

UTJECAJ INDUSTRIJE 4.0 NA DEMOGRAFSKI RAZVOJ

Željko ŠPOLJARIC

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Hrvatska

zeljko.spoljaric@ferit.hr

Vedrana JERKOVIĆ ŠTIL

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Hrvatska

vedrana.jerkovic@ferit.hr

Krešimir MIKLOŠEVIĆ

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Hrvatska

kresimir.miklosevic@ferit.hr

Sažetak

Zbog brzog tehnološkog napretka, povećanja tržišta, promjena zahtjeva kupaca i promjena globalne ekonomije, proizvodnja prema načelima Industrije 4.0. ima velik utjecaj na trendove industrijskog razvoja. Koncept pametnih tvornica (umjetna inteligencija (engl. Artificial Intelligence - AI), autonomna robotizacija, digitalni blizanac, sustavi s više agenata (Multiagent Systems - MAS), analiza velike količine podataka) donosi veću učinkovitost, fleksibilnost i kvalitetu finalnog proizvoda, što rezultira značajnom uštedom vremena u procesu proizvodnje. Uvođenje tehnologija Industrije 4.0 također ima velik utjecaj na ekološku dimenziju u pogledu smanjene potrošnje energije kao rezultat pametnih proizvodnih tehnologija s mogućnošću uravnoteženja opterećenja, a time i smanjenja emisije CO₂. Aditivna proizvodnja također smanjuje otpadni materijal što utječe na uštedu sirovina u procesu proizvodnje. Uvođenje digitalizacije i automatizacije poslovnih procesa (npr. softver za planiranje resursa poduzeća – engl. Enterprise Resource Planning - ERP, softver za upravljanje proizvodnim operacijama – engl. Manufacturing Operation Management - MOM) daje još veći naglasak na ove učinke. Tradicionalnu centraliziranu kontrolu zamjenjuje decentralizirana kontrola, tj. kontinuirana komunikacija i suradnja inteligentnih agenata. Ušteda vremena u procesu proizvodnje dovest će do transformacije tržišta rada. Može se očekivati smanjenje niskokvalificiranih radnih mjesta. S druge strane, potražnja za dobro obučanim i visokoobrazovanim zaposlenicima će rasti zajedno s pojavom novih radnih mjesta. Rasprava o učinku uvođenja Industrije 4.0. o kretanjima na tržištu rada treba uzeti u obzir lokalne i globalne demografske trendove. Svjetsko stanovništvo postaje sve starije kako se očekivani životni vijek povećava, a stopa

nataliteta opada. Ovo se posebno odnosi na regiju Slavonije i Baranje kao regije kojoj će trebati dodatna potpora da se prilagodi zahtjevima Industrije 4.0 i da iskoristi prednosti u ovom novom konceptu proizvodnje, posebno u području proizvodnje hrane, rastućem IT sektoru i razvoju specijaliziranih industrija visoke tehnologije. U smislu demografskih trendova, Industrija 4.0 zasigurno pruža priliku za poboljšanje socioekonomskog statusa radno sposobnog stanovništva pojedine regije kao dobru osnovu za solidan razvoj.

Ključne riječi: Industrija 4.0, pametne tvornice, tržište rada, demografski trendovi.

Ključna poruka rada: Transformacija proizvodnje prema načelima Industrije 4.0 ima veliki utjecaj na industrijski razvoj i trendove na tržištu rada. Uzimajući u obzir demografske prilike regije Slavonije i Baranje, Industrija 4.0 zasigurno pruža priliku za poboljšanje socioekonomskog statusa radno sposobnog stanovništva kao dobru osnovu za solidan razvoj.

1. Uvod

Pojam četvrte industrijske revolucije se počeo kao koncept prvi puta spominjati u Njemačkoj 2011. godine. Time se željelo izraziti digitalnu dimenziju budućih industrijskih struktura odnosno pojam kibernetičko-fizičkih sustava - CPS (engl. *Cyber-Physical Systems*) kao što je dano u (Pinheiro i sur., 2019) koji se nadograđuje u (Xu, Lu, Vogel-Heuser i Wang, 2021) kibernetičko-fizičke proizvodne sustave - CPPS (engl. *Cyber Physical Production System*).

Iako koncept Industrije 4.0 zvuči kompleksno i česta je prododžba da nije još u praktičnoj upotrebi u našoj okolini, elementi industrije 4.0 se intenzivno implementiraju u nove pogone te pri modernizaciji postojećih pogona.

Imajući to u vidu potrebno je analizirati sve prednosti, ali i moguće nedostatke (izazove) koji se pojavljuju pri implementaciji novog koncepta proizvodnje i poslovanja.

Ukoliko se posebno razmatra utjecaj razvoja na demografska kretanja, u prošlosti su industrijske revolucije uglavnom imale pozitivan utjecaj na rast populacije. Međutim, Industrija 4.0 se javlja u razdoblju kada stanovništvo stari te u vremenu kada udio populacije mlađe od 14 godina opada. To je vidljivo prema podacima Ujedinjenih Naroda (United Nations, 2017) od 2017. godine gdje je dana struktura stanovništva prema dobnim skupinama (0-14 godina, 15-65 godina i više od 65 godina) za Europu, SAD i Kinu u razdoblju od 1950. do 2017. godine kao i predviđanja odnosno budućih trendovi za 2030. i 2050. godinu. Može se reći da se u smislu tih predviđanja Industrija 4.0, a i Industrija 5.0 kao njena sljednica, javljaju kao odgovor na uvjete rada u društvu koje stari. Nove digitalne tehnologije, AI i industrijski roboti su glavni dio toga rješenja



(Kuka, 2024). Utjecaj digitalizacije prema konceptu Industrije 4.0 na demografiju je dan u izvješću Dutsche Bank od 2018. godine prema (Auer, 2018). U radu (Sima i sur., 2020) je dan utjecaj Industrije 4.0 na razvoj društva u cjelini. Cilj ovoga rada je načiniti pregled osnovnih elemenata koncepta Industrije 4.0 te njenih utjecaja na industrijsku proizvodnju, ekologiju i socio-ekonomske prilike kao okosnicu demografskog razvoja Slavonije i Baranje.

U radu će također biti opisan koncept Industrije 5.0 koji bi mogao biti odgovor na izazove suvremenog industrijskog razvoja.

2. Nove tehnologije i industrijska proizvodnja

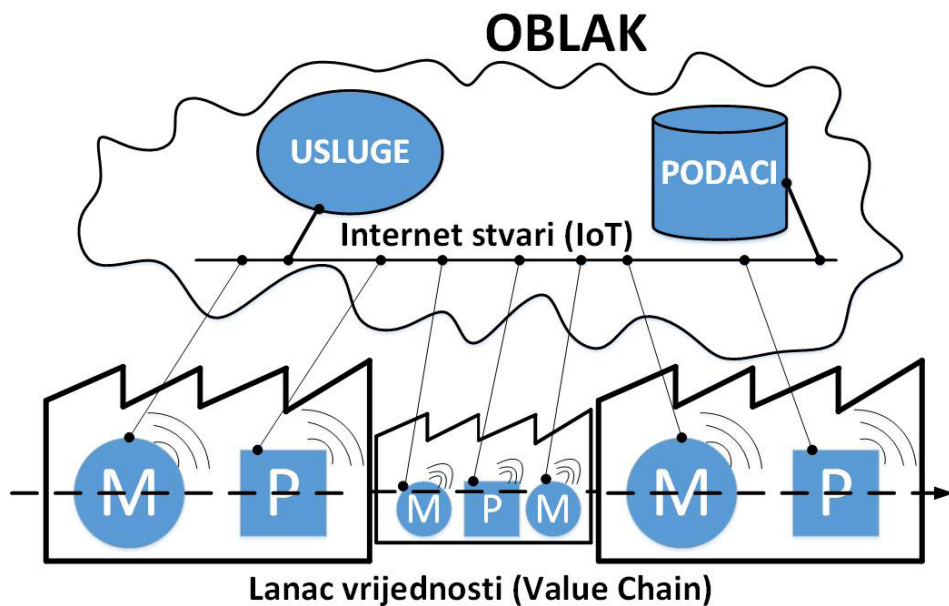
Industriju 4.0 može se opisati odnosno definirati kao sustav s naprednom povezanošću koji osigurava prijenos podataka i informacija u stvarnom vremenu (*Real-Time Data Acquisition*) od fizičkog svijeta, zatim povratne informacije od kibernetičkog svijeta (*Cyber Space*) te inteligentno upravljanje dobivenim podacima u svrhu analitike i računalne sposobnosti svojstvene kibernetičkom prostoru.

Ovako spomenuta definicija se prvi puta spominje u (Lee, Bagheri i Kao, 2015).

Sam opis ovog novog načina funkcioniranja procesa u različitim gospodarskim granama je složen te se ukratko može reći da koncept Industrije 4.0 počiva na kibernetičko-fizičkom sustavu (CPS), računarstvu u oblaku (*Cloud Computing*) i virtualnoj stvarnosti (*Virtual Reality*). Ovaj način funkcioniranja procesa dovodi do velikih promjena u proizvodnom procesu kojeg sada karakterizira digitalizacija, inteligentno upravljanje i samo-organizacija.

Slika 1 prema (Golzer, Cato i Amberg, 2015) daje pojednostavljeni koncept Industrije 4.0 s osnovnim komponentama koji je prema tome baziran na povezanosti svih komponenti sustava u globalnu mrežu (*Internet of Things – IoT*). Sve komponente sustava kojeg čine strojevi (M - *machine*) i proizvodi (P - *product*) mogu komunicirati jedni s drugima, interpretirati dobivene podatke, pokretati odgovarajuće akcije te imati mogućnost autonomne samo-kontrole i samooptimizacije.

Slika 1: Pojednostavljeni prikaz osnovnih komponenti Industrije 4.0



Prema (Jari, 2023) dan je kompletan prikaz komponenti Industrije 4.0 koja se sastoji od 11 elemenata, a to su: aditivna proizvodnja, umjetna inteligencija (AI), autonomni roboti, analiza velike količine podataka, računarstvo u oblaku, kibernetička sigurnost, horizontalna i vertikalna integracija sustava, industrijski internet stvari (IIoT), novi poslovni model, similirana i proširena stvarnost.

Slika 2: Kompletan prikaz komponenti Industrije 4.0



Izvor: <https://www.symmetryelectronics.com/getmedia/ca4a8d32-2d97-4e5e-8a1a-065ffa20bfc4/PSDC.pdf> (pristupljeno: 7. 11. 2024.)

Na Slici 2 je prema (PSDC, 2018) dan precizan prikaz osnovnih elemenata koncepta Industrije 4.0.

Proizvodi dobiveni takvim procesom imaju poznatu povijest proizvodnje, mogu se jasno identificirati i locirati u svakom trenutku kao što je obrazloženo u (Kagermann, Wahlster i Helbig, 2013). Isto tako ti inteligentni proizvodni sustavi su povezani s kompletnim poslovnim procesom i lancem vrijednosti (*Value Chain*) što je skup koraka i aktivnosti koji postupno dodaju vrijednost proizvedenoj robi ili usluzi.

To omogućava kontrolu i optimizaciju lanca vrijednosti u stvarnom vremenu (engl. *Real-Time*), a na taj način i narudžbu novih proizvoda te njihovu isporuku.

Može se zaključiti da približavanje stvarnog fizičkog svijeta sa digitalnim svijetom putem CPS-a koji predstavlja inteligentnu strukturu u spomenutim procesima, omogućava novi koncept autonomne i decentralizirane proizvodnje kako je više opisano u (Brettel i sur., 2014).

Inteligentni proizvodi dobiveni procesom baziranim na Industriji 4.0 nose potpunu informaciju o svome porijeklu, mogu komunicirati s odgovarajućim proizvodnim resursima u lancu vrijednosti te samostalno odlučivati o daljnjim postupcima, ako je potrebno (Slika 1).

Pošto se u procesu proizvodnje ovog tipa koriste inteligentni strojevi (engl. *Intelligent Machines*), oni imaju mogućnost prediktivnog održavanja, prevencije kvarova kao i organizaciju održavanja kako bi se povećala održivost, raspoloživost, pouzdanost i sigurnost proizvodnje.

Zbog velike količine podataka (engl. *Big Data*) koji je rezultat koncepta proizvodnje i procesa Industrije 4.0, postoje i u uporabi su različita softverska rješenja za obradu i procesuiranje podataka prema različitim klasifikacijskim kriterijima. Neka od najpoznatijih korištenih rješenja su *Hadoop HDFS* i *MapReduce*, *Cassandra*, *MongoDB* i *SimpleDB* te se mogu naći u ((White, 2012); (Hewitt, 2010); (Chaganti i Helms, 2010) i (Chodorow, 2013)).

Trenutno se za obradu velike količine podataka mogu definirati dva pristupa kao što je navedeno u (Golzer i sur., 2015). Prvi pristup pod imenom rudarenje podataka (engl. *Data Mining*) u kojem upiti u stvarnom vremenu i nasumični pristup podacima nisu bitni te drugi pristup pod imenom pristup entitetu (engl. *Entity Access*) čija rješenja omogućuju odgovaranje na upite u stvarnom vremenu te omogućavaju pristup podacima.

Glavni elementi koncepta Industrije 4.0 su umjetna inteligencija (engl. *Artificial Intelligence - AI*), autonomna robotizacija, digitalni blizanci (engl. *Digital Twin*), sustavi s više agenata (engl. *Multiagent Systems - MAS*) i kibernetička sigurnost.

Treba istaknuti da je umjetna inteligencija (AI) temelj koncepta Industrije 4.0 bez koje ona ne bi mogla funkcionirati.

Digitalizacije i automatizacije poslovnih procesa (npr. softver za planiranje resursa poduzeća – engl. *Enterprise Resource Planning - ERP*, softver za upravljanje proizvodnim operacijama – engl. *Manufacturing Operation Management - MOM*) je u službi digitalizacije poslovanja.

Pojedini elementi koncepta Industrije 4.0 bit će detaljnije pojašnjeni u narednim potpoglavljima.

Umjetna inteligencija

Umjetna inteligencija (AI) je prema (Što je umjetna inteligencija i kako se upotrebljava?, 2023) sposobnost nekog uređaja da oponaša ljudske aktivnosti poput učenja, planiranja i kreativnosti. Autori (Ahmed, Jeon, Piccialli, 2022) navode umjetnu inteligenciju kao vodeći koncept četvrte industrijske revolucije jer omogućuje razvoj autonomnih uređaja.

Područje umjetne inteligencije koje bilježi najveći razvoj je strojno učenje, s posebnim naglaskom na duboko učenje (Slika 3).

Razvoj umjetne inteligencije se odvija velikom brzinom te algoritmi postaju vrlo složeni i često teško razumljivi čak i stručnjacima. Stoga se pojam objašnjive umjetne inteligencije (engl. *Explainable Artificial Intelligence - XAI*), osmišljen 2004. godine sve više upotrebljava u teoriji umjetne inteligencije. Objašnjiva umjetna inteligencija podrazumijeva algoritme umjetne inteligencije čije principe djelovanja ljudi mogu pojmiti, ali i metode koje pomažu shvaćanju djelovanja algoritama umjetne inteligencije. U radu (Schwable i Finzel, 2024) je načinjena sistematizacija metoda i koncepata objašnjive umjetne inteligencije koja može poslužiti kao pomoć početnicima u ovom znanstvenom polju te stručnjacima olakšati izbor najpovoljnije metode ovisno o primjeni.

Višeagentni sustavi

Prema (Badjonski, Ivanović, Budimac, 1999) višeagentni sustavi su nova grana polja distribuirane umjetne inteligencije te su jedna od glavnih tema istraživanja u računarstvu. U radu (Orr i Dutta, 2023) dan je pregled višeagentnih sustava zasnovanih na dubokom učenju za primjene u pogonima s više autonomnih robota. Razmatrani su roboti koji se kreću zrakom, po tlu te robotski manipulatori. Ovakvi sustavi omogućuju razvoj autonomnih i inteligentnih jedinica koje se nazivaju agenti. Agenti su hardverski ili softverski računalni sustavi koji imaju sljedeća svojstva:

- ▶ autonomija – mogu raditi bez izravne intervencije ljudi ili nadređenih uređaja,
- ▶ socijalne mogućnosti – mogu komunicirati s drugim agentima (moguće i ljudima) putem nekog zajedničkog jezika,
- ▶ reaktivnost – agenti percipiraju okruženje u kojem se nalaze (fizički svijet, grafičko sučelje, okruženje drugih agenata, Internet te kombinacija navedenog) te se prilagođavaju promjenama u stvarnom vremenu,
- ▶ proaktivnost – pokazuju ponašanje usmjereno prema cilju i preuzimaju inicijativu.

Slika 3: Odnos pojmova umjetne inteligencije, strojnog učenja i dubokog učenja



Višeagentni sustavi distribuiranim djelovanjem više agenata postaju sustav velike robusnosti i pouzdanosti. Autori (Leng i sur., 2022) navode kako višeagentni sustavi mogu imati jednog ili više vlasnika. Ukoliko agenti višeagentnog sustava imaju više vlasnika, oni mogu međusobno komunicirati, pregovarati i surađivati.

Digitalni blizanac

Digitalni blizanac je prema (What is a digital twin?, 2023) definiran kao virtualna reprezentacija objekta ili sustava dizajnirana kao točni prikaz stvarnog objekta. Služi za povećanje životnog vijeka objekta, konstantno se nadograđuje podacima mjerenim na stvarnom objektu u stvarnom vremenu. Pomoću simulacija, strojnog učenja i zaključivanja digitalni blizanac je pomoć u donošenju odluka o upravljanju i servisiranju stvarnim objektom.

Digitalni blizanci se osim u industriji mogu koristiti i u drugim gospodarskim granama. Za regiju Slavonije i Baranje posebno je zanimljivo razmotriti upotrebu digitalnih blizanaca u poljoprivredi. Autori (Purcell, Neubauer, Mallinger, 2023) navode prednosti i potencijalne izazove implementacije digitalnih dvojnika u poljoprivredi. Ističu kako je najvažnije pravilno odrediti ciljeve proizvodnje. Osim ekonomskih (povećanje zarade) potrebno je pravilno definirati i socio-ekološke (npr. smanjenje emisije stakleničkih plinova) te održivost proizvodnje.

Aditivna proizvodnja

Aditivna proizvodnja podrazumijeva izradu i oblikovanje proizvoda dodavanjem materijala umjesto oduzimanjem (tokarenjem, glodanjem, brušenjem). Ovaj koncept proizvodnje nije nov, ali je razvoj tehnologije u četvrtoj industrijskoj revoluciji omogućio brzi razvoj tehnologija aditivne proizvodnje. Najpoznatija tehnika aditivne proizvodnje je 3D printanje. Uz razvoj tehnologije aditivne proizvodnje veže se i razvoj nerazornog ispitivanja materijala kojim se osigurava kvaliteta gotovog proizvoda (izbjegava se pojava poroznosti i grešaka u dimenziji gotovog proizvoda). Metode adaptivne proizvodnje se prema (Segovia Ramírez, Márquez, Papaelias, 2023) mogu podijeliti na:

- ▶ metoda brizganja veziva – svaki sloj se formira pomoću vezivne tekućine koja povezuje najčešće praškasti materijal,
- ▶ ekstruzija materijala – materijal se preša kroz glavu za ubrizgavanje, zagrijava i nanosi u slojevima,
- ▶ mlaziranje materijala – ubrizgavanje slojeva materijala (keramike, metala)
- ▶ fuzija sloja praha – taloženje praškastih materijala (najčešće metala) u slojevima koji se tale laserom ili elektronskim snopom,

- ▶ usmjereno taloženje energije – pomoću izvora energije (laser, elektronska zraka) kombinira se ekstruzija materijala i taljenje praha,
- ▶ fotopolimerizacija – svjetlosno inducirano stvrdnjavanje polimera.

Industrija 4.0 i digitalizacija poslovanja

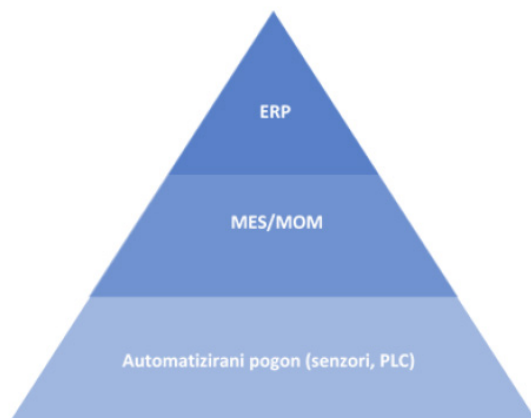
Osim digitalizacije i automatizacije dijelova proizvodnog pogona, koji su se odvijali tijekom treće industrijske revolucije, u četvrtoj industrijskoj revoluciji automatizira se cijeli proizvodni proces pa čak i cijeli sustavi poslovne logistike. Sve navedene razine automatizacije sustava se unutar poduzeća povezuju te se na temelju praćenja tijeka proizvodnje može planirati termin isporuke gotovog proizvoda, ali i vremenski okvir unutar kojeg bi se mogao početi proizvoditi novi proizvod. Uz poznate ulazne sirovine potrebne za određeni proizvod metodama umjetne inteligencije moguće je generirati i plan nabave. Praćenje stanja dijelova pogona omogućuje predviđanje kvarova i zastoja te pravovremeno planiranje servisiranja ili remonta pogona.

U smislu automatizacije proizvodnih operacija pojavljuju se pojmovi Sustava izvršenja proizvodnje (engl. *Manufacturing Execution Systems - MES*) te Sustavi upravljanja proizvodnim procesima (engl. *Manufacturing operations Management - MOM*). Prema (Bradford, 2023) sustavi izvršenja proizvodnje omogućuju upravljanje sirovinama, praćenje tijeka proizvodnog procesa, prikupljanje i obradu velikih količina podataka. Sustavi upravljanja proizvodnim procesima uz navedeno omogućuju nadzor strategije cijelog proizvodnog procesa te upravljanje kvalitetom proizvodnje.

Autori (Belak, Ušljebrka, 2017) objašnjavaju da se na najvišoj razini razvijaju visoko integrirani aplikacijski softverski paketi koji podržavaju poslovne procese unutar organizacije i povezuju ih s procesima izvan organizacije (npr. nabava). Takvi sustavi nazivaju se Sustavi za planiranje resursa poduzeća (engl. *Enterprise Resource Planning - ERP*).

Hijerarhija i komunikacijski putovi opisanih sustava definirani su ANSI/ISA 95 standardom (Slika 4).

Slika 4: *Hijerarhija sustava automatizacije poslovanja*



3. Održivost i utjecaj na demografiju Industrije 4.0

Svaki dosadašnji koncept primjene novih tehnologija u prošlim industrijskim revolucijama imao je za cilj poboljšanje tehnologije proizvodnje i rasta, a sukladno s time i poboljšanje socio-ekonomskih prilika. Takav koncept rezultira ekonomskim rastom, povećanom produktivnošću i napretkom u onim zemljama gdje se primjenjuje jer taj novi koncept rezultira većom proizvodnjom roba visoke kvalitete.

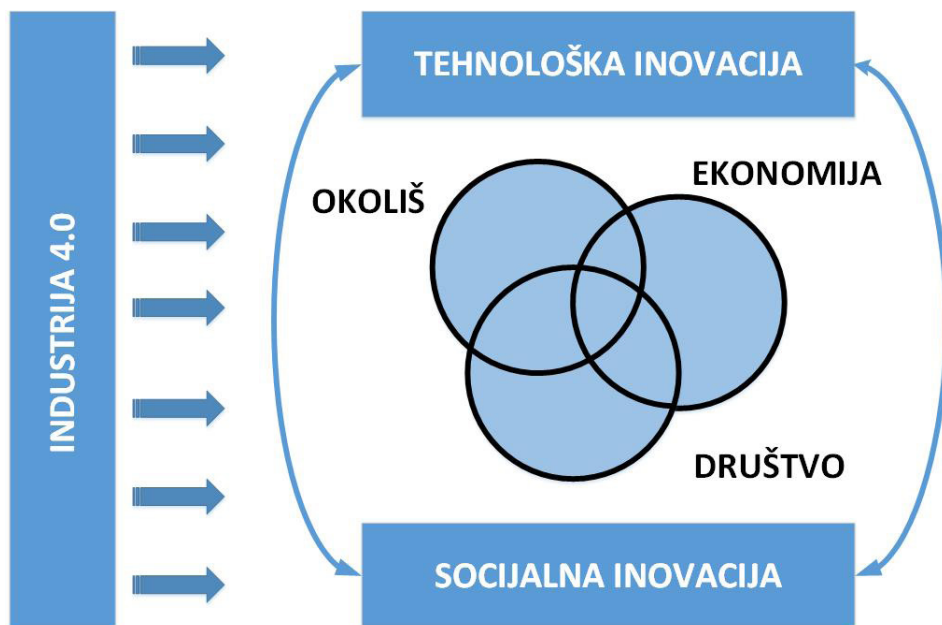
Da bi ovakav sustav u budućnosti bio održiv, ključna su tri osnovna stupa na kojima on mora počivati, a to su: ekonomija, društvo i okoliš kako je prikazano na Slici 5 prema (Morrar, Arman i Mousa, 2017).

Novi model današnje industrije predstavlja pomak prema inovativnoj tehnologiji i ekonomiji gdje je internet stvari (IoT) glavna poveznica i centar koji omogućava ovaj koncept. To vodi k tome da trenutne strukture tržišta i poslovanja bivaju kompletno digitalizirane i međusobno čvrsto povezane, ali i definirane novim faktorima kao inovacija, pametne tehnologije, intelektualno vlasništvo i lakši pristup znanju. Taj novi pristup je dodatno opisan u (Geiger i Sa, 2013).

Također, ovakav način poslovanja uvelike je promijenio i način funkcioniranja tržišta odnosno potrošača koji su puno više informirani, lako dolaze do informacija, točno znaju što žele, imaju mogućnost velikog izbora i varijanti proizvoda i traže točno određene proizvode prilagođene njima što mijenja proizvodne trendove i procese proizvodnje na način da se ide prema ostvarenju zahtjeva kupaca koji su te posebne zahtjeve voljni i platiti.

Na taj način od tvrtki se očekuje da prilagode poslovne modele te da budu puno fleksibilnije kako bi mogle odgovoriti promjenama i trenutnim zahtjevima tržišta. To je i omogućeno novim pametnim tvornicama sa viskom razinom fleksibilnosti čiji proizvodi imaju visoku kvalitetu i veću dodanu vrijednost.

Slika 5: *Koncept održive Industrije 4.0*



Ovakav brzi napredak koji je fokusiran na nove tehnologije, inovativnost, kompletnu digitalizaciju kao i brzi razvoj, moguće da i negativno utječe na pojedince i društvo. Zbog toga je potrebno prilagoditi tehnološke inovacije u smjeru društvene perspektive i dobrobiti društva kao što je dano u (Morrar i sur., 2017).

Nove tehnologije su potpuno promijenile dosadašnje principe tržišta i proizvodnje dobara te otvorile nove načine funkcioniranja ponude i potražnje. Također, došlo je do potpune promjene načina na koji ljudi rade i biraju proizvode te načina na koji mogu investirati u razvoj novih poslova i proizvodnju novih dobara.

Zbog svih spomenutih promjena na društvo, tržište rada, proizvodnju i inovacije koje nosi Industrija 4.0 i njena implementacija, potrebno je da političari i nositelji vlasti brže reagiraju i prilagode takvim brzim promjenama na način da osiguraju poticajno okruženje, odgovarajuće zaštitne mjere, ograničenja i pravila koja će u budućnosti osigurati održivu ekonomiju i društveni razvoj gdje će koristi od novih tehnologija biti na dobrobit ljudi i zajednice.

Globalne promjene koje nosi Industrija 4.0 kao i načine kako se najbolje njima prilagoditi su dane u (Morrar i sur., 2017).

Može se zaključiti da Industrija 4.0 ima veliki potencijal za pozitivne promjene u društvu i ekonomiji, a njenim daljnjim razvojem prema Industriji 5.0 i većoj primjeni umjetne inteligencije (AI), uz određena ograničenja glede sigurnosti, sigurno će doprinijeti kompletnoj promjeni načina funkcioniranja društva nudeći nova rješenja postojećim problemima kao i kod nastanka novih problema koji se tek mogu pojaviti.

Koncept Industrije 4.0 dijelom vezan i kao odgovor na nove demografske prilike gdje je smanjen udio radno sposobnog stanovništva, ali ima mogućnost i pozitivnog utjecaja na demografske prilike ukoliko se budu potpuno iskoristili za društvo u socijalnom smislu.

Upravo bi novi koncept na kojem će počivati Industrija 5.0 trebao prepoznati i postići da nova industrija omogući postizanje društvenih ciljeva na dobrobit ljudi poštujući ograničenja našeg planeta i postavljajući dobrobit radnika u centar proizvodnog procesa, a iznad samo zarade i rasta (Xu i sur., 2021).

Utjecaj Industrije 4.0 na ekologiju

Osim velikog utjecaja Industrije 4.0 na poboljšanje produktivnosti, uvođenje novih tehnologija i inovacija u proizvodni proces i poslovanje, Industrija 4.0 ima mogućnost poboljšanja energetske učinkovitosti te održivim načinom proizvodnje i korištenja dobara kako je detaljnije opisano u (Stock i sur., 2018). Zbog kompletne digitalizacije proizvodnje i inovativnog sustava praćenja proizvoda od samog njegovog nastanka, moguće je osigurati korištenje manje resursa potrebnih za proizvodnju i manje energije što omogućava čišću - ekološku proizvodnju koja je prilagodljiva i održiva (Slika 6).

Kao poseban primjer održivosti, mogu se navesti pametni gradovi koji funkcioniraju na spomenuti način (engl. *Smart Cities*).

Kako sama proizvodnja u Industriji 4.0 počiva na kibernetičko-fizičkom sustavu, takvi sustavi sami po sebi mogu doprinijeti manjem korištenju resursa i stvaranju manje otpada. Također, kao komponenta tome pridonosi i povezanost sustava u globalnu mrežu, a računarstvo u oblaku (engl. *Cloud Computing*) omogućava kontroliranu upotrebu energije i resursa kao što su voda i sirovine koje se koriste u proizvodnom procesu (Cezanne, Lorenz i Saglietto, 2020).

Zbog samog načina funkcioniranja, Industrija 4.0 omogućava proizvodnju manjih serija koje su prilagođene specifičnim zahtjevima kupaca, a time se onemogućuje gomilanje bespotrebnih zaliha proizvoda, manje energije i resursa za transport proizvoda. Također je omogućen dizajn proizvoda sa dužim vijekom trajanja gdje je prioritet postavljen na smanjenje otpada, moguće održavanje i popravak proizvoda te recikliranje ili vraćanje u proizvodni proces kako je opisano u (Jabbour i sur., 2018).

Može se zaključiti da tehnologija koju koristi Industrija 4.0, ako se pravilno koristi, može doprinijeti čišćoj – ekološkoj proizvodnji uz manju potrošnju energije, manje otpada, veću

Slika 6: Održiva ekologija i buduće radno okruženje s novim tehnološkim napretkom



Izvor: <https://www.deanlong.io/blog/future-of-work> (pristupljeno: 16. 9. 2024.)

iskoristivost proizvoda, većoj kvaliteti proizvoda i produženom vijeku trajanja proizvoda napravljenog tako da je omogućen popravak u svrhu produženja vijeka trajanja i produženog korištenja te daljnje recikliranje većeg dijela proizvoda, ukoliko daljnji popravak nije moguć.

Industrija 4.0 i obrazovanje

Autori u (Grybauskas, Stefanini, Ghobakhloo, 2022) upozoravaju na važnost tema vezanih za budućnost zanimanja i radnih mjesta na gospodarskoj mikro i makro razini. Na mikro razini potrebno je razmatrati kako će se četvrta industrijska revolucija, tj. intenzivna digitalizacija i automatizacija poslova odraziti na sigurnost radnih mjesta i kvalitetu života pojedinog zaposlenika u određenom poduzeću. Na makro razini potrebno je razmatrati razvoj regija i države. Glavni izazovi na makro razini navedeni u Grybauskas i sur. (2022.) su neravnomjerni razvoj među regijama, polarizacija dohodaka, različiti pravni okviri vezani za digitalizaciju, socijalna izolacija te automatsko odlučivanje na bazi algoritama umjetne inteligencije, koji mogu dovesti do gospodarske nesigurnosti.

Ukoliko se izazovi svladaju, četvrta industrijska revolucija može donijeti značajne prednosti gospodarskom razvoju, koji su prema Grybauskas i suradnicima (2022): snažniji razvoj slabije razvijenih regija, reduciranje prenapučenosti urbanih područja, poboljšana komunikacija i suradnja između pojedinih poduzeća te društveno odgovorna politika vođenja ljudskih resursa.

U radu Cserhádi i Károly (2020) dana je analiza trenutne strukture tržišta rada i obrazovanja republike Mađarske. U navedenom radu se također analiziraju demografski trendovi te su na temelju tih analiza dane projekcije mađarskog tržišta rada 2030. godine. U radu je dan zaključak da će problematika tržišta rada u budućnosti uvelike ovisiti o obrazovnom sustavu, tj. njegovoj prilagodbi novim tehnologijama i uvjetima koje donosi četvrta industrijska revolucija. U radu je zaključeno kako se izazovima Industrije 4.0 može odgovoriti podupiranjem cjeloživotnog obrazovanja koje omogućuje prekvalifikaciju sukladnu promjenama tržišta rada te daljnjim razvojem visokog obrazovanja koje daje visoko-kvalificirani radni kadar.

Industrija 4.0 i demografija

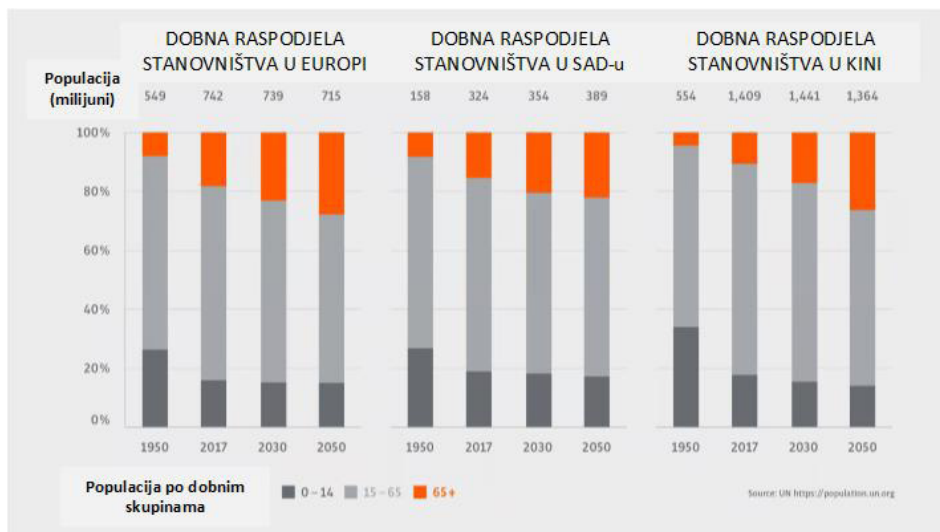
Kao što je spomenuto u uvodu rada, Industrija 4.0 i njen koncept se javlja kao rješenje na društvo koje stari i ima smanjen udio radno sposobnog stanovništva (Kuka, 2024). Negativni demografski trendovi će svakako imati utjecaj i na broj visoko-kvalificirane radne snage koju Industrija 4.0 zahtjeva. Ti demografski trendovi se vide i u podacima istraživanja koje su proveli Ujedinjeni Narodi (United Nations, 2017) te je na slici 7 dana struktura stanovništva u Europi, SAD-u i Kini za razdoblje od 1950. do 2050. godine.

Uključivanje novih tehnologija, npr. naprednih automatiziranih sustava, robotizacije fizičkih poslova, uvođenja umjetne inteligencije u proces proizvodnje i poslovanja, omogućavanja rada na daljinu, smanjit će jaz između zahtjeva tržišta rada i demografskih prilika.

Ove nove mogućnosti u poslovanju i proizvodnji mogu dovesti, a u pojedinim zemljama su već i primjenjene, i do pozitivnog utjecaja na demografske trendove zbog mogućnosti smanjenja radnih sati, a time i povećanju slobodnog vremena, podizanju kvalitete života i životnog standarda.

Pogotovo se ta primjena vidi u napretku na području medicine i zdravstvene zaštite stanovništva gdje su nove tehnologije već utjecale na produženje životnog i radnog vijeka stanovništva.

Slika 7: Dobna struktura stanovništva u Europi, SAD-u i Kini prema podacima UN-a.



Izvor: <https://population.un.org> (pristupljeno: 8. 11. 2024.)

Neki od ovih trendova su dani u istraživanju Europske komisije u radnom dokumentu koji se odnosi na demografske promjene u trenutnim okolnostima na tržištu rada (European Commission, 2023).

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (Državni zavod za statistiku, 2022), prema popisu stanovništva od 2021. godine, struktura stanovništva Republike Hrvatske se nalazi u okviru europskog prosjeka te isto s negativnim trendovima u udjelu populacije od 0 do 14 godina.

4. Zaključak

U radu je dan osvrt na velike tehnološke promjene koje nosi koncept proizvodnje prema načelima Industrije 4.0. Te promjene se odnose na sam novi koncept pametne proizvodnje (pametne tvornice) koja uključuje umjetnu inteligenciju, autonomnu robotizaciju, digitalne blizance, više agentne sustave, računarstvo u oblaku pomoću kojega je sve povezano u jednu globalnu mrežu. Taj novi način funkcioniranja odnosno uvođenja digitalizacije i automatizacije ima veliki utjecaj i na poslovne procese i upravljanje proizvodnim operacijama. Zbog višeagentnih sustava, omogućena je decentralizirana kontrola te kontinuirana komunikacija i suradnja inteligentnih agenata. To dovodi do uštede vremena u procesu proizvodnje, proizvodnje visokokvalitetnih proizvoda s dužim vijekom trajanja te čišće odnosno ekološke proizvodnje uz korištenje manje energije i sirovina. Može se reći da se novi poslovni model bazira na održivosti, smanjenju troškova, povećanju učinkovitosti, konkurentnosti i poštivanju etičkih načela.

Proizvodni proces prema novom konceptu karakterizira interoperabilnost, decentralizirana proizvodnja, mogućnost analize podataka i stanja u stvarnom vremenu, fleksibilna proizvodnja, prilagodljivost proizvoda specifičnim zahtjevima, poboljšanje kvalitete proizvoda te povećana produktivnost odnosno brzina izrade proizvoda.

Korištena oprema i alati u proizvodnom procesu su prilagodljivi promjenama i drugim čimbenicima koji utječu na poboljšanje procesa proizvodnje kroz samooptimizacije i samostalno donošenje odluka (decentralizacija). Svi proizvodi (pametni proizvodi) su opremljeni senzorima i mikročipovima koji omogućavaju vezu između proizvoda i čovjeka u svrhu poboljšanja kvalitete proizvodnje i autonomnog donošenja odluka.

Ušteda vremena s druge strane, dovodi do kompletne transformacije tržišta rada i posebnih potreba za novim visokokvalificiranim radnim mjestima koje ova industrija zahtjeva. Ona donosi i određene negativne aspekte i utjecaje na tržište rada i utjecaje na osobe zaposlene u takvim pametnim tvornicama, a to su: povećani psihološki rizici na mentalno i emocionalno stanje radnika, smanjenje direktnog kontakta između ljudi, utjecaj na privatnost i nezaposlenost zbog potrebe za specifičnim zanimanjima koje traže takva visokokvalificirana radna mjesta.

Kao što je spomenuto, Industrija 4.0 zajedno sa novim konceptom Industrije 5.0 koja je više socijalno orijentirana, može pridonijeti čišćoj i ekološkoj proizvodnji uz korištenje manje energije i resursa te poštujući planetarna ograničenja u smislu smanjenja zagađenja i smanjenja CO₂ na službu i dobrobit cijelog čovječanstva te stavljajući dobrobit čovjeka, a ne profita i zarade u središte procesa.

Također, kao što je napomenuto u radu, Industrija 4.0 je gledajući s demografske strane na trenutnu strukturu stanovništva, odgovor na problem smanjenja radno sposobnog stanovništva, a posredno može dovesti i do pozitivnog utjecaja na demografske prilike, ako bude više socijalno orijentirana.

Gledajući posebno regiju Slavonije i Baranje te trenutno geo-političko okruženje, može se konstatirati da se koncepti Industrije 4.0 mogu svakako primijeniti u postojeće tehnologije proizvodnje hrane, a posebno u proizvodnju zdrave hrane zbog uglavnom nezagađenog poljoprivrednog zemljišta i voda. Također, mogućnost postoji i za razvoj novih industrijskih grana koje do sada nisu bile prisutne na ovom području, a koje dolaskom određenih firmi postaju aktualne. U te nove grane industrije, koncept Industrije 4.0 je odmah implementiran prilikom gradnje novih pogona. Nadalje, razvijeni IT sektor i različite softverske firme na području grada Osijeka pružaju odličnu potporu u razvoju novih tehnologija i potpomažu koncept Industrije 4.0 u postojećim (modernizacija) i novim firmama koje dolaze.

Sustav srednjeg i visokog obrazovanja na području Slavonije i Baranje također je kroz cjeloživotno obrazovanje na dobrom putu da potpomogne ovaj razvoj omogućujući prekvalifikacije sukladno potrebama nove industrije. Također u sustav srednjeg i visokog obrazovanja uvode se novi programi u skladu sa zahtjevima tržišta rada.



Literatura

- Ahmed, I., Jeon G. i Piccialli, F. (2022). From Artificial Intelligence to Explainable Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Survey on What, How, and Where. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(8), 5031-5042, doi: 10.1109/TII.2022.3146552.
- Auer, J. (8. studenog 2018). Industry 4.0 – digitalisation to mitigate demographic pressure, Preuzeto s https://www.dbresearch.com/PROD/RPS_EN-PROD/PROD000000000481662/Industry_4_0_%E2%80%93_digitalisation_to_mitigate_demograp.pdf?undefined&reaload=Hax5Hjaqb5JacHGh-hZnRIOx789uW~y71nLoi50iIjOn2QczbeDcMfxBYo383T93Q
- Badjonski, M., Ivanović M. i Budimac, Z. (1999). Agent Oriented Programming Language LASS, U Zedan, H., Cau, A. (Ur.). Object-Oriented Technology and Computing Systems Re-engineering, Woodhead Publishing, Sawston, 111-121.
- Belak, S. i Ušljebrka, I. (2017). Uloga ERP sustava u promjeni poslovnih procesa. *Oeconomica Jadertina*. 4, 33-52. 10.15291/oec.276.
- Bradford, M (21. studenog 2023). MES and MOM: Do You Know the Difference?, Preuzeto s <https://www.automation.com/en-us/articles/november-2023/mes-mom-do-you-know-difference>
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., i Rosenberg, M. (2014.). How Virtualization Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: A Industry 4.0 Perspective, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 8 (1), 37-44.
- Cezanne C., Lorenz E. i Saglietto, L. (2020). Exploring the Economic and Social Impact of Industry 4.0, *Revue d'économie industrielle*, 169, 11-35. DOI: <https://doi.org/10.4000/rei.8643>
- Chaganti, P. i Helms, R. (2010). Amazon Simple DB Developer Guide, Packt Publishing.
- Chodorow, K. (2013). Mongo DB: The Definitive Guide, USA: O Reilly Media Inc.
- Cserháti, I. i Károly, P. (2020). Industry 4.0 and some social consequences: Impact assessment by microsimulation for Hungary. *Society and Economy*. 42. 105-123.
- Državni zavod za statistiku (22. rujan 2022.): Objavljeni konačni rezultati Popisa 2021. Preuzeto s <https://dzs.gov.hr/vijesti/objavljeni-konacni-rezultati-popisa-2021/1270>
- European Commission (17. siječnja 2023.): Commission Staff Working Document: The impact of demographic change – in changing environment. Preuzeto s https://commission.europa.eu/system/files/2023-01/the_impact_of_demographic_change_in_a_changing_environment_2023.PDF

- Future of Work (31.07.2023.), Preuzeto s <https://www.deanlong.io/blog/future-of-work>
- Geiger, R. i Sa, C. (2013). Tapping the Riches of Science. Preuzeto s https://www.researchgate.net/publication/238206647_Tapping_the_riches_of_science.
- Golzer, P., Cato P, i Amberg M. (2015). Data Processing Requirements of Industry 4.0 – Use Cases for Big Data Applications, *Twenty-Third European Conference on Information Systems (ECIS 2015 Proceedings)*, Munster, Germany, 1-13.
- Grybauskas, A., Stefanini, A. i Ghobakhloo, M. (2022) Social sustainability in the age of digitalization: A systematic literature Review on the social implications of industry 4.0, *Technology in Society*, 70, 1-15.
- Hewitt, E. (2010). *Cassandra: The Definitive Guide*, Australia & New Zealand: O Reilly Media Inc.
- Jabbour, D.S., Jabbour, A.B.L., Filho, G. i Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the Circular Economy: a proposed Research Agenda and Original Roadmap for Sustainable Operations, *Annals of Operations Research*, 270 (1-2), 273-286.
- Jari H. (4. studenog 2023). What are the 11 Pillars of Industry 4.0?. Preuzeto s <https://www.symmetryelectronics.com/blog/11-pillars-of-industry-4-0/>
- Kagermann, H., Wahlster, W. i Helbig, J. (2013). Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementating the Strategic Initiative Industrie 4.0, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Acatech— National Academy of Science and Engineering, *Forschungsunion*, 1-112.
- Kuka (7. studenog 2024). Global Megatrends Shaping the Future of Production: Demographic Change. Preuzeto s <https://www.kuka.com/en-de/future-production/megatrends/demographic-change>
- Lee, J., Bagheri, B. i Kao, H.A. (2015). A Cyber-physical Systems Architecture for Industry 4.0 based Manufacturing Systems, *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Leng, J., Sha, W., Lin, Z., Jing, J., Liu, Q. i Chen, X. (2022). Blockchain smart contract pyramid-driven multi-agent autonomous process control for resilient individualised manufacturing towards Industry 5.0. *International Journal of Production Research*, 61(13), 4302–4321. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2089929>
- Morrar, R., Arman, H. i Mousa, S. (2017.). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective, *Technology Innovation Management Review*, 7 (11), 12-20.

- Orr, J., Dutta, A. (2023). Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Multi-Robot Applications: A Survey, *Sensors*, 23, 1-37, <https://doi.org/10.3390/s2307362>.
- Pinheiro, P., Putnik, G.D., Castro, A., Castro, H., Fontana, B.R., i Romero, F. (2019). Industry 4.0 and Industrial Revolutions: an Assessment based on Complexity, *FME Transactions*, 47 (4), 831-840.
- PSDC (25. studenog 2018). Understanding the Impact of Smart Manufacturing, Preuzeto s <https://www.symmetryelectronics.com/getmedia/ea4a8d32-2d97-4e5e-8a1a-065ffa20bfc4/PSDC.pdf>
- Purcell, W., Neubauer, T. i Mallinger, K. (2023). Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, (1-7) <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101252>.
- Schwab, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution, Geneva: World Economic Forum. Preuzeto s <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>.
- Schwalbe, G. i Finzel, B. (2024). A comprehensive taxonomy for explainable artificial intelligence: a systematic survey on methods and concepts, *Data Mining and Knowledge Discovery*, 38, 3043-3101, <https://doi.org/10.1007/s10618-022-00867-8>.
- Segovia Ramírez, I., Márquez, F.P.G. i Papaelias, M. (2023). Review on additive manufacturing and non-destructive testing. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 260-286. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.005>.
- Sima V., Gheorghe G.G., Subić J. i Nancu, D. (2020). Influences of Industry 4.0 Revolution on the Human Capital Development and Consumer Behavior: A Systematic Review. *Sustainability*, 12 (10), doi: 10.3390/su12104035.
- Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S. i Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential, *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 254-267.
- Što je umjetna inteligencija i kako se upotrebljava? (19. lipnja 2023). Preuzeto s <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20200827STO85804/sto-je-umjetna-inteligencija-i-kako-se-upotrebljava>
- United Nations (2017). Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables, Working Paper No. ESA/P/WP/248, Preuzeto s https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf

What is a digital twin? (2023), Preuzeto s <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>

White, T. (2012). Hadoop: The Definitive Guide. Preuzeto s <https://www.isical.ac.in/~acmsc/WBDA2015/slides/hg/Oreilly.Hadoop.The.Definitive.Guide.3rd.Edition.Jan.2012.pdf>.

Xu, X., Lu Y., Vogel-Heuser, B. i Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception, *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.



INDUSTRY 4.0 IMPACT ON DEMOGRAPHIC DEVELOPMENT

Željko ŠPOLJARIC

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Croatia
zeljko.spoljaric@ferit.hr

Vedrana JERKOVIĆ ŠTIL

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Croatia
vedrana.jerkovic@ferit.hr

Krešimir MIKLOŠEVIĆ

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek, Croatia
kresimir.miklosevic@ferit.hr

Abstract

Due to rapid technological progress, market increasing, customers' demands change and global economy changes, Industry 4.0. production has great impact on industrial development trends. Smart factories concept (artificial intelligence (AI), autonomous robotization, digital twinning, multiagent systems (MAS), big data analysis) brings better efficiency, flexibility and quality of final product, which results with significant time savings in production process. Introduction of Industry 4.0 technologies also has great impact on ecological dimension regarding reduced energy consumption as a result of smart manufacturing technologies with possibility of load balancing and hence, reduction of CO₂ emissions. Additive manufacturing also reduces production waste material which thus has impact on raw material savings in production process. Introducing digitalization and automatization of business process (e.g., Enterprise Resource Planning - ERP software, Manufacturing Operation Management software - MOM) gives even more emphasis on these effects. Traditional centralized control is being replaced with decentralized control, i.e., continuous communication and collaboration of intelligent agents. Time savings in production process will lead to transformation of labor market. The reduction of low-skill work positions can be expected. On the other hand, the demand for well trained and highly educated employees will increase together with emerging of new work positions. Discussing the impact of introducing Industry 4.0. on labor market trends, the local and global demography trends should also be taken into account. The world's population is getting older as lifetime expectance increases and the birth rate declines. This is particularly true for region of Slavonia and Baranja as region which will need additional support to

adopt to Industry 4.0 demands and to take advantage in these new production concept specially in area food production, growing IT sector and specialized high technology industries development. In terms of demography trends, Industry 4.0 for certain provides opportunity for socio-economic status improvement of working population of particular region as solid development base.

Key words: Industry 4.0, Smart factories, labor market, demographic trends.

Key message of the paper: The transformation of production according to the principles of Industry 4.0 has a great impact on industrial development and trends on the labor market. Taking into account the demographic conditions of the region of Slavonia and Baranja, Industry 4.0 certainly provides an opportunity to improve the socioeconomic status of the working population as a good basis for solid development.