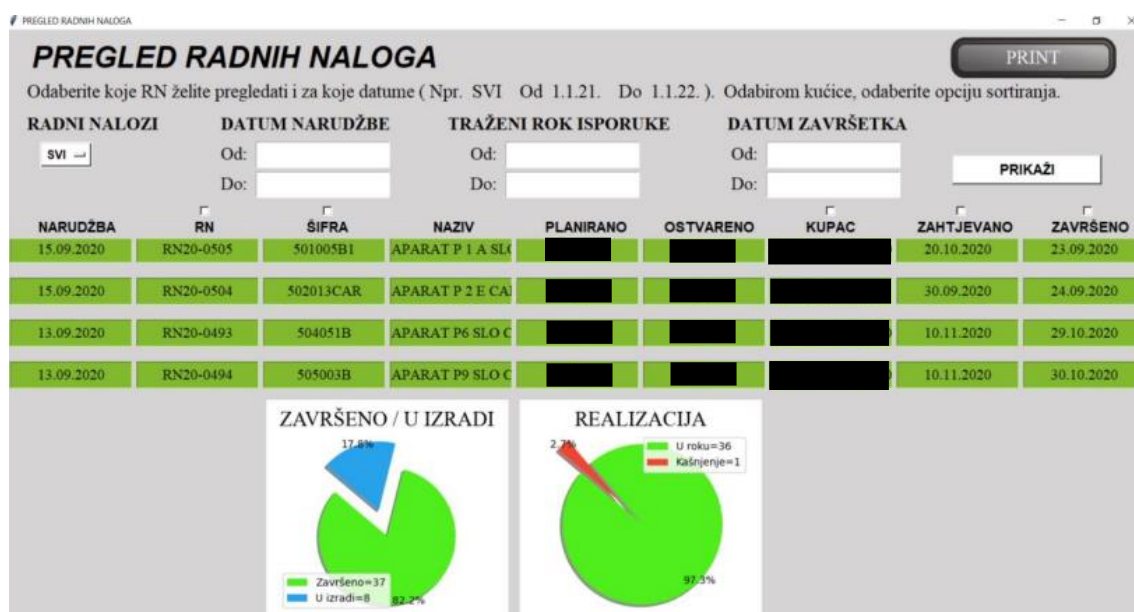
Centralni softver za kontrolu kvalitete [Slika 28.] pokreće se iz aplikacije za praćenje proizvodnje [Slika 26.]. U centralnom softveru prikazuje se lista svih kontrolnih listova. Klikom na bilo koji od njih otvara se poseban prozor u kojem je digitalni prikaz podataka i automatska analiza koja se do sad radila ručno prepisivanjem s kontrolnih listova u Excel tablicu.



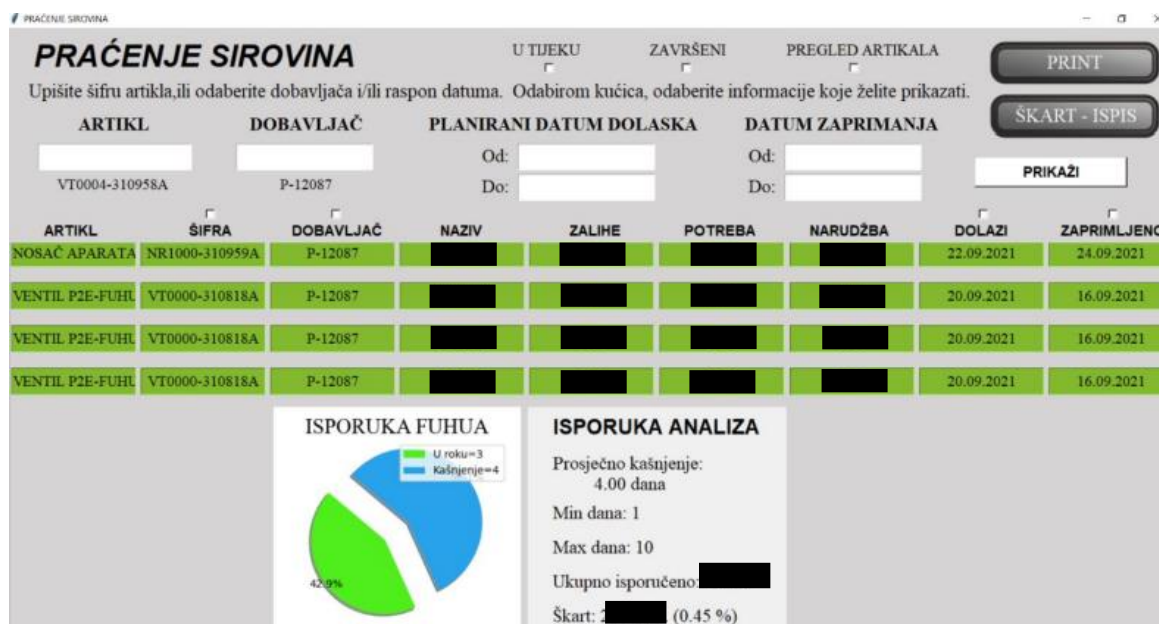
Slika 28. Sekcija kontrole kvalitete iz centralnog softvera

➤ Pregled radnih naloga i sirovina:

Osim praćenja proizvodnih postupaka, aplikacija je povezana s Access programom za planiranje proizvodnje preko kojeg se mogu pratiti i radni nalozi te ključne sirovine. Klikom na gumb PREGLED RN-a ili gumba SIROVINE [Slika 26.] unutar glavnog izbornika moguće je dobiti detaljan uvid u završene ili planirane radne naloge proizvodnih procesa ili nabavne naloge sirovina. Također, softver ih automatski i analizira te daje izvješće [Slika 29.] [Slika 30.]



Slika 29. Primjer pregleda i analize radnih naloga



Slika 30. Primjer pregleda i analize nabavnih naloga sirovina

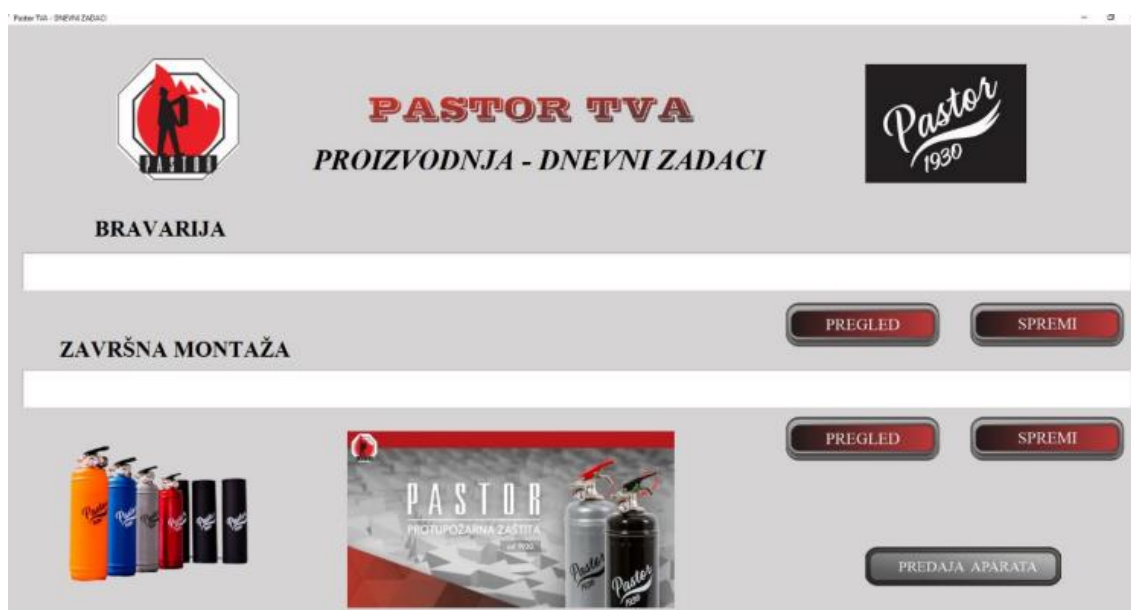
Kod nabavnih naloga sirovina analizira se omjer kašnjenja i pravovremene isporuke, prosječni dani kašnjenja, minimalno kašnjenje, maksimalno kašnjenje i škart (komadi i postotak) pojedinog dobavljača, a istu analizu moguće je provesti za konkretni artikl. Na taj način omogućeno je praćenje dobavljača i njihove efikasnosti, što može značajno olakšati proces planiranja. Također, omogućena je detaljna povratna informacija koja se može iskoristiti u budućim pregovorima.

➤ *Predaja aparata i dnevni zadaci:*

Napravljena je i aplikacija za zadavanje dnevnih zadataka za bravariju i završnu montažu. Aplikacija povlači podatke direktno iz planova proizvodnje, a omogućuje i dodavanje proizvoljnih zadataka od strane voditelja proizvodnje [Slika 31.]. Funkcionira na način da se proizvoljni zadaci zadaju tako da se upišu u prazno bolje ispod naslova BRAVARIJA ili ZAVRŠNA MONTAŽA ovisno za koga su namijenjeni. Nakon spremanja pojavljuju se planirani radni nalozi prema planovima proizvodnje za iduća 3 dana plus dodatni zadaci (ako ih ima) koje je ručno upisao voditelj proizvodnje. Nakon što voditelj proizvodnje pregleda da li je sve u redu, šalje dalje zadatke na tablete poslovođa. Zadaci se osvježavaju na dnevnoj bazi s obzirom na konstantne promjene i dinamiku proizvodnje.

Pomoću ovog dijela centralnog softvera radnici mogu:

- Pregledavati radne naloge i zadatke
- Automatski ispunjavati predatnicu u Excel tablicu, koja se do sada ispunjavala ručno te ju slati u skladište na potpis
- Generirati Excel file s predanim aparatima na skladište i s ukupno napravljenim aparatima u proizvodnji



Slika 31. Aplikacija za zadavanje i predaju dnevnih zadataka

7.2.2. Primjena i prijedlog daljnjih aktivnosti dualne transformacije

➤ Digitalna transformacija - Izrada digitalnog blizanca:

Analizom trenutnog stanja proizvodnog i poslovnog procesa, prepoznata su potencijalna rješenja s kojima bi Pastor TVA dodatno unaprijedio i modernizirao svoju proizvodnju i poslovanje općenito. S obzirom da Pastor TVA ima vrlo dinamičnu proizvodnju, koja se često mijenja i prilagođava, nužan je alat koji bi olakšao promjene u planovima proizvodnje. U trenutnom softveru svaka promjena povlači za sobom ručno replaniranje kompletnog plana proizvodnje i pomicanje svakog radnog naloga posebno po pločama/operacijama, odnosno softver je statičan i bez ograničenja realnog svijeta.

Takav način je često nepouzdan i netočan, sklon je ljudskim pogreškama i vremenski je katkada zahtjevan, a planovi su rijetko optimalni. Planiranje je, dakle, neotporno na višestruke promjene koje se u proizvodnji dešavaju svakodnevno.

Predloženi dinamički softver za planiranje proizvodnje bi većinu manualnog rada praćenja automatizirao. Kada dođe do neke neplanirane promjene (npr. radnik na bolovanju, nedolazak dijelova, zastoj stroja itd.) voditelj proizvodnje bi dao input softveru da je došlo do određene promjene te bi specificirao koje promjene točno i na kojem stroju ili radnom mjestu.

U cilju rješavanja navedenog izazova, jedna od mogućnosti je i izrada novog softvera za planiranje proizvodnje baziranog na tehnologiji digitalnog blizanca. Digitalni bliznac bi predstavljao podatkovni model koji virtualno modelira strojeve, rad, dobavljače, skladište, radnike, njihova znanja i smjene - sve povezano u jedan sveobuhvatni model koji jasno modelira sva ograničenja koja utječu na proizvodnju, operacije, redoslijed aktivnosti te rok isporuke. Ulazni podaci koje bi ovakav sustav koristio su podaci iz inženjeringa (sastavnice, podaci o djelatnicima, strojevima i sl.), podaci iz nabave i prodaje (narudžbe, nalozi, planovi prodaje i sl.), podaci o dovršenosti radnih naloga, podaci o trenutnoj poziciji proizvoda unutar proizvodnog procesa, podaci o kvarovima na strojevima te sve ostalo što je dostupno u dosadašnjem ERP sustavu, ali bi prikupljao u stvarnom vremenu pomoću IoT tehnologije. Sve navedeno prikuplja se u jednoj središnjoj bazi, primjerice u ERP sustavu, a koristi u sustavu digitalnog blizanca. Iz tih se podataka formira konkretan plan proizvodnje koji se može vratiti natrag u ERP, ili se mogu neposredno izrađivati izvještaji putem Excel tablica. Navedeni sustav ima ulogu koju je jednostavno objasniti, međutim svaka implementacija digitalnog blizanca ima svoje izazove jer ne postoje dvije iste proizvodne linije, svaku liniju je potrebno modelirati ispočetka, koristeći dokazane objekte i modele.

Ovako predstavljen softver baziran na tehnologiji digitalnog blizanca nosi sljedeće prednosti:

- Izrada centralnog mjesta za planiranje s uvidom u stanje i plan proizvodnje, nabave i svih aktivnosti kroz jasno i pregledno korisničko sučelje u stvarnom vremenu
- Brža, preciznija i učinkovitija komunikaciju, svi podaci su pregledni i jasni u središnjoj bazi dostupnoj svima unutar lanca vrijednosti
- Povezanost s trenutnim ERP sustavom poduzeća
- Modeliranje konkretnog proizvodnog procesa sa svim ograničenjima
- Označavanje, pronalaženje i rješavanje uskih grla u proizvodnji
- Simulacije različitih scenarija prilikom planiranja, brz odaziv na novonastale promjene
- Direktna povezanost svih razvojnih i proizvodnih odjela – transparentnost promjena
- Povećanje broja zaposlenika

➤ *Digitalna transformacija - Povezanost proizvoda i usluga:*

Potrebno je unaprijediti evidenciju robe na skladištu uvođenjem QR kodova umjesto šifri svih artikala, gdje bi svaki QR kod odgovarao šifri pojedinog artikla te uvođenje skeniranja kodova preko mobitela/tableta.

Također, iz razloga što je servis bitna djelatnost Pastora TVA, potrebno je i napraviti digitalizaciju servisa. Potrebno je unaprijediti postojeće aplikacije ili izraditi nove za evidenciju servisa te integraciju sa svim ovlaštenim servisima. Cilj je izbacivanje svih papirnatih evidencija, praćenje životnog tijeka svakog vatrogasnog aparata putem barcode naljepnice te bolja edukacija servisera. Time bi se proizvodi povezali te bi zaposlenici stekli nova znanja i vještine.

➤ *Zelena transformacija - Sustav cirkularne ekonomije:*

Glavna sirovina u procesu proizvodnje vatrogasnih aparata je čelik. Čelik spada u suhe reciklabilne materijale, isto kao i papir i karton. Papiri i kartoni se upotrebljavaju u manjoj mjeri nego li je to bilo u prošlosti, ali su i dalje prisutni u poduzeću. Pastor TVA u procesima ne stvara puno otpada, ali gledajući dulji vremenski period, škartni poluproizvodi ili škartni gotovi proizvodi bi činili značajnu masu koja se baca.

Ono što se može napraviti je razdvojeno prikupljanje otpada, posebice sakupljanje čelika i papira koji više nemaju funkciju. Suhe reciklabilne tvari su najvrijednije tvari, a u pravilu se njihov odvoz ne naplaćuje. Tada se ti materijali i kontroliraju (kolika je vlaga, prisutnost neželjene hrane ili tekućina, prisutnost nekih opasnih tvari i sl.).

Druga opcija koja je moguća je prikupljeni čelik i papir reciklirati. Spaljivanje je fizikalno nemoguće i nije opcija jer čelik nema ogrjevnu vrijednost. Recikliranje, osim što omogućuje zamjenu sirovina za proizvodnju (ušteda resursa), ujedno omogućuje i veće energetske uštede u proizvodnom procesu. Te energetske veće su od onih koji bi se ostvarili spaljivanjem.

Ako bi se implementiralo razdvajanje i sakupljanje otpadnog čelika, papira i kartona, potrebno je i naći poduzeće koje bi recikliralo materijale. Najbolja opcija bi bio Meltal SL d.o.o. (zbog blizine lokacije), kojemu je glavna djelatnost odvoz i recikliranje primarnog te otkup sekundarnih sirovina. Meltal SL se nalazi u Velikom Trgovišću, svega 30 kilometara od Sjedišta Pastora u Rakitju, a procjena je da se autocestom A2 dođe i za manje od 20 minuta.

➤ *Zelena transformacija - Korištenje obnovljivih izvora energije:*

Prijedlog je da se u narednom periodu na krov u Rakitju postave solarni kolektori, i to kolektori s vakuumskim cijevima jer imaju bolju efikasnost iskoristivosti sunčeve energije u odnosu na pločaste kolektore (i do 30%). U Rakitju su, kao i u ostatku Hrvatske, praktički idealni insolacijski i klimatski uvjeti, stoga je potencijal sunčeve energije ogroman, ali za sada i neiskorišten. Vakuumskim cijevnim kolektorima aktivno bi se iskorištavala energije sunca za pretvorbu električne energije potrebne za rasvjetu, procese i sl., čime bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš smanjenjem proizvodnje električne energije.

➤ *Zelena transformacija - Smanjenje emisija CO₂:*

1. Zatvaranje ciklusa protoka vode na operaciji brizganja plastike:

- Dnevna potrošnja vode za hlađenje iznosi 10 m³
- Opskrba 1 m³ vode = 0,344 kg CO₂ = smanjenje emisija za **866 kg CO₂/god.**

2. Grijanje proizvodne hale – izgradnja predprostora:

- Godišnja potrošnja plina je 23.842 m³
- 1 m³ plina = 1,9 kg CO₂ = 45.300 kg CO₂/god.
- Planirana ušteda izgradnjom predprostora iznosi 5% = smanjenje emisija za **2.270 kg CO₂/god.**

3. Optimizacija operacije vanjske plastifikacije (neprekidan rad, ušteda vremena i grijanja):

- Godišnja potrošnja plina za plastifikaciju = 25.168 m³
- 1 m³ plina = emisija 1,9 kg CO₂
- Ušteda od 30 min. po smjeni = 126 h/a = smanjenje emisija za **2.980 kg CO₂/god.**

4. Optimizacija pripremno-završnog vremena u prešaoni (ušteda vremena, smanjenje utroška struje i grijanja):

- 2669 m³/god. plina za grijanje u prešaoni
- 1,57 h/dnevno uštede = 523 m³ plina/god.
- Ušteda emisija za **993 kg CO₂/god.**

-
5. Smanjenje ukupnog broja prekovremenih sati (ušteta grijanja, vode, struje, plina,..):
 - Smanjenje za 0,25 prekovremenih dnevno po čovjeku (ukupno 3,1% vremena):
 - Struja: smanjenje emisija za **3.420 kg CO₂/god.**
 - Plin: smanjenje emisija za **3.080 kg CO₂/god.**
 - Voda: smanjenje emisija za **51 kg CO₂/god.**

 6. Smanjenje količine otpada (optimizacijom planiranja proizvodnje smanjio bi se škartni udio materijala i proizvoda za 2%):
 - 2% na željezo (3,67 t CO₂) te 2% na plastiku (0,05 t CO₂) = smanjenje emisija za **3.720 kg CO₂/god.**

 7. Smanjenje hitnih isporuka do kupca koje su u kašnjenju (ušteta potrošnje goriva):
 - Godišnja ušteta Diesel goriva u iznosu od 1000 l = smanjenje emisija za **2.640 kg CO₂/god.**

 8. Nabava sirovina na vrijeme (ušteta novaca i potrošnje goriva):
 - Godišnja ušteta Diesel goriva u iznosu od 750 l = smanjenje emisija za **1.980 kg CO₂/god.**

Može se zaključiti kako je u poduzeću prepoznat potencijal smanjenja emisija na godišnjoj razini od ukupno **22.016 kg CO₂/god.** Ne samo da bi se ovako smanjile emisije, već bi se smanjili i fiksni te operativni troškovi.

7.2.3. Robotizacija i automatizacija radnih stanica i linija

Automatizacija radnih stanica neupitno donosi prednosti poput povećanja produktivnosti i kvalitete, smanjenje ljudskih pogrešaka, škarta itd. Međutim, kako bi poduzeće moglo efikasno primijeniti tehnologije Industrije 4.0, kao što je implementacija tehnološke inovacije digitalnog blizanca, ključne procese i radne stanice strojnog parka potrebno je najprije automatizirati. Pastor TVA postepeno automatizira svoj pogon. Konkretno, analizirat će se radna stanica za izradu plašteva te linija za završnu montažu.

7.2.3.1. Radna stanica za izradu plašteva

Čelik za izradu plašteva koji dolazi u pogon [Slika 32.] se najprije reže na određenu duljinu, a zatim se kružno oblikuje u plašt koji onda neposredno nakon toga odlazi na vanjsko i unutarnje odmaščvanje prije zavarivanja. Novi stroj (MG) [Slika 33.], koji može vršiti operacije automatizirano ili polu automatizirano, zamijenio je tri stara stroja (rundalica) koji su radili operacije odvojeno.



Slika 32. Sirovac čelika prije rezanja i oblikovanja



Slika 33. Automatizirana stanica za izradu plašteva



Slika 34. Upravljačko računalo MG-a

Nakon što je MG stavljen u pogon, analizirani su normativi rada za 2021. godinu iz centralnog softvera za praćenje proizvodnje. U usporedbi rada rundalice i MG-a, najznačajniji podatak iz analize normativa jest vrijeme ciklusa izrade, koji se s 43,95 sekunde smanjio na 18,82 sekundi, što predstavlja smanjenje vremena ciklusa za 62,3% [Slika 35.] [Slika 36.].

NORMATIVI IZRADA PLAŠTEVA

Odaberite tip i raspon datuma za koje želite prikazati podatke. (Npr. Tip: P6 Od: 1.1.21. Do: 1.2.21.)

Tip: Od: Do: RUNDALICA

NORMATIVI: 1.1.21. - 1.1.22.

Tip: P6

Ukupno:

Radni sati:

Radni dani:

Prosječno ljudi: 1.00

Količina po osobi:

Komada po smjeni:

Vrijeme ciklusa: 43.95 s

NAPOMENE:

Radno vrijeme u jednoj smjeni je 6:00-14:00 (8 sati).

Pauza je od 10:00 do 10:30 i oduzeta je od ukupnog radnog vremena.

Male pauze su od 08:00-08:15, 12:00-12:15 i također su oduzete od radnog vremena.

Normativi su izračunati za efektivno radno vrijeme (7 sati).



Slika 35. Analiza normativa izrade - rundalica

NORMATIVI IZRADA PLAŠTEVA

Odaberite tip i raspon datuma za koje želite prikazati podatke. (Npr. Tip: P6 Od: 1.1.21. Do: 1.2.21.)

Tip: Od: Do: **MG**

NORMATIVI: 1.1.21. - 1.1.22.

Tip: P6

Ukupno:

Radni sati:

Radni dani:

Prosječno ljudi: 1.00

Količina po osobi:

Komada po smjeni:

Vrijeme ciklusa: 18.82 s

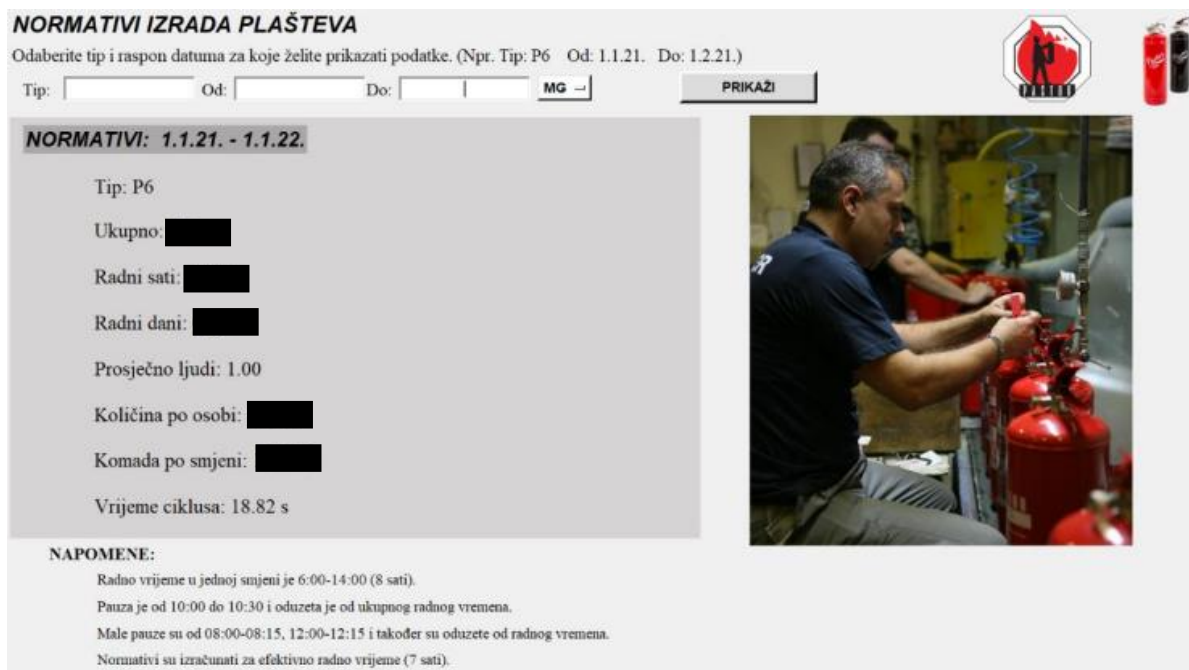
NAPOMENE:

Radno vrijeme u jednoj smjeni je 6:00-14:00 (8 sati).

Pauza je od 10:00 do 10:30 i oduzeta je od ukupnog radnog vremena.

Male pauze su od 08:00-08:15, 12:00-12:15 i također su oduzete od radnog vremena.

Normativi su izračunati za efektivno radno vrijeme (7 sati).



Slika 36. Analiza normativa izrade - MG

7.2.3.2. Linija za završnu montažu

Linija za završnu montažu vatrogasnih aparata je jedna od najvažnijih linija u pogonu, i iz tog razloga je bitno omogućiti dovoljan dnevni kapacitet kako bi se kupcima isporučile narudžbe na vrijeme i bez kašnjenja. Proces završne montaže se trenutno sastoji od sljedećih operacija [Slika 38.]:

- Punjenja spremnika sredstvom za gašenje (prahom) (a)
- Stezanja ventila na spremnik pneumatskim pištoljem (b)
- Punjenja aparata pogonskim plinom (dušikom) (c)
- Stavljanja osigurača i plombe (d)
- Ispitivanja propusnosti u vodenoj kupki (e)
- Brisanja aparata i pritezanje mlaznice (f)
- Stavljanja plastične zaštite i pakiranje aparata u kutije (g)

Trenutno se svaka od aktivnosti na montaži izvodi isključivo manualno, stoga je izrađen projekt automatizacije te iste linije primjenom robotike i robotskih stanica te drugih modernih tehnologija za izgradnju, punjenje i montažu protupožarnih aparata.

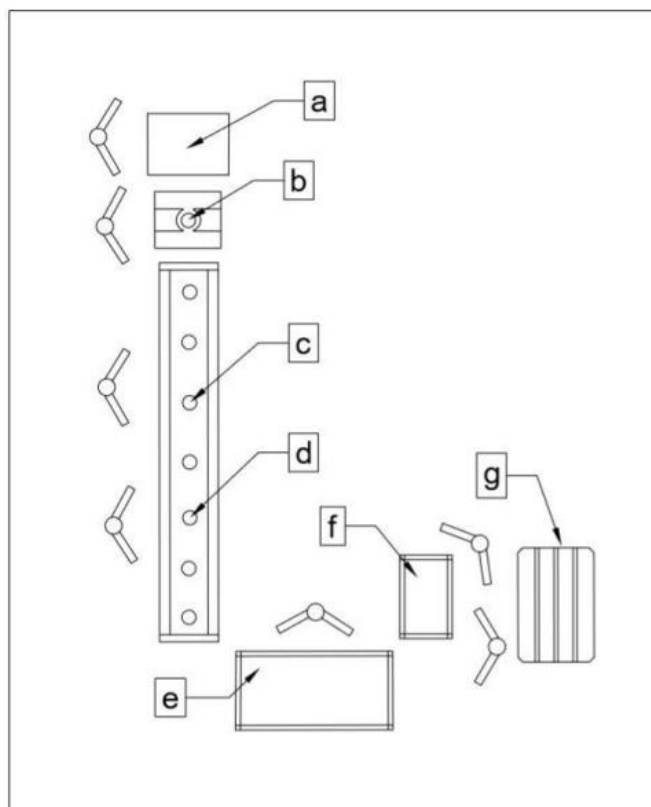


Slika 37. Aparat P6

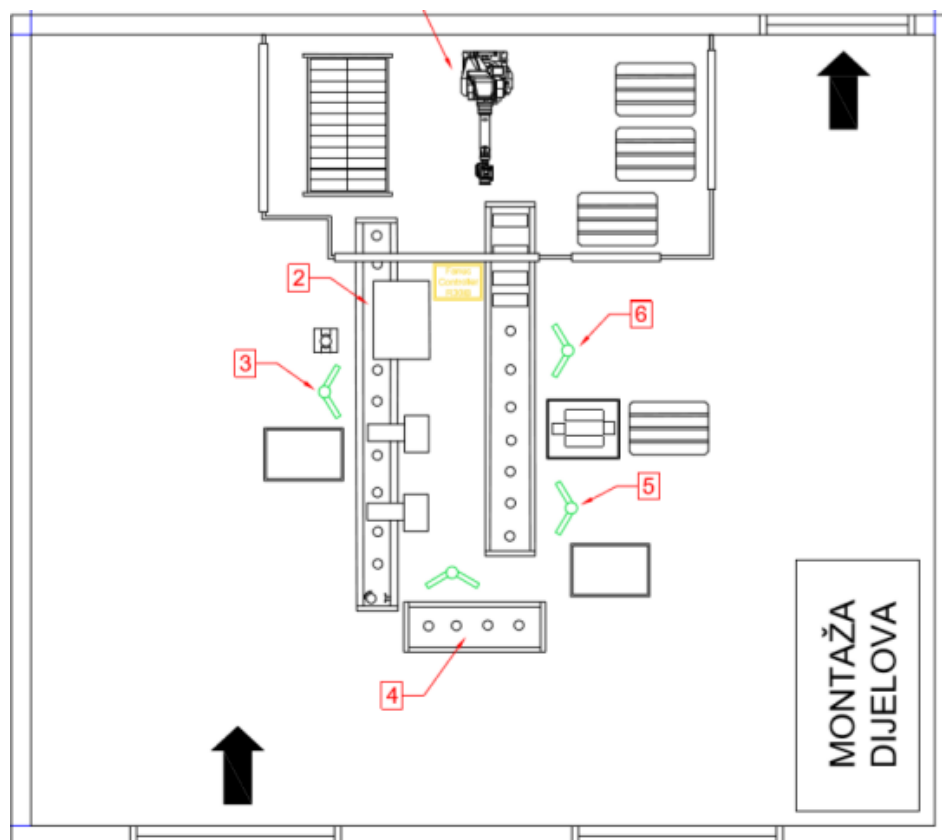
Razradu rješenja za unapređenje postojećeg postava montaže protupožarnih aparata izradio je Damian Keretić, razvojni inženjer Pastora TVA. Na trenutnoj liniji za završnu montažu vatrogasnih aparata radi 7 radnika, a za primjer analize uzet je aparat P6, najprodavaniji, referentni aparat.

Za modeliranje dijelova te izradu nacрта koristili su se softveri za izradu tehničke dokumentacije i 3D modeliranje - AutoCAD i Catia. Za analizu ciklusa i izradu simulacije koristio se softverski paket RoboDK, a programiranje odabranih Fanucovih robota odrađeno je u programskom paketu Roboguide [43].

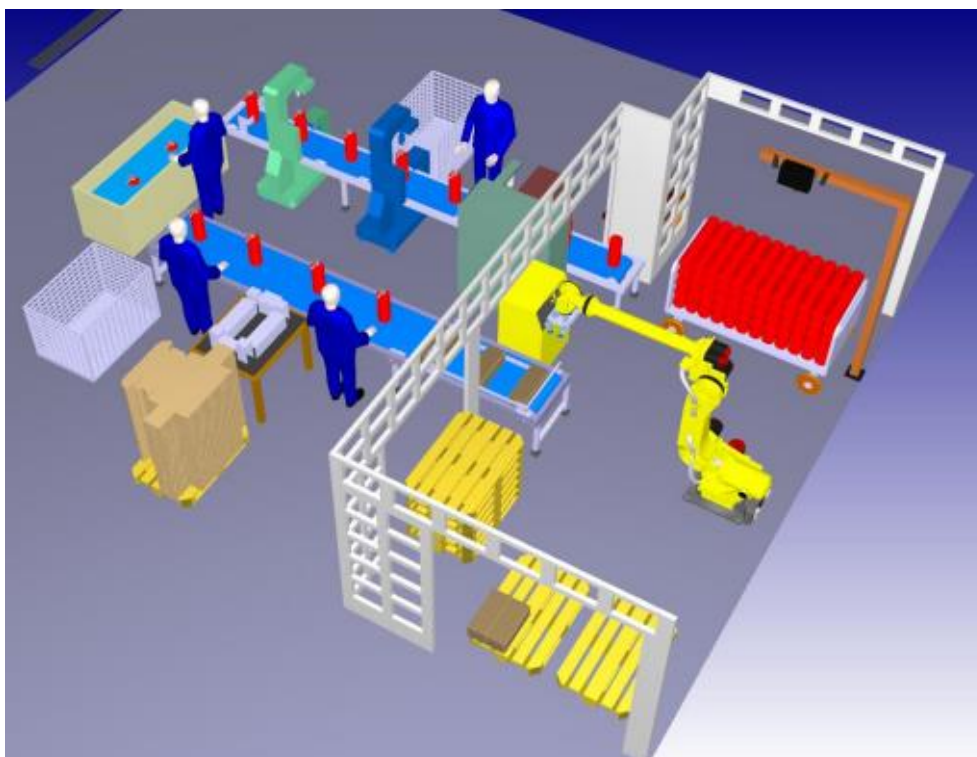
Kako bi se najbolje prikazao značaj digitalizacije (primjenom robotike) i prednosti koje se ostvaruju na liniji za završnu montažu, analizirat će se postojeće aktivnosti i novo planirane aktivnosti.



Slika 38. Tlocrt trenutne linije za završnu montažu – tzv. bijela soba [43]



Slika 39. Novi tlocrt bijele sobe [43]



Slika 40. 3D pogled na novu bijelu sobu [43]

Tablica 5. Bijela soba – legenda [43]

Automatska linija bijela soba (DSM-NEB)	
1	ROBOTSKA STANICA - robot pomoću 3D vizijskog sustava detektira horizontalni položaj spremnika na kolicima, izuzima predmet i opslužuje automatsku liniju DSM-NEB (Fritz-Emde). Po dolasku kutija na zaustavno mjesto s transportne trake prema paletizaciji, izuzima kutije i izvršava paletizaciju na dvije palete.
2	AUTOMATSKA LINIJA DSM-NEB proizvođača FRITZ-EMDE. Sastoji se od modularne transportne trake, punilice praha / pjene, stroja za stezanje ventila i stroja za punjenje dušika. Aparati se, ovisno o promjeru, postavljaju u kalupe koji se kupuju zajedno s linijom. Parametri se postavljaju preko centralnog displaya.
3	1. RADNO MJESTO - radniku dolazi spremnik na transportnoj traci, on (uz pomoć drmalice ili bez?) stavlja ventil na spremnik, približno orijentira aparat ovisno o položaju glave za stezanje, te ga prosljeđuje dalje prema strojevima za stezanje i punjenje dušika.
4	2. RADNO MJESTO - radnik stavlja plombu, izuzima aparate s trake i stavlja u bazen za ispitivanje propusnosti. Nakon testiranja vadi aparate i postavlja na transportnu traku prema paletizaciji.
5	3. RADNO MJESTO - radnik briše aparate, dovršava plombiranje i postavlja mlaznicu.
6	4. RADNO MJESTO - radnik sklapa kutije pomoću kalupa. Po potrebi stavlja aparat u vrećicu i polaže u kutiju. Nakon polaganja, šalje zapakiranu kutiju prema ROBOTSKOJ STANICI.

Provedene analize i simulacije nakon implementacije robotskih stanica na liniji za završnu montažu pokazale su sljedeće prednosti (za referentni aparat P6):

- Smanjenje ciklusa montaže s 40 na 30 sekundi, čime se omogućava izrada od oko 150 dodatnih komada po smjeni
- Smanjenje potrebnog broja ljudi s trenutnih 7 na 4
- Modernizacija testiranja propusnosti na način da se umjesto uranjanja aparata u vodu koristi tehnologija testiranjem helijem
- Digitalizacija i praćenje procesa - kao programsko sučelje između linije i operatera, predložena je aplikacija na tabletu koja bi omogućila jednostavno upravljanje linijom bez obzira na radnikovo predznanje o robotima ili programiranju
- Financijska isplativost ulaganja kroz uštede u budućem periodu

8. ZAKLJUČAK

Industrija 4.0 (kojoj je temelj kibernetičko-fizički sustav te povezanost i integracija svih elemenata u sustavu horizontalno i vertikalno u stvarnom vremenu) i zelena proizvodnja zahtijevaju od poduzeća da naprave i konkretne aktivnosti kako bi postali digitalni i zeleni, odnosno pametniji. Temelj Industrije 4.0 je digitalizacija poslovnog i digitalna transformacija proizvodnog procesa te strojnog parka. Kada se poduzeće odluči za digitalnu transformaciju zajedno sa zelenom transformacijom, potrebna joj je dualna strategija. Dualna strategija podrazumijeva upravo digitalnu i zelenu transformaciju. Iako je Industrija 4.0 formalno kao pojam nastala 2011. godine, od tada do danas su se pojavile nove i naprednije tehnologije koje su primjerene proizvodnima poduzećima, poput umjetne inteligencije, a posebice strojnog učenja. Svako proizvodno poduzeće je različito, što znači da svakom proizvodnom poduzeću treba temeljito i stručno pristupiti prilikom dualne transformacije. Stoga je poželjno da u izradi i realizaciji rješenja dualne transformacije sudjeluju interdisciplinarni timovi. Katkada nije nužno provesti transformaciju baš svakog dijela pogona, već je potrebno digitalizirati i povezati ključne strojeve i radne stanice proizvodnje ili uska grla koja onda mogu i doprinijeti željenoj optimizaciji. Predstavljeni prijedlog koncepta dualne transformacije za efikasnu transformaciju se sastoji od pet koraka digitalne te četiri koraka zelene transformacije. No, ono što je jednako bitno jest promjena mentaliteta u poduzeću, na svim nivoima hijerarhije. Također, ključna je i edukacija radnika pri čemu ne dolazi do smanjenja broja zaposlenika, već dapače, do povećanja broja zaposlenih, ali i njihovih znanja i vještina.

Zaključno, na primjeru poduzeća Pastor TVA, analizirao sam njihovo trenutno stanje, tj. ERP sustav koji ima u sebi nedostataka jer je vrlo statičan softver, bez prilagodbe prilikom neplaniranih promjene u okolini. Prijedlog i razrada daljnjih koraka se sastoji od izrade digitalnog blizanca (koji tehnologijama simulacije i strojnog učenja u stvarnom vremenu pomoću IoT-a omogućava dinamičko i fleksibilno planiranje proizvodnje), praćenja životnog vijeka proizvoda pomoću barcode tehnologije, implementacija cirkularne ekonomije (ispravnim gospodarenjem otpadnog čelika, papira i kartona) te primjena solarnih kolektora na krovu i smanjenje štetnih emisija jednostavnim promjena u procesima.

LITERATURA

- [1] https://ec.europa.eu/environment/basics/green-economy/efficiency/index_hr.htm, 4.1.2022.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Resource>, 4.1.2022.
- [3] Europska komisija: Tematski informativni članak o europskom semestru; Učinkovito iskorištavanje resursa, 2017.
- [4] https://europa.eu/youth/get-involved/sustainable-development/what-climate-change_hr, 4.1.2022.
- [5] <https://climatetrade.com/which-countries-are-the-worlds-biggest-carbon-polluters/>, 4.1.2022.
- [6] <https://www.ipcc.ch/about/>, 4.1.2022.
- [7] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_hr, 4.1.2022.
- [8] <https://www.desouttertools.com/industry-4-0/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>, 5.1.2022.
- [9] Opetuk, T.: Industrija 4.0, FSB Zagreb, predavanja, ak. god. 19./20.
- [10] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hannover-Messe>, 6.1.2022.
- [11] Kagermann H. et al.: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.
- [12] Štefanić, N.: Industrija 4.0, Pokretač razvoja u RH, FSB Zagreb, predavanja, ak. god. 20./21.
- [13] <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>, 7.1.2022.
- [14] <https://hamagbicro.hr/hamag-bicro-potice-pametnu-proizvodnju-u-hrvatskoj/>, 7.1.2022.
- [15] Veža I. et al.: Inovativno pametno poduzeće, 2018.
- [16] <https://www.hnb.hr/documents/20182/3776564/i-062.pdf/5720fb3d-20b6-e592-bb23-20cd61c19680>, 8.1.2022.
- [17] https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/business-insights/docs/ioe-value-at-stake-public-sector-analysis-faq.pdf, 7.2.2022.
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things, 7.2.2022.
- [19] <https://global.hitachi-solutions.com/blog/industrial-iot-benefits>, 7.2.2022.
- [20] <https://imaginovation.net/blog/iot-benefits-manufacturing/>, 7.2.2022.
- [21] <https://www.ericsson.hr/5g>, 7.2.2022.

- [22] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20210211STO97614/big-data-definition-benefits-challenges-infographics>, 8.2.2022.
- [23] <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>, 8.2.2022.
- [24] <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>, 8.2.2022.
- [25] Štefanić, N.: Industrija 4.0 i umjetna inteligencija, FSB Zagreb, predavanja, ak. god 20./21.
- [26] Prister, V.: Umjetna inteligencija, Media, Culture and Public Relations, 2019.
- [27] <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>, 14.2.2022.
- [28] <https://www.britannica.com/technology/robotics>, 14.2.2022.
- [29] <https://www.jacksonlewis.com/publication/potential-impact-virtual-and-augmented-reality-manufacturing>, 15.2.2022.
- [30] Đukić, G.: Posebna poglavlja tehničke logistike, FSB Zagreb, predavanja, ak. god. 21./22.
- [31] <https://imprint-e.com/benefits-of-rfid-technology/>, 15.2.2022.
- [32] Ćosić, P.: Održiva proizvodnja, FSB Zagreb, predavanja, ak. god. 16./17.
- [33] <https://www.iso.org/home.html>, 16.2.2022.
- [34] https://ec.europa.eu/environment/index_en, 16.2.2022.
- [35] Uygur, A., Yasin Musluk, B., Ilbey, N.: Examining the influence of green management on operation functions: Case of business, 2015.
- [36] Bačun, D., Matešić, M., Omazić, M.A.: Leksikon održivog razvoja, 2012.
- [37] Direktiva 2009/125/EC Europskog parlamenta i Vijeća o eko dizajnu
- [38] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>, 16.2.2022.
- [39] Dobrović, S.: Gospodarenje otpadom, FSB Zagreb, predavanja, ak. god. 21./22.
- [40] Gradski ured za energetiku, zaštitu okoliša i održivi razvoj: Informativna brošura za promicanje obnovljivih izvora energije, 2012.
- [41] Štefanić, N.: Dualna transformacija proizvodnih poduzeća, GALP konferencija
- [42] <https://www.pastor.hr/>, 10.2.2022.
- [43] Keretić, D.: Automatizacija linije za završnu montažu vatrogasnih aparata DSM-NEB, Pastor TVA