

Industrija 5.0: Putovanje od industrijske revolucije do industrijske kooperacije

Industry 5.0: The Journey from the Industrial Revolution to Industrial Cooperation

¹Joško Lozić, ²Katerina Fotova Čiković, ³Ines Lozić

^{1,2}Sveučilište Sjever, Koprivnica, ³Centar za financijska vještačenja, Zagreb

e-mail: 1jlozic@unin.hr, 2kcikovic@unin.hr, 3ineslozic1@gmail.com

Sažetak

Cilj je ovoga rada istražiti i analizirati razvoj industrije od Prve industrijske revolucije do suvremene industrijske prakse 21. stoljeća. Razvoj industrijske proizvodnje krajem 18. stoljeća, te kontinuirani razvoj inovacija u proizvodnji i novih tehnoloških rješenja, prethodili su suvremenoj industrijskoj proizvodnji. Inovacije i tehnološki razvoj temelj su industrijskih revolucija, ali promjene proizvodnih sustava koje su bile temelj industrijskih revolucija nisu bile linearne i jednake po svom utjecaju na promjene. Prva i Druga industrijska revolucija nastale su izravno pod utjecajem razvoja radikalno novih tehnoloških rješenja u proizvodnim procesima. Slična situacija se ponovila s Četvrtom industrijskom revolucijom, dok su Treća i Peta industrijska revolucija bile više nastavak i razvoj, odnosno evolucija već postojećih proizvodnih praksi. Razvoj novih tehnologija u proizvodnji roba i usluga izravno je djelovao i na promjenu i razvoj društvenih odnosa unutar zajednica u kojima su se odvijale industrijske revolucije. U radu se analizira tijek nastanka industrijskih revolucija te se posebno analiziraju ključni čimbenici Pete industrijske revolucije.

Ključne riječi: Industrija 5.0, industrija revolucija, inovacije, razvoj, tehnologija.

Abstract

The aim of this paper is to investigate and analyse the development of industry from the First Industrial Revolution to the contemporary industrial practice of the 21st century. The development of industrial production in the late 18th century and the continuous development of innovations in production and new technological solutions preceded modern industrial production. Innovation and technological development are the basis of industrial revolutions, but the changes in production systems that led to industrial revolutions were not linear and equal in their impact on changes. The First and Second Industrial Revolutions were directly influenced by the development of radically new technological solutions in production processes. A similar situation was repeated with the Fourth Industrial Revolution, while the Third and Fifth Industrial Revolutions were more of a continuation and development, or rather an evolution, of already existing production practices. The development of new technologies in the production of goods and services also directly affected the change and development of social relations within the communities in which the industrial revolutions took place. The paper analyses the course of the emergence of industrial revolutions and in particular analyses the key factors of the Fifth Industrial Revolution.

Keywords: *Industry 5.0, industrial revolution, innovation, development, technology.*

1. UVOD

Razvoj industrijske proizvodnje označio je kraj feudalizma, kao dominantnoga društvenog uređenja, nakon više od tisuću godina. S jedne strane, razvoj industrijske proizvodnje povezuje se s proizvodnjom viška proizvoda za tržište, a s druge strane, što je još važnije, označava društvenu prekretnicu koja je bila uvod u razvoj svekolikih sloboda u društvu. Dok su u feudalizmu kmetovi bili vezani za mjesto proizvodnje, te se nisu mogli slobodno kretati bez dopuštenja vlasnika zemlje na kojoj su radili, industrijska proizvodnja je bila početak razvoja kapitalizma i slobodnoga kretanja ljudi, roba i kapitala. Na prijelazu iz feudalizma u kapitalizam, a prije pojave Prve industrijske revolucije, razvio se proizvodni sustava pod nazivom „putting off“ koji je bio kombinacija feudalne tradicije i novih društvenih odnosa (Rifkin 2015).

Ne može se točno odrediti tko je autor pojma „industrijska revolucija“, ali povjesničara Arnolda Toynbee-a najčešće se povezuju s popularizacijom toga pojma (Serbinenko,

Ludviga, 2025). Pojam revolucija ima prilično dramatičan karakter, ali ga je Toynbee namjerno koristio kako bi naglasio važnost i dubinu promjena koje se povezuje s razvojem industrijske proizvodnje. Uz to, promjene su bile izuzetno nagle i temeljito su mijenjale društvene odnose u Engleskoj toga doba. To se posebno odnosi na sektore: poljoprivrede, prometa, proizvodnje i ekonomske politike (Montagna, 2013). U kontekstu industrijskih revolucija, znanstvenici dijele pojavu i razvoj promjena povezanih s industrijskom revolucijom, od vremena u kojem se koriste dostignuća pojedine industrijske revolucije. Dok je pojam industrijske revolucije povezan s određenim tehnološkim unaprjeđenjem koje je dramatično promijenilo proizvodne i društvene odnose, razdoblje nakon toga povezano je s prevladavajućom tehnološkom strukturom koja diktira proizvodne i društvene odnose, a znanstvenici i praktičari povezuju ih s brojevima od jedan do pet.

Postoji više različitih, ali ponovo vrlo sličnih podjela povezanih s razdobljem kada su se te promjene događale te Sharma i Singu (2020) dijele pojavu industrijskih revolucija, odnosno razdoblja nakon revolucije u kojem se koristi neki dominantni način proizvodnje na sljedeći način: a) Industrija 1.0., od 1760. do 1840., b) Industrija 2.0, od 1870. do 1914., c) Industrija 3.0, od 1950. do 1970., d) Industrija 4.0. od 2011. do danas. U ovoj podjeli izostavljena je pojava i razvoj Industrije 5.0, te će se u radu posebno analizirati prijelaz iz razdoblja industrije 4.0 u Industriju 5.0, te čimbenici koji su doveli do toga prijelaza kao i društveni i organizacijski karakter Industrije 5.0.

2. PREGLED LITERATURE

Postojeća znanstvena i stručna literatura prepoznaje i definira pet temeljnih razdoblja koja povezuju s pet industrijskih revolucija. Prva industrijska revolucija započinje krajem 18. stoljeća, a četvrta i peta industrijska revolucija odvijaju se gotovo istovremeno u posljednjih dvadesetak godina. Ono što je zajedničko za sve industrijske revolucije prepoznaje se u promjenama koje su se dogodile u društvu, a kao izravna posljedica tehnološkoga razvoja (Serbinenko, Ludviga, 2025). Industrijske revolucije su izravno djelovale na promjenu načina života društva u kojima su se odvijale, ali su isto tako utjecale i na rast nejednakosti u društvu. U protekla dva desetljeća, nove su tehnologije uvele i nove izazove, a jedan od takvih izazova je i suradnja ljudi i robota. Takav način razvoja izazvao je nezaustavljivi rast potrebe za visoko obrazovanim radnom snagom (Maddikunta i dr., 2022). Razvoj proizvodnih industrija bio je ključan za gospodarski rast, posebno u krajevima koji nisu imali

tradiciju suvremene proizvodnje koja je podrazumijevala korištenje najnovijih tehnologija (Yong i dr., 2022).

Potruga za naprednim tehnologijama oduvijek je bila pokretačka snaga globalnoga razvoja. Industrijski sektor je stalno u prvom planu takvih napredaka, željan eksperimentiranja s novim idejama i stjecanja naprednih vrhunskih tehnologija. Takav napredak doveo je do prijelaza industrijskih revolucija iz Industrije 1.0 u 4.0. Industrija 1.0 i kasnije industrijske revolucije imale su za cilj odvojiti rad ljudi i strojeva (Narkhede i dr., 2023). Uvođenje novih tehnologija, u svakoj od faza industrijskih revolucija, imalo je izravan utjecaj na rast produktivnosti zaposlenika, a samim tim i na ukupnu učinkovitosti i efikasnost proizvodnoga sustava (Baskaran i dr., 2020). Strojevi ili roboti na kraju su preuzeli odgovornost za većinu poslova koji su teški, monotoni ili opasni za ljude. Postojale su tri industrijske revolucije, a sada je četvrta u tijeku. Fokus Industrije 4.0 pametna je proizvodnja usmjerena na budućnost (Çinar i dr., 2020; Kamble i sur., 2018).

Proizvodna industrija prolazi kroz procese transformacije koji su potaknuti brzim usvajanjem suvremenih tehnologija i promjenjivim društvenim potrebama (Shabur i dr., 2025). Od usvajanja vodene pare kao pogonskoga goriva koje je potaklo Prvu industrijsku revoluciju do razvoja i primjene digitalizacije proizvodnih procesa koji karakteriziraju Industriju 4.0, svijet je svjedočio nezaustavljivim promjenama i proizvodnim praksama (Shabur, 2024). Razvoj industrije 4.0 odvijao se usporedo s procesima digitalizacije (Lozić, 2019), te digitalne transformacije proizvodnih sustava (Lozić i dr., 2024). Prijelaz u sljedeću fazu, odnosno Industriju 5.0, temelji se na promjeni proizvodne paradigme. Promjena je usmjerena na radnu snagu koja se spaja s tehnološkim inovacijama, a s ciljem rješavanja nedostataka Industrije 4.0. (Sarkar i dr., 2024). U tom kontekstu, Industrija 5.0 više je od pukog proširenja prethodnih industrijskih revolucija, te predstavlja novo doba u kojem tehnologija i ljudska kreativnost surađuju kako bi postigle personalizirana, učinkovita i održiva proizvodna rješenja (Grabowska i dr., 2022).

3. METODOLOGIJA I DIZAJN ISTRAŽIVANJA

U radu se istražuje i analizira pojava i razvoj industrijskih revolucija od njihovoga prvog pojavljivanja u 18. stoljeću do danas. Analiza obuhvaća istraživanja procesa koji su doveli do razvoja i upotrebe novih tehnoloških rješenja u proizvodnji koje se naziva industrijskim

revolucijama, kao i analizu vremena u kojem se koriste nova tehnološka rješenja. Stoga je nužno potrebno odvojiti pojam industrijske revolucije od termina Industrija jer su to dva različita procesa. U radu se koriste znanstveni i stručni izvori koji se već analizirali pojavu i razvoj industrijskih promjena. Istraživanje je podijeljeno na dva dijela. U prvom dijelu se analizira i objašnjava pojava i razvoj industrijskih revolucija od kraja feudalizma do suvremenoga industrijskog razvoja. U drugom dijelu se analiziraju temeljne značajke Industrije 4.0 te prijelaz u model 5.0. Istraživanje i analiza obuhvaćaju definiranje temeljnih čimbenika koji definiraju Industriju 5.0, odnosno razlikovnih čimbenika u odnosu na Industriju 4.0. Rezultati istraživanja prikazani su u poglavljima 4 i 5.

4. POJAVA I RAZVOJ INDUSTRIJSKE PROIZVODNJE

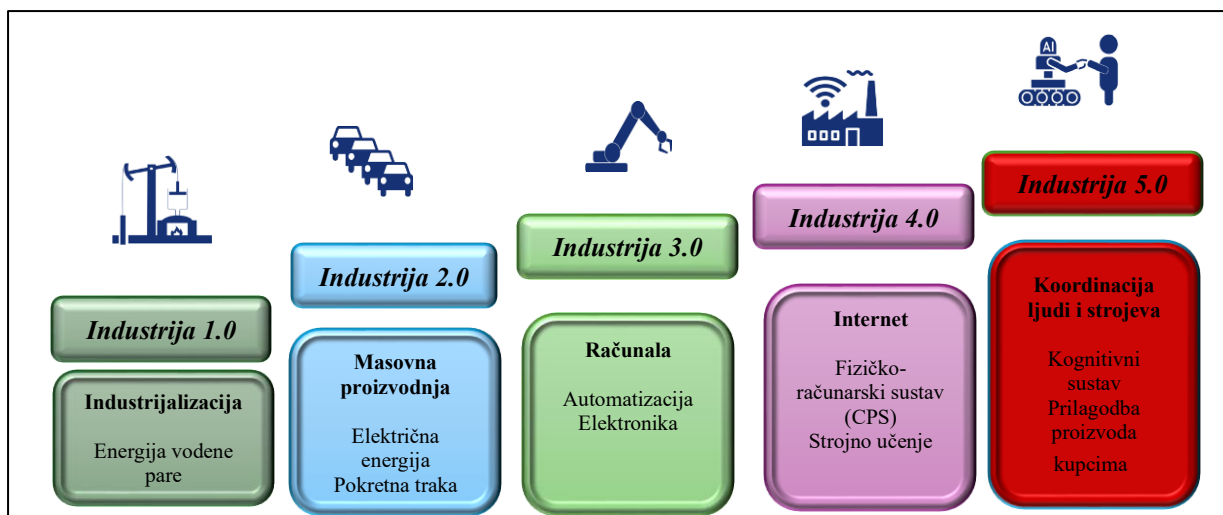
Prva industrijska revolucija započela je u Engleskoj krajem 18. stoljeća kada je Thomas Newcomen izmislio parni stroj (Serbienko, Ludviga, 2025). Primjena vodene pare u mehaničkom postrojenju bila je inovacija dostojna industrijske revolucije (Xu i dr., 2018). Naknadno je James Watt poboljšao performanse parnog stroja (Narkhede i dr., 2023), što je omogućilo tehnološku revoluciju u različitim područjima, uključujući proizvodnju čelika, tekstila i rudarstvo (Mohajan, 2019). Edmund Catwright razvio je i patentirao prvi tkalački stroj 1784. godine što je zauvijek promijenilo društvene i proizvodne odnose u Europi (Narkhede i dr., 2023). Nove su tehnologije olakšale i ubrzale proizvodne procese te omogućile poslodavcima učinkovitiju proizvodnju, ali su omogućile i korištenje jeftine radne snage, uključujući žene i djecu, što je zauzvrat povećalo premije iskusnim i školovanim zaposlenicima (Serbienko, Ludviga, 2025).

Za razliku od Prve industrijske revolucije koja je započela u Engleskoj, Druga industrijska revolucija započela je u Sjedinjenim Američkim Državama. Drugu industrijsku revoluciju obilježio je izum električne energije i motora s unutarnjim izgaranjem (Mohajan, 2019). Proizvodnja električne energije omogućila je masovnu proizvodnju te otvaranje velikoga broja radnih mjesta (Vinitha i dr. 2020). Godine 1913. Henry Ford uvodi pokretnu traku u proizvodnju što je omogućilo masovnu proizvodnju osobnih automobila (Narkhede i dr., 2023). Nagli porast broj tvornica i pad potražnje za obrtničkim zanimanjima, izazvali su veliki val imigracije nekvalificiranih radnika u Sjedinjene Američke Države kako bi se zadovoljio nagli porast potražnje za radnom snagom (Serbienko, Ludviga, 2025). Izumi i tehničke inovacije Druge industrijske revolucije omogućili su Sjedinjenim Američkim

Državama da se transformiraju iz pretežito poljoprivredne zemlje u vodeću industrijsku silu svijeta (Gangopadhyay, 2009).

Pojavu i razvoj Treće industrijske revolucije znanstvenici i praktičari različito tumače. Općenito se smatra kako je Treća industrijska revolucija započela nakon 1950. godine, a obilježena je prvim modelima digitalizacije (Mohajan, 2019). Treća industrijska revolucija uvela je elektroničku i informacijsku tehnologiju, što je pomoglo u automatizaciji proizvodnje (Yin i dr., 2018.). Za razliku od Prve i Druge industrijske revolucije koje su se temeljile na degradaciji prethodnih tehnoloških rješenja, Treća industrijska revolucija je bila usmjerena na razvoj već postojećih vještina (Liu, Grusky, 2013). Radnici s niskim troškovima učenja prelazili su na novu i tehnološki suvremeniju proizvodnju, dok su radnici s visokim troškovima učenja ostali zaposleni na postojećim radnim mjestima (Caselli, 1999).

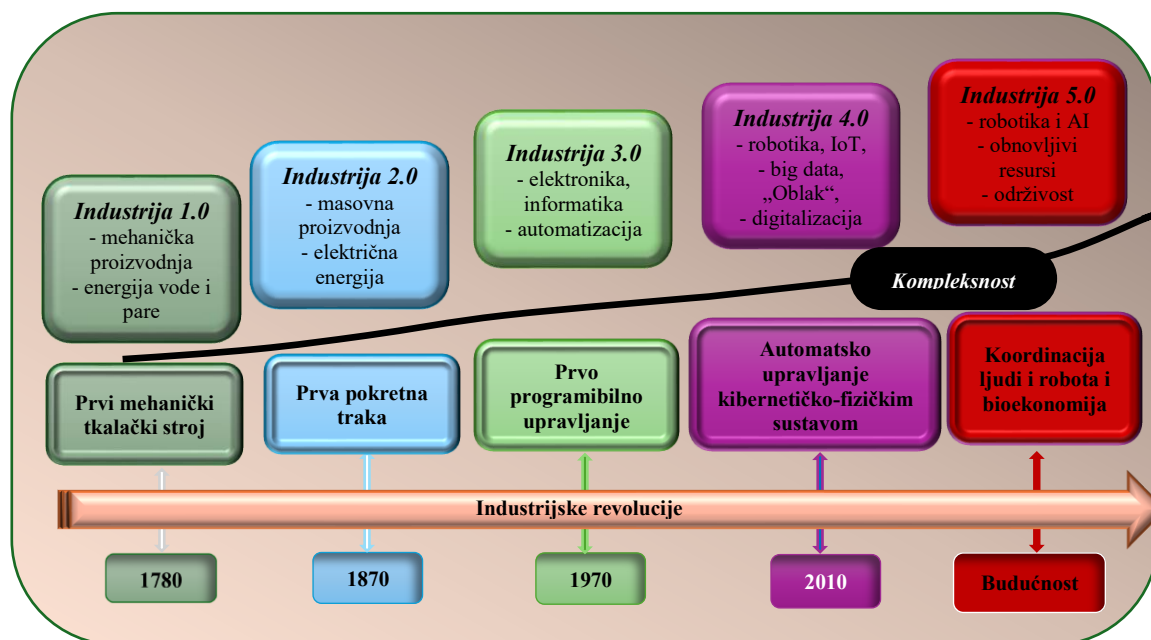
Klaus Schwab autor je koncepta Četvrte industrijske revolucije, a prvo predstavljanje je bilo u Hannoveru 2011. godine (Xu i dr., 2018). Ovaj koncept temelji se na prethodnim industrijskim revolucijama: a) Prva koju karakteriziraju tvornice na parni pogon, b) Druga koja je determinirana masovnom proizvodnjom, c) Trećoj koju je obilježila digitalizacija, d) prema Schwabu, Četvrta industrijska revolucija predstavlja novo doba u kojem tehnologije poput umjetne inteligencije, uređivanja genoma, 3D ispisa itd. preoblikuju institute, industrije i pojedince (Serbienko, Ludviga, 2025). Iako su mnogi autori naveli da Industrija 4.0 nije revolucija, već evolucija Industrije 3.0, većina se slaže da nove tehnologije mijenjaju cijele sektore gospodarstva i društva te se stoga ne mogu smatrati evolucijskim procesom (Mariani, Borghi, 2019). Industrija 4.0 pomaže u povezivanju računarstva u oblaku, interneta stvari (IoT) i fizičkoga računarskog sustava kako bi se izgradio snažan i učinkovit pristup proizvodnji (Pasi i sur., 2020.). Klingenberg i dr. (2022) analizirali su Četvrtu industrijsku revoluciju te je opisali preko tri temeljna čimbenika preko tehnologije, gospodarstva i društva. Kao rezultat toga, zaključili su da se ovaj fenomen može smatrati „revolucijom“. Njihov zaključak temeljio se na usporedbi Industrije 4.0 s prethodnim industrijskim revolucijama, pokazujući da su sve one imale značajan utjecaj na način života ljudi. Pametna tvornica jedan je od ključnih ishoda Industrije 4.0 (Ivanov i dr., 2016.)



Slika 1. Industrije revolucije

Izvor: Obrada autora

Peta industrijska revolucija javlja se nakon 2021. godine, a njen je koncept više usmjeren na razvoj već postojeće Industrije 4.0 (Coelho i dr., 2023). Peta je industrijska revolucija napredak Industrije 4.0 koja je bila fokusirana na automatizaciju i digitalizaciju. Industrija 5.0 prepoznaje sposobnost industrije u postizanju društvenih ciljeva uz rast, stavljajući ljude u središte proizvodnog procesa (Huang i dr., 2023). Industrija 5.0 stavlja veći naglasak na ljudske resurse, prilagodbu, ekološku svijest i integraciju novih tehnologija nego prethodne industrije. Uvođenje Industrije 5.0 temelji se na činjenici da se Industrija 4.0 više fokusira na povećanje učinkovitosti i fleksibilnosti proizvodnje, a manje na društvene i održive principe (Lu i dr. 2022). Stoga se Industrija 5.0 ne analizira u primarno u kontekstu tehnološkoga napretka već više kao promjena društvene i proizvodne paradigme (Barata, Kayser, 2023). Industrija 4.0 usmjerena je na ekonomske ciljeve, dok je Industrija 5.0 umjerena na ekološke i društvene ciljeve. Glavni je cilj industrije 5.0 uravnotežiti organizacijske, društvene i ergonomske segmente s čovjekom u središtu (Zizic i dr., 2022). Razvoj industrijske proizvodnje prema fazama razvoja prikazan je na slici 1.



Slika 2. Industrijske revolucije od 1.0 do 5.0

Izvor: Izrada autora; (prema Demir i dr. 2019.)

Deskriptivna analiza razvoja industrijske proizvodnje definirana je temeljnim promjenama koje su nastale kao rezultat tehnoloških unapređenja. Upravo tehnička unapređenja i inovacije proizvodnih i organizacijskih resursa izravno su djelovali na rast kompleksnosti proizvodnje. Prva je industrijska revolucija dokinula većinu postojeće obrtničke proizvodnje, a posebice u proizvodnje tekstila. Postojeći tkalački strojevi, zamijenjeni su mehaničkim. Druga je industrijska revolucija unaprijedila učinkovitost proizvodnje, te se prvi put razvila masovna proizvodnja. Henry Ford je uveo pokretnu traku za proizvodnju čime je potpuno promijenjena paradigma industrije proizvodnje. Treća je industrijska revolucija uvela informatičku tehnologiju, što je podiglo automatizaciju i masovnu proizvodnju na potpuno novu razinu (Yin i dr., 2018). Programibilno upravljanje procesima razvijeno je nakon 1960. godine što je označilo novu prekretnicu u industrijskoj proizvodnji (Narkhede i dr., 2023). Pojam Industrija 4.0 usredotočuje se na kombiniranje informacijskih i operativnih tehnologija s praćenjem proizvodnoga procesa u stvarnom vremenu kako bi se donositeljima odluka pružio koristan uvid za poboljšanje učinkovitosti proizvodnih linija (Zheng i sur., 2020). Industrija 5.0 novi je model proizvodnje u kojem će ljudi i strojevi raditi zajedno te će se razviti sustav koordinacije i suradnje u stvarnom vremenu (Kovari, 2024). Analiza kompleksnosti razvoja industrija od Prve industrijske revolucije do danas razlikuje promjene nastale kao rezultat ulaganja u inovacije i razvoj novih tehnologija od onih koje su nastale kao rezultat unaprjeđenja organizacijskih modela.

Prva i druga industrijska revolucija izrasle su na novim tehnološkim inovacijama, odnosno razvile se potpuno novi proizvodni modeli. Treća je industrijska revolucija uvela računarsku i elektroničku infrastrukturu u postojeće proizvodne procese te je model promjene više bio temeljen na organizacijskoj nego na tehnološkoj promjeni. Četvrta je industrijska revolucija nastala na tehnološkim inovacija u području digitalne transformacije kao rezultata disruptivnih kretanja (Lozić, Fotova Čiković, 2024). Peta je industrijska revolucija podigla letvicu kompleksnosti na novu razinu jer se u arhitekturu Industrije 4.0 uvodi ljudska komponenta. Promjena je ponovo više organizacijska nego uvođenje inovacija i novih tehnologija. Promjene razina kompleksnosti u razvoju industrija prikazana je na slici 2.

5. DEFINIRANJE SLIČNOSTI I RAZLIKA INDUSTRIJE 4.0 I INDUSTRIJE 5.0

Pojam „industrija“ dolazi od industrijalizacije, koja je započela u Europi krajem 18. stoljeća. Početni razvoj industrije kasnije je nazvan Industrija 1.0. Znanstvenici i stručnjaci iz ovoga područja trenutačno se bave Industrijom 4.0, te Petom industrijskom revolucijom koja postavlja temelje za Industriju 5.0 (Verma i dr., 2022). Industrija 4.0 je nastala je uglavnom kao tehnološka i ekonomska vizija koja ocrtava kako tehnološki razvoj može utjecati na industrijske lance vrijednosti i kako proizvodne industrije mogu transformirati svoje ekonomske položaje (Ghobakhloo, 2020.). Istovremeno, Industrija 4.0 potkopava društvenu ulogu industrije kao pokretača gospodarskoga rasta i zapošljavanja (Dalenogare i dr., 2018.). Od svojih početaka Industrija 4.0 preusmjerila je naglasak sa svoj temeljnih načela društvene pravednosti i održivosti prema digitalizaciji i tehnologijama potaknutim umjetnom inteligencijom kako bi povećala fleksibilnost proizvodnje i produktivnost (Miraz i dr., 2022.). Industrija 4.0 fokusirana je na profit kroz proizvodnju proizvoda i učinkovitost procesa putem digitalizacije, ali je zanemarila društvene i ekološke probleme (Fraga-Lamas i dr., 2021). U tome je vrlo slična temeljnim karakteristikama Industrije 1.0 i 2.0. koje su bili strukturirane prema izgradnji profita bez analiziranja drugih društvenih i ekonomskih učinaka takve proizvodnje.

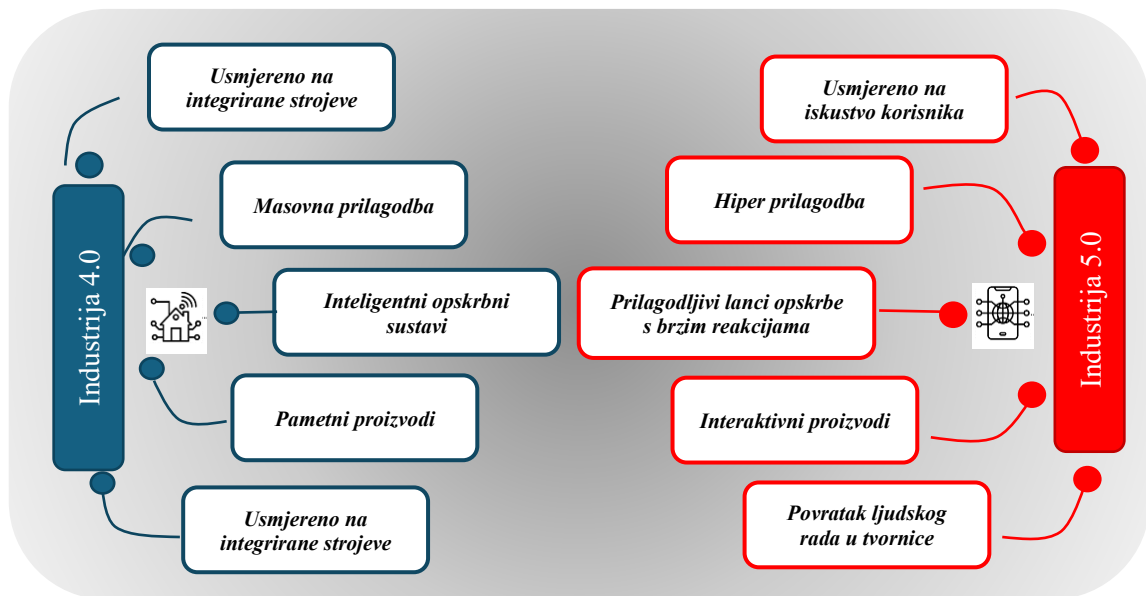
Industrija 4.0 još se naziva i vremenom automatizacije te korištenja tvorničkih robota i tehnologija temeljenih na obradi podataka. Imala je značajan utjecaj na razvoj gospodarskih aktivnosti, ali i na odnose u društvu općenito. Ipak, Industrija 4.0 donijela je sa sobom i različite vrste opasnosti:

- smanjena ljudska interakcija - automatizacija smanjuje potražnju za ljudskim sposobnostima u raznim ulogama, što dovodi do manje ljudske interakcije bitne za društveni napredak i koordinaciju (Memon, 2021).
- nezaposlenost zbog automatizacije - Postoji velika vjerojatnost gubitka posla zbog automatizacije i robota pokretanih umjetnom inteligencijom (Khan i dr., 2023), rezultati znanstvenih istraživanja dokazuju kako postoji 80 postotna vjerojatnost od gubitka posla za radnike s niskim primanjima, kao i za visokokvalificirane radnike (Chaurasia i dr., 2025).
- održivost okoliša: Industrija 4.0 negativno utječe na održivost okoliša povećanjem potrebe za električnom energijom za napajanje povezanih uređaja, što rezultira većim emisijama stakleničkih plinova i većim elektroničkim otpadom (Memon, 2021).
- kršenje podataka: Sve veći broj IoT uređaja povećava vjerojatnost neovlaštenoga pristupa povjerljivim informacijama, što rezultira osobnom i financijskom štetom (Alani, Alloghani, 2019).

U Industriji 4.0, IoT uređaji su stvoreni kako bi se poboljšala učinkovitost i produktivnost, što je dovelo do boljih operativnih performansi, proizvodnje velikih razmjera i smanjenja troškova (Musarat i dr. 2023). Međutim, suradnja između ljudi i robota suočila se s izazovima zbog ograničene razmjene znanja i slabe razmjene informacija (Rahnamayiezekavat i dr., 2022). Trenutačno se odvija prijelaz u Petu industrijsku revoluciju, a definiran je usvajanjem tehnologija poput umjetne inteligencije, virtualne i proširene stvarnosti te naprednije robotike (Imran i dr., 2019). Industrija 5.0 nastoji poboljšati moderne proizvodne pogone i povećati proizvodnju korištenjem automatizacije i integracijom ključnih tehnologija kao što su strojno učenje, umjetna inteligencija (AI), računalstvo u oblaku i suvremeno računalstvo te IoT (Internet stvari) (Chaurasia i dr., 2025). Industrija 4.0 u proizvodnji je uvela robote s kojima je namjeravala zamijeniti ljudski rad. Industrija 5.0 uvodi *kolaborativne robote* („Cobots“), te ljudi i roboti rade zajedno (Grabowska i dr., 2022). Kolaborativni roboti nisu napravljeni da bi zamijenili ljude, njihova temeljna svrha je poboljšanje postojeći vještina, olakšavanje inovativnih procesa i proširenje radnih aktivnosti s ciljem stvaranja novih radnih mjesta. Industrija 5.0 uključuje metodologije Six-R (Kovari, 2024):

- prepoznavanje (*Recognize*): Prepoznavanje potencijala industrijske prerade prvi je korak.
- preispitivanje (*Rethink*): Procjena i revizija poslovnih i proizvodnih procesa ključna je za maksimiziranje koristi industrijske prerade.

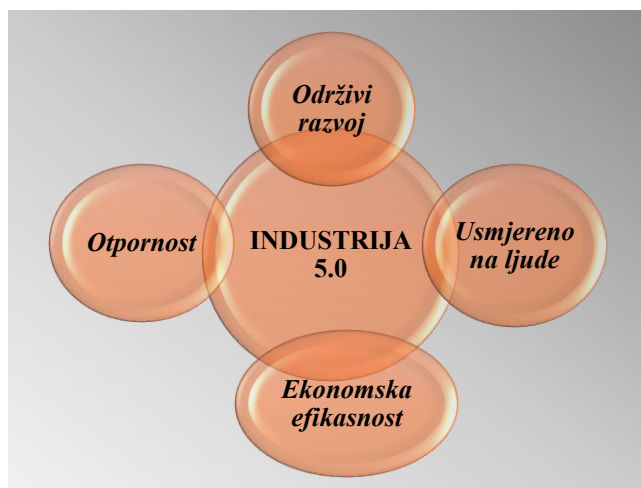
- smanjenje (*Reduce*): Minimiziranje korištenja resursa ključno je za postizanje učinkovitih rezultata.
- ostvarenje (*Realise*): Implementacija inovacija i poboljšanja u korporativnim procesima nakon identificiranja prilika i ponovne procjene postojećih postupaka.
- ponovna upotreba (*Reuse*): Ponovna upotreba resursa koji se smatraju upotrebljivima prije poboljšanja procesa.
- recikliranje (*Recycle*): Ključni cilj je reciklirati što je više moguće, težeći nultom otpadu.



Slika 3: Transformacija Industrije 4.0 u Industriju 5.0

Izvor: Izrada autora (prema: Faraji i dr., 2024)

Glavni je cilj industrije 5.0 razvoj inteligentnih sustava koji surađuju s ljudima kako bi povećali produktivnost industrijskih operacija. To uključuje razvoj autonomnih sustava sposobnih za donošenje odluka i poduzimanje radnji izvedenih iz analize podataka i tehnika strojnoga učenja. Poticanje pristupačnoga i uključivoga industrijskog okruženja ključna je komponenta Industrije 5.0 (Musarat i dr., 2019). Industrija 5.0 podrazumijeva korištenje naprednih tehnologija poput virtualne i proširene stvarnosti za obuku i podršku zaposlenika, a istovremeno razvija fleksibilne proizvodne procese koji se mogu prilagoditi radnicima s različitim razinama vještina (Paschek i dr., 2019). Cilj Industrije 5.0 je povećati učinkovitost i produktivnost proizvodnje spajanjem ljudske inteligencije i kognitivnoga računarstva (Potočan i dr., 2020). Ovaj pristup nastoji spojiti kognitivne računalne sposobnosti s ljudskom domišljatošću kroz kolaborativne operacije (Paschek i dr., 2019).



Slika 4. Temelji Industrije 5.0

Izvor: Obrada autora (prema: Faraji i dr., 2024)

Razvojem industrije 4.0 izgrađeni su uređaji i uspostavljeni procesi kojima se poboljšala produktivnost i učinkovitost, a to dovelo do boljih operativnih performansi. Poboljšane proizvodne performanse izravno su djelovale na razvoj proizvodnih kapaciteta velikoga razmjera i s tim povezanih smanjenja troškova. Međutim, suradnja između ljudi i robota suočila se s izazovima zbog ograničene razmjene znanja i informacija (Rahnamayiezekavat i dr., 2022). Industrija 4.0 bila je usmjerena na razvoj integriranih strojeva, masovnu prilagodbu proizvodnih aktivnosti i gotovih proizvoda, te na inteligentne opskrbe sustave kontrolirane računalnoga tehnikom za opskrbu strojeva za masovnu proizvodnju. Integrirani strojevi i računalna kontrola temelj su za proizvodnju pametnih proizvoda. Industrija 5.0 se odmaknula od takve proizvodne paradigme te se usmjerila na zadovoljavanje iskustva korisnika, personaliziranu prilagodbu proizvoda i procesa, te prilagodljive opskrbe lance temeljene na personaliziranoj prilagodbi. Pametnim proizvodima se dodala komponenta interaktivnosti zbog personalizirane prilagodbe, a ljudski rad je vraćen u tvornice kako bi se lakše upravljao s procesima u Industriji 5.0. (Faraji i dr., 2024). Prijelaz u Petu industrijsku revoluciju, odnosno Industriju 5.0 definiran je usvajanjem tehnologija poput umjetne inteligencije, virtualne i proširene stvarnosti te napredne robotike (Imran i dr., 2019). Prikaz transformacije Industrije 4.0 u Industriju 5.0 prikazan je na slici 3.

Industrija 4.0 nastala je kao rezultat tehnoloških inovacija koje su unaprijedile proizvodnje procese u središte pozornosti stavile pametnu proizvodnju i pametne proizvode. Industrija 5.0 nastoji otkloniti nedostatke takvog sustava, te ponovo vratiti ljudsku komponentu u ono što je

u Industriji 4.0 bilo poznato pod nazivom „pametne tvornica“. Na slici 4 prikazani su temelji Industrije 5.0 koja prioritet stavlja na inovacije usmjerene ne čovjeka, potičući suradnju između strojeva i ljudi te stavlajući društvene i ekološke vrijednosti na posebno mjesto. Sve to transformira postojeće proizvodne i društvene odnose prema modelu Industrije 5.0 (Faraji i dr., 2024). Svaki od temelja Industrije 5.0 jednako je važan te pridonosi napretku i ulasku u sljedeću proizvodnu fazu, a koje nadilaze automatizaciju i digitalno vođenu industriju 4.0. (Soltaninejad, Faraji, 2021).

5.1. Održivi razvoj

Industrija 4.0 stavila je naglasak na automatizaciji i učinkovitosti proizvodnje. Iako je ekonomska održivost nužna i jednako važna, Industrija 5.0 pomiče fokus te naglasak stavlja na čimbenike povezane s čovjekom i društvom u cjelini (Yitmen i dr., 2023). Temeljni cilj implementacije Industrije 5.0 usmjeren je na povećanje produktivnosti, brzine, kvalitete i smanjenja troškova ekološki prihvatljivim praksama (Leng i dr., 2022). Industrija 5.0 usmjerena je na razvoj modela održivoga rasta proizvodnje promicanjem ekološki prihvatljivih metoda, a kao rezultat spoznaja što se događalo u prethodnim industrijskim revolucijama. Održiva je proizvodnja ključni čimbenik u jačanju inicijative i trajnosti korištenja obnovljivih izvora energije. Model održivoga razvoja temelji se na četiri ključna čimbenika (Faraji i dr., 2024):

- društvena održivost.
- zaštita i održivost okoliša.
- ekonomska održivost.
- prilagodljivi i fleksibilni lanci opskrbe s brzim reakcijama na promjene.

Nova poslovna paradigma temelji se na ekološki prihvatljivim inovacijama koje jamče dugoročnu održivost proizvodnje (Kusi-Sarpong i dr., 2019). Novi model proizvodnih procesa insistira na ekološki održivoj proizvodnji i zaštiti okoliša. Organizacije moraju povećavati produktivnost, ali ne na štetu okoliša što ih čini ekološki osviještenim (Kovari, 2024). Vizija održive proizvodnje uključuje decentralizaciju kanala isporuke masovno prilagođenih roba i usluga (Bednar, Welch, 2020). Praćenje informacija o društvenoj održivosti u složenim lancima opskrbe može se reflektirati kao izazov, ali blockchain tehnologija tu može pružiti rješenja (Venkatesh i dr., 2020).

5.2. Usmjerenost na ljude

Suvremene industrije zahtijevaju zaposlenike s posebnih znanjima koji su sposobni razvijati radne vještine usporedo s rastom zahtijeva proizvodnih procesa. Suvremeni radni procesi često djeluju disruptivno na postojeće proizvodne procese te je pristup usmjeren na čovjeka ključan u postizanju agilnosti, fleksibilnosti i adaptivnosti (Faraji i dr., 2021). Usmjerenost na čovjeka pojedinca i njegove potrebe, a ne na tehnološki proces i značajke pametnih proizvoda, temeljno je načelo proizvodnje usmjerena na čovjeka (Xu i dr., 2021). U temeljima Industrije 5.0 ugrađena je suradnja čovjeka i stroja, odnosno dok se Industrija 4.0 temeljila na automatizaciji i potpuno autonomnim sustavima, Industrija 5.0 u središte pozornosti ljudsku kreativnost s automatizacijom i učinkovitošću strojeva (Kovari, 2024). U tom kontekstu, suradnja između ljudi i robota, može poboljšati zdravlje i sigurnost radnika, a istovremeno smanjiti i dokinuti monotoniju pojedinih radnih procesa (Colla i dr. 2021). Usmjerenost na ljude, a ciljem razvoja i unapređenja radnih odnos, posebno dolazi do izražaja kada se koriste sljedeći čimbenici (Faraji i dr., 2024):

- raznolikost
- podjela ovlasti
- prilagođene vještine
- sigurnost i dobrobit
- privlačenje i zadržavanje najboljih talenata
- aktiviranje i korištenje radnih iskustava.

Industrija 5.0 nastoji prevladati negativne pojave koje je razvila Industrija 4.0 naglašavajući i koristeći prevlast rada strojeva nad radom ljudi. U tom kontekstu, nastoji se povećati raznolikost poslovnih aktivnosti te osnažiti položaj zaposlenika unutar radnog procesa. Zaposlenici imaju mogućnost razvoja posebnih i prilagođenih vještina kako bi osigurali uvjete za razvoj karijere, što pridonosi osjećaju sigurnost unutar radne organizacije. Razvojem posebnih vještina i radnih uvjeta ostvaruju se uvjeti za privlačenje i zadržavanje najboljih talenata u područjima na koja organizacija širi radne aktivnosti. Stvarajući stabilne radne uvjete organizacije omogućuju aktiviranje i korištenje radnih iskustava koja se šire kroz cijelu organizaciju.

Unatoč automatizaciji i digitalizaciji radnih procesa, oni su i dalje skloni greškama i

zastojima, pa navedeni čimbenici usmjerenosti na ljude postaju ključna pretpostavka sustava koji se uspješno nosi s pogreškama (Lu i dr., 2021). Novi oblici proizvodnje sadržaja podrazumijevaju rad *prosumera* koji objavljuju sadržaje kakve roboti ne mogu proizvoditi bez ljudske komponente upravljanja procesom što dodatno osnažuje potrebu oslanjanja na ljudski rad. (Kong i dr., 2021). Kod klasičnih industrijskih radnih procesa ključan je razvoj dizajna i ergonomije usmjerene na čovjeka s razvoj i korištenjem suvremene tehnologije potrebne u proizvodnom procesu (Faraji i dr. 2024).

5.3. Ekonomska efikasnost

Industrija 4.0 razvila je modele automatizacije i digitalizacije sustava, ali su ti sustavi bili potpuno prepušteni strojnom upravljanju. Suradnja između strojeva podržana različitim oblicima softverske podrške te model IoT besprijekorno je funkcionirao u sustavu savršenih opskrbnih lanaca. Već s pojavom globalne pandemije Covid-19, te drugim poremećajima opskrbe koje su se pojavili kao izazovi suvremenoga svijeta, takav model upravljanja našao se pod različitim pritiscima. Industrija 5.0 uvodi novu vrstu analitike i automatizacije, te koristi usluge umjetne inteligencije, a sve s ciljem povećanja efikasnosti proizvodnje (Faraji i dr., 2021). U kontekstu učinkovitosti i efikasnosti, novi model proizvodnje usmjeren je k prilagođenoj proizvodnji, odnosno Industrija 5.0 omogućit će prilagodbu poslovnih procesa individualnim potrebama. To znači da će tvrtke moći proizvoditi jedinstvene proizvode u velikim količinama bez gubitka učinkovitosti (Kovari, 2024).

Utjecaj ljudske komponente u analitici i upravljanju opskrbnim lancima postaje nezaobilazan čimbenik u Industriji 5.0. Ujedno takav model upravljanja učinkovitije raspoređuje resurse, izravno djeluje na smanjenje operativnih troškova, te podiže kvalitetu konačne izvedbe. Korištenje umjetne inteligencije izravno utječe na sve procese, od kontrole zaliha materijala do skladišta gotovih proizvoda. Kontrola zaliha s obje strane proizvodnoga lanca omogućuje zadovoljavanje potreba klijenata, a što je još važnije, lanci opskrbe postaju fleksibilni i prilagođavaju se promjeni uvjeta na tržištima. Na međunarodnom tržištu koje se brzo mijenja, usredotočenost na preciznost, fleksibilnost i donošenje odluka na temelju podataka povećava produktivnost i potiče konkurentnost (Musarat i dr., 2023).

5.4. Otpornost

Industrija 5.0 stavlja naglasak na otpornost, kako bi prevladala slabosti Industrije 4.0 koje smo spomenuli kod ekonomske učinkovitosti. Pozornost je usmjerena na rizike izvan organizacije, te se kontinuirano analizira volatilitet tržišta, poremećaji u lancima opskrbe, nepredviđena i promjenjiva ponašanja potrošača, te otpornost širega industrijskog sustava. U analizu je uključeno praćenje, identificiranje i upravljanje prethodno nepoznatim rizicima u proizvodnim procesima zemlje i šireg okruženja. Za razvoj otpornosti organizacije najznačajniji su sljedeći čimbenici (Faraji i dr., 2024):

- agilnost
- fleksibilnost
- prilagodljivost
- „pametni“ radni procesi
- hiperpersonalizacija proizvoda

Ljudska komponenta upravljanja strojevima i softverima Industrije 4.0 omogućuje nove oblike agilnosti organizacija. Mogućnost predviđanja događaja daje novu dimenziju automatizaciji i digitalizaciji proizvodnje. Otpornost industrije raste povećanjem fleksibilnosti i kontrolom upravljanja rizicima. Prilagodljivost pametnih opskrbnih lanaca značajno smanjuje rizike osiguranja resursa i distribucije gotovih proizvoda i usluga. Istovremeno omogućuje hiper- personalizaciju proizvoda i nove kanale distribucije. Korištenjem naprednih tehnologija poput umjetne inteligencije, interneta stvari i digitalnih blizanaca, organizacije mogu pratiti i reagirati na poremećaje u stvarnom vremenu, osiguravajući da poslovanje ostane kontinuirano. Industrija 5.0 potiče prilagodljiviji pristup očekivanim i neočekivanim izazovima, pomažući tvrtkama i društvima da se bolje odupru raznim krizama i oporave od njih (Musarat i dr., 2023).

6. ZANIMANJA BUDUĆNOSTI I POTREBA ZA NOVIM OBRAZOVANJEM

Razvoj novih strojeva i sustava, a time i dodani razvoj automatizacije i autonomnosti pojedinačnih i povezanih proizvodnih sustava neminovno će dovesti do potrebe suvremenije i bolje obučeni stručnjaka za upravljanje proizvodnjom. Kombinacija pametnih strojeva i bolje obučeni stručnjaka rezultira učinkovitom, održivom i sigurnom proizvodnjom. Kovari (2024) naglašava kako će se pojaviti sasvim nova radna mjesta i s tim povezani poslovi, a jedan od takvih poslova bit će i voditelji robotike na različitim razinama unutar organizacije. U tom kontekstu, pojavit će se potreba za usavršavanjem obrazovanja kao i razvojem

dodatnih tečajeva za već postojeće zaposlenike. Inovacija u Industriji 5.0 izgrađuju poveznice ljudskoga rada i sudjelovanje u proizvodnom procesu s tehnologijom koja upravlja tijekom proizvodnje.

7. ZAKLJUČAK

Industrija 5.0 nastoji razviti i usavršiti već postojeće radne prakse i tehnološka dostignuća Industrije 4.0. U tom kontekstu, Industrija 5.0 više je evolucija već postojećih proizvodnih i društvenih modela razvoja, nego što je radikalno nova promjena koja se može povezivati s terminom revolucija. Temeljna je strategija Industrije 5.0 poboljšanje industrijskih performansi već postojećih tehnoloških rješenja uz što veće uključivanje ljudi i živoga rada u proizvodne sustave. Industrija 4.0 razvila je suvremenu računarsku tehnologiju, organizaciju i korištenje podataka u oblaku, ranu robotiku, 5G tehnologiju, IoT, strojno učenje i slična tehnološka rješenja, a Industrija 5.0 usavršava već postojeću tehnologiju te tome dodaje umjetnu inteligenciju, razvijenu robotiku i 6G tehnologiju. Najvažniji segment promjene i razvoja postojećega modela, upravo je uvođenje velike količine rada kvalificirane radne snage, odnosno rada stručnjaka koji nadziru procese. Kolaborativni roboti i ljudi temelj su novoga modela upravljanja procesima koji je usmjeren na rast produktivnosti i učinkovitosti radnih operacija.

Industrija 5.0 predstavlja korak naprijed u organizacijskom i tehnološkom kontekstu već postojećega modela, te značajno utječe na promjene društvene paradigme. Uključivanje rada ljudi u suvremene proizvodne procese zahtjeva razvoj novih zanimanja te nove obrazovne procese koji mijenjaju postojeće društvene odnose. Promjene postojećih proizvodnih i društvenih modela, jednim je dijelom izazvana i promjenama u okolini, odnosno poremećajima u proizvodnim i opskrbnim lancima. Strojno upravljani nabavni i opskrbni procesi nisu prilagođeni za takvu vrstu promjena. Stoga je uvođenje ljudske komponente bilo neophodno za prevladavanje nepredviđenih situacija. Industrija 5.0 nastoji razvijati industrije koje su učinkovite u zaštiti okoliša i održivosti razvoja. Još već naglasak se stavlja na kružno gospodarstvo i zelenu energiju. Sukladno tome, razvijaju se tri temeljna stupa Industrije 5.0: održivost, otpornost i umjerenost na ljude.

8. LITERATURA

1. Alani, M.M. & Alloghani, M. (2019). Security Challenges in the Industry 4.0 Era', in Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future, M. Dastbaz and P. Cochrane, Eds., Cham: Springer International Publishing, , pp. 117–136. doi: 10.1007/978-3-030-12953-8_8.
2. Barata, J. & Kayser, I. (2023). Industry 5.0–Past, Present, and Near Future. *Procedia Comput. Sci.*, 219, 778–788., <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>.
3. Baskaran, S., Lay, H.S., Ming, B.S. & Mahadi, N. (2020). Technology adoption and employee's job performance: An empirical investigation. *Int. J. Acad. Res. Econ. Manag. Sci.*, 9, 78–105. DOI:10.6007/IJAREMS/v9-i1/7443.
4. Bednar, P.M. & Welch, C. (2020). Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. *Inf.Syst.Front.*, 22, 281–298. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09921-1>.
5. Caselli, F. (1999). Technological revolutions. *Am. Econ. Rev.*, 89, 78–102.
6. Chaurasia, A., Yadav, A., Mishra, D. & Kumar, S. (2025). Transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Advances in Science, Engineering and Technology*, pp. 270-276. DOI:10.1201/9781003641544-50.
7. Çinar, Z. M., Nuhu, A. A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 1–42., <https://doi.org/10.3390/su12198211>
8. Coelho, P.; Bessa, C.; Landeck, J. & Silva, C. (2023). Industry 5.0: The arising of a concept. *Procedia Comput. Sci.*, 217, 1137–1144., <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.312>.
9. Colla, V., Matino, R., Schröder, A.J., Schivalocchi, M. & Romaniello, L. (2021). Human-centered robotic development in the steel shop: Improving health, safety and digital skills at the workplace. *Metals (Basel)*, 11(4), p. 647, <https://doi.org/10.3390/met11040647>.
10. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394., <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>.
11. Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and human-robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>.

12. Faraji, A., Ghasemi, E., Arya, E.H. & Mahabadi, H.A. (2024). Prediction of Effects of Industry 5.0 Concepts on Construction 5.0. Conference: 3rd International conference on Recent Advances in Engineering, Innovation and Technology.
13. Faraji, A., Rashidi, M., Khadir, P. & Perera, S. (2021). A Risk Analysis-Best Worst Method Based Model for Selection of the Most Appropriate Contract Strategy for Onshore Drilling Projects in the Iranian Petroleum Industry. *Buildings*, 11(3), 97, <https://doi.org/10.3390/buildings11030097>.
14. Fraga-Lamas, P., Varela-Barbeito, J. & T. Fernandez-Carames, M. (2021). Next Generation Auto-Identification and Traceability Technologies for Industry 5.0: A Methodology and Practical Use Case for the Shipbuilding Industry', *IEEE Access*, vol. 9, pp. 140700–140730, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119775.
15. Gangopadhyay, P.; Ebersole, D.; Spencer, R.; Greuther, M.; Casey, B. NEH (2009). Landmarks of American History. Workshop for School Teachers on 'America's Industrial Revolution' at The Henry Ford.
16. Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.
17. Grabowska, S., Saniuk, S. & Gajdzik, B. (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics*. 2022;127(6):3117–44. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>.
18. Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D. & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution, *Journal of manufacturing systems*, Vol. 64, 2022, pp. 424-428., <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>.
19. Imran, M., Salisu, I., Aslam, H.D., Iqbal, I. & Hameed, I. (2019). Resource and information access for SME sustainability in the era of IR 4.0: The mediating and moderating roles of innovation capability and management commitment. *Processes*, vol. 7, no. 4, p. 211, <https://doi.org/10.3390/pr7040211>.
20. Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., & Ivanova, M. (2016). A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 54(2), 386–402. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.999958>.
21. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs-

- a review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107853. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853>.
22. Khan, M., Haleem, A. & Javaid, M. (2023). Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technol. Sustain.*, vol. 1, no. 2, p. 100020, May 2023, doi: 10.1016/j.grets.2023.100020.
 23. Klingenberg, C.O., Borges, M.A.V. & do Vale Antunes, J.A., Jr.(2022). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technol. Soc.*, 70, DOI: 10.1016/j.techsoc.2022.102009.
 24. Kong, X.T.R., Luo, H., Huang, G.O. & Yang, X. (2021). Industrial wearable system: the human-centric empowering technology in Industry 4.0. *J Intell Manuf*, vol. 30, pp. 2853–2869, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.350>.
 25. Kovari, A. (2024). Industry 5.0: Generalized Definition, Key Applications, Opportunities and Threats. *Acta Polytechnica Hungarica*. Vol. 21, No. 3, 267-283. DOI:[10.12700/APH.21.3.2024.3.17](https://doi.org/10.12700/APH.21.3.2024.3.17).
 26. Kusi-Sarpong, S., Gupta, H. & Sarkis. J. (2019).A supply chain sustainability innovation framework and evaluation methodology. *Int. J. Prod. Res.* vol. 57, no. 7, pp. 1990–2008, <https://shura.shu.ac.uk/32485/>.
 27. Leng, J., Wang, B., Zheng, P. Zhuang, C., Liu, Q., Wuest, T., Mourtzix, D. & Wang, L. (2022). Industry 5.0.: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 65, pp. 279-295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>.
 28. Liu, Y. & Grusky, D.B. (2013). The payoff to skill in the third industrial revolution. *Am. J. Sociol.*, 118, 1330–1374.
 29. Lozic, J. & Fotova Cikovic, K. (2024). The key concept of the disruptive development model. 111th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Navigating into the Future: The new Employee Experience". Budapest.
 30. Lozić, J. (2019). Core concept of business transformation: From business digitalization to business digital transformation. 48th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Managerial Issues in Modern Business". Warsaw, str. 159.-167.
 31. Lozić, J., Fotova Čiković, K. & Lozić, I. (2024). Basic stages of digital transformation. 112th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Creating a unified foundation for Sustainable Development: Interdisciplinarity in

Research and Education" – Varazdin, pp. 155-166. ISSN 1849-7535

32. Lu, Y., Adrados, J.S., Chand, S.S. & Wang, L. (2021). Humans are not machines—anthropocentric human–machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*, 7(6), pp. 734–737, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018>.
33. Lu, Y., Hao, Z., Chand, S. & Xia, W. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 62, 2022, pp. 612-627. DOI:[10.1016/j.jmsy.2022.02.001](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.001).
34. Maddikunta, P.K.R., Pham, Q.-V.; Prabadevi, B., Deepa, N.; Dev, K.; Gadekallu, T.R., Ruby, R.& Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *J. Ind. Inf. Integr.*,26, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>.
35. Mariani, M. & Borghi, M. (2019). Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technol. Forecast. Soc. Change*,149, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119752>
36. Memon, K.R. (2021). The dark side of industrial revolution 4.0- implications and suggestions. *Academy of Entrepreneurship Journal*, Volume 27, Special Issue 2. DOI: 1528-2686-27-S2-10.
37. Miraz, M. H., Hasan, M. T., Sumi, F. R., Sarkar, S., & Hossain, M. A. (2022). Industry 5.0. In *Machine Vision for Industry 4.0* (pp. 285–300). CRC Press., <https://doi.org/10.1201/9781003122401-14>.
38. Mohajan, H. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *J. Soc. Sci. Humanit.*, 5, 377–387.
39. Montagna, J. (2013). *Industrial Revolution*. Yale-New Haven Teachers Institute. <https://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1981/2/81.02.06.x.html>. [22.09.2025.]
40. Musarat, M.A., Irfan, M., Alaloul, W.A., Maqsoom, A. & Ghufraan, M. (2023). A review on the way forward in construction through industrial revolution 5.0. *Sustainability* 2023, 15(18), 13862; <https://doi.org/10.3390/su151813862>.
41. Narkhede, G., Pasi, B., Rajhans, N. & Atul Kulkarni, A. (2023). Industry 5.0 and the future of sustainable manufacturing: A systematic literature review. *Bus Strat Dev.*; 6: 704–723. DOI: 10.1002/bsd2.272.
42. Paschek, D., Mocan, A., & Draghici, A. (2019). Industry 5.0—The Expected Impact of Next Industrial Revolution. In *Thriving on Future Education, Industry, Business, and Society*, Proceedings of the MakeLearn and TIIM International Conference (pp.

- 125-132). ToKnowPress.
43. Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2020). The current sustainability scenario of industry 4.0 enabling technologies in Indian manufacturing industries. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1017–1048. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2020-0196>.
 44. Potočan, V., Mulej, M. and Nedelko, Z. (2020). Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems. *Kybernetes*, vol. 50, no. 3, pp. 794–811, 2020. <https://doi.org/10.1108/K-12-2019-0858>.
 45. Rahnamayiezekavat, P., Sorooshnia, E., Rashidi, M., Faraji, A., Mostafa, S. & Moon, S. (2022). Forensic analysis of the disputes typology of the NSW construction industry using PLS-SEM and prospective trend analysis,” *Buildings*, vol. 12, no. 10, p. 1571, <https://doi.org/10.3390/buildings12101571>.
 46. Rifkin, J. (2015). *The zero marginal cost society: The Internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism*, Palgrave Macmillan, St. Martin's Press LLC. ISBN 978-1-137-28011-4.
 47. Sarkar, B.D., Shardeo, V., Dwivedi, A. & Pamucar, D. (2024). Digital transition from industry 4.0 to industry 5.0 in smart manufacturing: A framework for sustainable future, vol. 78. Elsevier, p. 102649., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X24001970>.
 48. Serbinenko, I. & Ludviga, I. (2025). Operationalising Organisational Performance in the Scope of Industry 4.0 and Industry 5.0 in Manufacturing Companies. *Sustainability*, 17, 6314., <https://doi.org/10.3390/su1714631>.
 49. Shabur, A., Abid Shahriar, A. & Ara, A. (2025). From automation to collaboration: exploring the impact of industry 5.0 on sustainable manufacturing. *Discover Sustainability* 6:341, <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01201-0>.
 50. Shabur, M.A. (2024). A comprehensive review on the impact of Industry 4.0 on the development of a sustainable environment. *Discov Sustain.*; 5(1):97. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00290-7>.
 51. Sharma, A. & Singh, B.J. (2020). Evolution of industrial revolutions: A review. *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, 9, 66–73. DOI: 10.35940/ijitee.I7144.0991120.
 52. Soltaninejad, M. & Faraji, A. (2021). Recognizing the effective factors in managing fire incidents to reduce the collateral damages and casualties, 39(13), pp. 805–827, 2021, doi: 10.1108/F-03-2020-0030.

53. Venkatesh, V.G., Kang, K., Wang, B., Zhong, R.Y. & Zhang, A. (2020). System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. *Robot Comput Integr Manuf*, vol. 63, p. 101896, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101896>.
54. Verma, A., Bhattacharya, P., Madhani, N. & Trivedi, C. (2022). Blockchain for Industry 5.0: Vision, Opportunities, Key Enablers, and Future Directions', *IEEE Access*, vol. 10, pp. 69160–69199, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3186892.
55. Vinitha, K., Ambrose Prabhu, R., Bhaskar, R., & Hariharan, R. (2020). Review on industrial mathematics and materials at industry 1.0 to industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3956–3960. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.331>.
56. Xu, M.; David, J.M. & Kim, S.H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *Int. J. Financ. Res.*, 9, 90–95.
57. Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). “Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception,” *J Manuf Syst*, vol. 61, pp. 530–535, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
58. Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from industry 2.0 through industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.140366>.
59. Yitmen, I., Almusaed, A. & Alizadehsalehi, S. (2023). Investigating the Causal Relationships among Enablers of the Construction 5.0 Paradigm: Integration of Operator 5.0 and Society 5.0 with Human-Centricity, Sustainability, and Resilience. *Sustainability*, 15(11), p. 9105, <https://doi.org/10.3390/su15119105>.
60. Yong, L. (2021). Why Industrial Development Matters Now More Than Ever Before. *IndustrialAnalyticsPlatform.com.*, <https://iap.unido.org/articles/why-industrial-development-matters-now-more-ever>. [26.09.2025.]
61. Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2020). The applications of industry 4.0 technologies in manufacturing context: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>.
62. Zizic, M.C.; Mladineo, M.; Gjeldum, N. & Celent, L. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology. *Energies*, 15 (14), 5221.; <https://doi.org/10.3390/en15145221>.