

Joško Lozić*
Katerina Fotova Čiković**

INDUSTRIJA 5.0: PUT U HUMANIZACIJU INDUSTRIJE 4.0

Sažetak

Pojava i razvoj digitalnih rješenja u proizvodnim procesima bili su temelj za razvoj industrije 3.0 sredinom prošlog stoljeća. Potpuna digitalna transformacija proizvodnih sustava odvijala se usporedo s pojavom i razvojem industrije 4.0. Digitalna transformacija proizvodnih sustava izravno je djelovala na promjene društvenih i ekonomskih sustava u zajednicama u kojima se proces odvijao. Četvrta industrijska revolucija, koja je prethodila razvoju industrije 4.0, utemeljena je na razvoju tehnoloških rješenja koja su omogućila digitalnu transformaciju proizvodnje te je uspostavila potpuno nove društvene i ekonomske odnose. Industrija 4.0 sa sobom je donijela automatizaciju, robotizaciju i suradnju aplikacija i strojeva, što je u velikoj mjeri olakšalo rad te smanjilo troškove proizvodnje. Industrija proizvodnje u velikom se broju razvila na modelu ekonomije platformi čime je uveden potpuno nov model obračuna troškova jer je nulti marginalni trošak ekonomije platformi manji od najmanjeg troška ekonomije razmjera u industrijskoj proizvodnji. Cilj je ovog rada istražiti i analizirati prijelaz industrije 4.0 u industriju 5.0 te analizirati temeljne čimbenike sličnosti i razlika ovih dvaju modela proizvodnje. Industrija 5.0 odgovor je na prijetnje iz okoline koje industrija 4.0 nije mogla uspješno prevladati, a koordinacijom ljudi i strojeva, kao i uvođenjem ljudskog rada u dio proizvodnih procesa, nadoknađuje se ljudska komponenta koja je bila zapostavljena u industriji 4.0.

Ključne riječi: digitalna transformacija, humanizacija rada, industrijska revolucija, industrija 4.0, industrija 5.0

1. Uvod

Etimološko porijeklo riječi *industrija* dolazi iz latinskog jezika, a može se prevesti na hrvatski jezik kao „vrijedno”, „marljivo” ili „aktivno”. Riječ se sastoji od latinske osnove „in” (u) i nastavka „struere” (graditi, stvoriti, urediti), odnosno označava sposobnost stvaranja ili obavljanja nekog posla (*Hrvatski jezični portal*, n. d.). Riječ se

* izv. prof. dr. sc. Joško Lozić, Sveučilište Sjever, Koprivnica, Hrvatska, jlozic@unin.hr

** doc. dr. sc. Katerina Fotova Čiković, Sveučilište Sjever, Koprivnica, Hrvatska, kcikovic@unin.hr

kasnije pojavila u francuskom jeziku na prijelazu iz 14. u 15. stoljeće, a referirala se na domišljatost, umijeće, vještinu, izum, sredstvo za obavljanje nečega, zanimanje, zanat i slično (*Oxford Dictionary*, n. d.). U *Cambridge Dictionaryu* (n. d.) pojam industrija definira se kao organizacija, tvrtka i aktivnost uključena u proces proizvodnje roba i usluga za prodaju, u tvorničkom obliku proizvodnje ili na nekoj posebno odabranoj lokaciji. Suvremene definicije pojma industrija najbliže su definiciji *Cambridge Dictionarya* (n. d.), odnosno industrija podrazumijeva organizirani oblik proizvodnje roba i usluga za prodaju na tržištu.

Pojam „industrijska revolucija” prvi se put spominje u 19. stoljeću, a najčešće se povezuje s engleskim povjesničarom i filozofom Arnoldom Toynbeeom (Serbinenko i Ludviga, 2025). Toynbee se prvi koristio riječju „revolucija” uz pojam industrija da bi naglasio važnost i snagu promjena koje su se odvijale usporedo s razvojem industrija. Tako nagle i korjenite promjene, koje su izazvale posebno Prva i Druga industrijska revolucija, potpuno su promijenile društvene odnose u Engleskoj. To se posebno reflektiralo u područjima poljoprivrede, prometa, proizvodnje i različitih ekonomskih politika (Montagna, 2013). Znanstvenici i povjesničari nisu jedinstveni u preciznom definiranju razdoblja u kojima su se događale „industrijske revolucije”, ali su svi suglasni u tome da Prva industrijska revolucija započinje otkrićem pare kao pogonskog goriva, a Peta industrijska revolucija nastavak je i razvoj strukture i odnosa u Četvrtoj industrijskoj revoluciji.

Pojava i razvoj nove tehnologije koja je okidač nove „revolucije” uvod je u razdoblje koje se naziva prema „revoluciji” koja je utjecala na promjene. Dok je pojam industrijske revolucije povezan s određenim tehnološkim unapređenjem 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 ih povezuju s brojevima od jedan do pet. Sharma i Singu (2020) dijele pojavu i razvoj industrijskih revolucija na sljedeći način: a) Prva industrijska revolucija – industrija 1.0 od 1780.; b) Druga industrijska revolucija – industrija 2.0 od 1870.; c) Treća industrijska revolucija – industrija 3.0 od 1950.; d) Četvrta industrijska revolucija – industrija 4.0 od 2011. do danas. U podjeli nedostaje Peta industrijska revolucija koja je upravo u tijeku, a utemeljena je na unapređenjima nedostataka Četvrte industrijske revolucije.

2. Pregled literature

Kraj osamnaestog stoljeća i izum parnog stroja označio je početak razvoja proizvodne industrije, ali i razvoja kapitalističkog načina proizvodnje koji će svoj vrhunac dosegnuti krajem dvadesetog stoljeća. Prva industrijska revolucija bila je smrtna zovna feudalizma, ali kapitalistički način proizvodnje još nije bio sasvim usvojen. U tom

se prijelaznom razdoblju pojavio oblik proizvodnje nazvan (engl.) *putting off* koji je bio uvod u klasični kapitalizam (Rifkin, 2015). Između 1775. i 1848. godine uspostavlja se novi tehnički, ekonomski i društveno-politički sustav, prvi liberalni i industrijski kapitalizam. Sustav tvorničke proizvodnje prvo se počeo razvijati u „mančesterskoj” Engleskoj, ali u samo nekoliko industrijskih grana, odnosno u preradi pamuka i proizvodnji tekstilnih proizvoda, kao i preradi željezne rude i proizvodnji čelika (te nekih proizvoda od čelika) (Dockes, 2007). Industrijska revolucija, koja je izravno utjecala na pojavu masovne proizvodnje, masovne distribucije i suvremenih korporacija, pojavila se prije nešto više od 200 godina (Sundararajan, 2016). Industrijska revolucija dokinula je model proizvodnje usmjeren na robnu razmjenu i otvorila put u proizvodnju robnih viškova koji se razmjenjuju na tržištu. Međutim, dok kapitalizam djeluje putem slobodnog tržišta, slobodno tržište ne treba kapitalizam (Rifkin, 2015).

Potruga za naprednim tehnologijama oduvijek je bila pokretačka snaga globalnog razvoja. Industrijski je sektor u prvom planu takvog napretka, željan eksperimentiranja s novim idejama i stjecanja naprednih vrhunskih tehnologija. Takav napredak doveo je do prijelaza industrijskih revolucija iz industrije 1.0 u industriju 4.0. Cilj industrija 1.0 i kasnijih industrijskih revolucija bio je odvojiti rad ljudi i strojeva (Narkhede, Pasi, Rajhans i Atul Kulkarni, 2023). Uvođenje novih tehnologija, u svakoj od faza industrijskih revolucija, imalo je izravan utjecaj na rast produktivnosti zaposlenika, a samim tim i na ukupnu učinkovitost i efikasnost proizvodnog sustava (Baskaran, Lay, Ming i Mahadi, 2020). Strojevi ili roboti na kraju su preuzeli odgovornost za većinu poslova koji su teški, monotoni ili opasni za ljude. Vidjeli smo tri industrijske revolucije, a sada je četvrta u tijeku. Fokus industrije 4.0 pametna je proizvodnja usmjerena na budućnost (Çinar, Nuhu, Zeeshan, Korhan, Asmael i Safaei, 2020; Kamble, Gunasekaran, Ghadge i Raut, 2018).

Proizvodna industrija prolazi procesima transformacije koji su potaknuti brzim usvajanjem suvremenih tehnologija i promjenjivim društvenim potrebama (Shabur, Abid Shahriar i Ara, 2025). Od usvajanja vodene pare kao pogonskog goriva koje je potaknulo 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, Fotova Čiković i Lozić, 2024). Prijelaz u sljedeću fazu, odnosno industriju 5.0, utemeljen je 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, Shardeo, Dwivedi i Pamucar, 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 da bi postigle personalizirana, učinkovita i održiva proizvodna rješenja (Grabowska, Saniuk i Gajdzik, 2022).

3. Metodologija i dizajn istraživanja

Istraživanje i analiza podijeljeni su u dva dijela. U prvom dijelu analizira se pojava i razvoj industrijskih revolucija od Prve industrijske revolucije do Pete industrijske revolucije. Istraživanje je utemeljeno na analizi čimbenika koji definiraju ključne karakteristike pojedinog modela industrijske proizvodnje. Analiza i objašnjenje razvoja od industrije 1.0 do industrije 5.0 obuhvaća definiranje ključnih tehnoloških unapređenja, odnosno ključnih organizacijskih promjena koje su bile pokretač razvoja novih proizvodnih odnosa. U drugom dijelu istraživanja analiziraju se sličnosti i razlike između industrije 4.0 i industrije 5.0 te se determiniraju čimbenici koji su utjecali na pojavu i razvoj industrije 5.0. U tom se kontekstu posebno naglašava značaj razvoja i vraćanja ljudske komponente u industrijsku proizvodnju koja je bila potpuno automatizirana u industriji 4.0. Istraživanje i analiza usmjereni su na dva istraživačka pitanja:

Kakav je povijesni kontekst industrijskih revolucija i njihov značaj za Petu industrijsku revoluciju?

Koje su temeljne sličnosti i razlike industrije 4.0 i industrije 5.0 te koji su bili temeljni čimbenici nastanka i razvoja industrije 5.0?

U radu autori kvalitativnim metodama analiziraju znanstvene i stručne radove koji se referiraju na temu razvoja industrijskih revolucija, a posebno znanstvenim i stručnim radovima utemeljenim na istraživanju i analizi industrije 5.0. Rezultati istraživanja prikazani su u poglavlju 4.

4. Istraživanje i analiza razvoja industrijskih revolucija u povijesti

Istraživanje i analiza razvoja industrijskih revolucija podijeljeno je u dva temeljna dijela. U prvom se dijelu analizira razvoj faza industrijske proizvodnje od industrije 1.0 do industrije 5.0. U drugom dijelu istraživanja analiziraju se sličnosti i razlike industrije 4.0 i industrije 5.0, kao i temeljni čimbenici koji su obilježili industriju 5.0.

4.1. Industrijske revolucije od 1.0 do 5.0

Prva je industrijska revolucija započela korištenjem vodene pare u mehaničkom postrojenju (Xu, David i Kim, 2018). Krajem 18. stoljeća Thomas Newcomen izumio je parni stroj (Serbienko i Ludviga, 2025), a nakon toga je James Watt unaprijedio performanse stroja za svakodnevnu upotrebu (Narkhede i sur., 2023). Unapređenje i daljnji razvoj tehničkih mogućnosti parnog stroja omogućili su i daljnji razvoj proizvodnje tekstila i čelika te upotrebu u rudarstvu, a što je dalo novi vjetar u leđa Prvoj industrijskoj revoluciji (Mohajan, 2019). Nove su tehnologije prvenstveno unaprijedile i ubrzale postojeće proizvodne procese te omogućile rast proizvodnosti na do tada

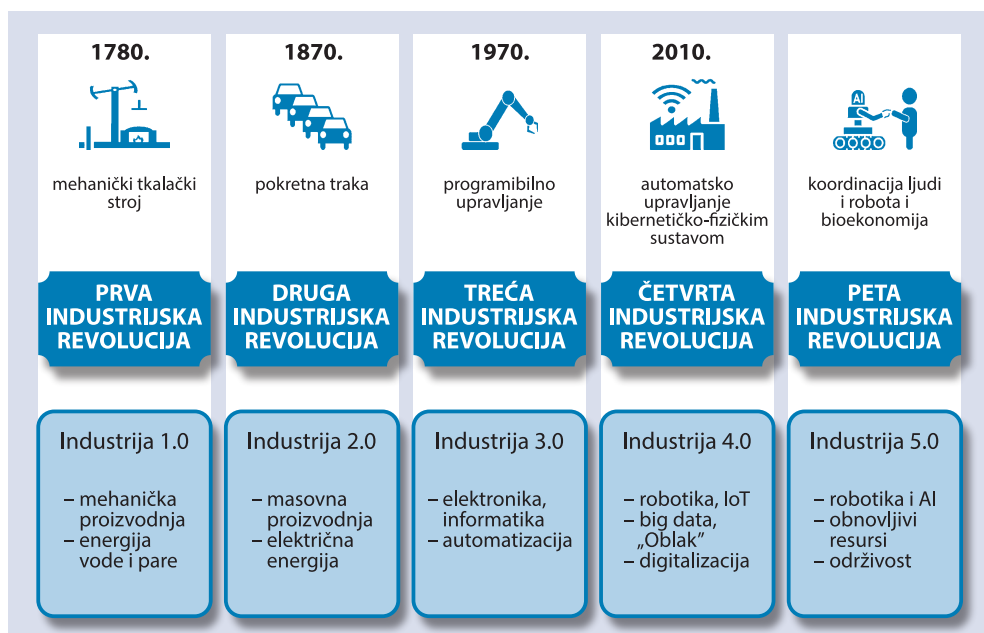
nezamislive razine (Serbienko i Ludviga, 2025). Godine 1784. Edmund Catwright izumio je mehanički tkalački stroj što je potpuno i bespovratno promijenilo društvene odnose u Engleskoj (Narkhede i dr., 2023). Te promjene nisu djelovale na sve jednako te su omogućile nova zapošljavanja nekvalificirane radne snage s niskim nadnicama, a kvalificiranim su radnicima omogućile rast nadnica (Serbienko i Ludviga, 2025). Prva industrijska revolucija bila je uvod u razvoj liberalnog kapitalizma koji se manje ili više zadržao do danas. Adam Smith tvrdio je da „trgovac” nije nužno građanin ni jedne zemlje. Svejedno mu je gdje će obavljati trgovinu i nije mu potrebno ni najmanje gađenje da bi odlučio prenijeti svoj kapital iz jedne zemlje u drugu, a s njim i svu djelatnost koju je kapital pokretao (Bruckner, 2008).

Izum izmjenične električne struje te pogonski motori s unutarnjim izgaranjem temelj su Druge industrijske revolucije (Mohajan, 2019). Upotreba električne struje u proizvodnji omogućila je masovnu proizvodnju i otvaranje velikog broja radnih mjesta (Vinitha, Ambrose Prabhu, Bhaskar i Hariharan, 2020). Prva je Industrijska revolucija započela u Engleskoj, dok je druga započela u SAD-u kada se počelo upotrebljavati naftu kao pogonsko gorivo umjesto vodene pare. Uvođenje pokretne trake u tvornice Henrya Forda omogućilo je masovnu proizvodnju automobila (Narkhede i sur., 2023). Automobil je postao ključ razvoja čitave Druge industrijske revolucije. U automobilskoj industriji trošilo se 20 % željeza, 2 % aluminija, 10 % bakra, 51 % olova, 95 % nikla, 35 % cinka i 60 % gume proizvedenih u SAD u 1933. (Rifkin, 2015). Nagli porast broja tvornica i pad potražnje za obrtničkim zanimanjima izazvali su veliki val imigracije nekvalificiranih radnika u SAD da bi se zadovoljio nagli porast potražnje za radnom snagom (Serbienko i Ludviga, 2025). Izumi i tehničke inovacije Druge industrijske revolucije omogućili su SAD-u da se transformira iz pretežitog poljoprivredne zemlje u vodeću industrijsku silu svijeta (Gangopadhyay, Ebersole, Spencer, Greuther i Casey 2009). Druga je industrijska revolucija omogućila pojavu prvih monopola što je Hilderfinga navelo na zaključak da je glavni pokretač inovacija velika tvrtka uz pomoć primijenjenih znanosti, a ne više poduzetnik koji „prtinja” po svojoj radionici, što je bilo u izravnoj suprotnosti s teorijom koju je postavio Schumpeter (Mason, 2016).

Prva i druga industrijska revolucija obilježene su razvojem potpuno novih tehnologija. Treća se industrijska revolucija više oslanjala na promjenu organizacijskih paradigmi nego na potpuno nove tehnologije. Opći je zaključak da Treća industrijska revolucija započinje nakon 1950. godine, a povezuje se s začetcima digitalizacije proizvodnih sustava (Mohajan, 2019). Treća industrijska revolucija uvela je elektroničku i informacijsku tehnologiju, što je pomoglo u automatizaciji proizvodnje (Yin, Stecke i Li, 2018). Za razliku od Prve i Druge industrijske revolucije koje su utemeljene na degradaciji prethodnih tehnoloških rješenja, Treća industrijska revolucija bila je usmjerena na razvoj postojećih vještina (Liu i 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 (Case-lli, 1999).

Klaus Schwab autor je koncepta Četvrte industrijske revolucije, a prvo predstavljanje bilo je u Hannoveru 2011. (Xu i sur., 2018). Schwab (2016) naglašava da Četvrta industrijska revolucija predstavlja novo doba u kojem tehnologije poput umjetne inteligencije, uređivanja genoma ili 3D ispisa preoblikuju industrije i pojedince. 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 i Borghi, 2019). Industrija 4.0 pomaže u povezivanju računarstva u oblaku, interneta stvari (IoT) i fizičkog računarskog sustava da bi se izgradio snažan i učinkovit pristup proizvodnji (Pasi, Mahajan i Rane, 2020). Klingenberg, Borges i Vale Antunes (2022) definirali su Četvrtu industrijsku revoluciju nakon provedene analize te ju definirali uz pomoć triju temeljnih čimbenika: tehnologije, gospodarstva i društva. Kao rezultat toga, zaključili su da se ovaj fenomen može smatrati „revolucijom”. Njihov zaključak utemeljen je na usporedbi industrije 4.0 s prethodnim industrijskim revolucijama, pokazujući da su sve one imale značajan utjecaj na način života ljudi. Enorman skok u produktivnosti Četvrte industrijske revolucije izravna je posljedica učinaka IoT-a koji je bio prva pametna infrastrukturna revolucija u povijesti (Rifkin, 2015). Pametna tvornica jedan je od ključnih ishoda industrije 4.0 (Ivanov, Dolgui, Sokolov, Werner i Ivanova, 2016).



Slika 1. Industrijske revolucije od 1.0 do 5.0 (izvor: izrada autora prema Demir, Döven i Sezen, 2019)

Peta industrijska revolucija javlja se nakon 2021. s konceptom usmjerenim na razvoj postojeće industrije 4.0 (Coelho, Bessa, Landeck i Silva, 2023). Peta industrijska revolucija predstavlja napredak u odnosu na industriju 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, Wang, Li, Zheng, Mourtzis i Wang, 2023). Industrija 5.0 stavlja veći naglasak na ljudske resurse, prilagodbu, ekološku svijest i integraciju novih tehnologija nego prethodne industrije. Uvođenje industrije 5.0 utemeljeno je na činjenici da se industrija 4.0 više fokusira na povećanje učinkovitosti i fleksibilnosti proizvodnje, a manje na društvene i održive principe (Lu, Adrados, Chand i Wang, 2022). Stoga se industrija 5.0 ne analizira primarno u kontekstu tehnološkog napretka, već više kao promjena društvene i proizvodne paradigme (Barata i 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 ergonomске aspekte s čovjekom u središtu (Zizic, Mladineo, Gjeldum i Celent, 2022). Razvoj industrijske proizvodnje prema fazama razvoja prikazan je na Slici 1.

U kontekstu pojave i razvoja industrijskih revolucija ne postoji jedinstven stav vezan za kriterije koji definiraju što je to industrijska revolucija. Rifkin (2015) naglašava da su Prva i Druga industrijska revolucija bile rezultat značajnih tehnoloških unapređenja, odnosno korištenja vodene pare, a onda električne struje i nafte, te su potpuno promijenile društveno-ekonomske odnose u zajednicama koje su bile obuhvaćene tim promjenama. Slično je bilo s Četvrtom industrijskom revolucijom, dok za Treću industrijsku revoluciju Rifkin ističe da je više bila promjena u organizacijskom modelu nego što je to bila promjena industrijske strukture. Svoju je teoriju utemeljio na analizi matrice komunikacija/energija/tehnologija. Uz Prvu industrijsku revoluciju povezan je telegraf kao sredstvo komunikacije, ugljen je bio temeljna energetska sirovina, a tehnologija je utemeljena na snazi vodene pare. U Drugoj industrijskoj revoluciji telegraf je zamijenjen s telefonom, ugljen zamijenjen naftom, a tehnologija se povezivala na električnu struju i motore s unutarnjim izgaranjem. U Trećoj industrijskoj revoluciji nafta je ostala temeljno pogonsko gorivo i sirovina za tehnološku preradu, pa se vezano za tehnologiju ništa značajno nije promijenilo osim što su se pojavili prvi oblici digitalne tehnologije. Četvrta industrijska revolucija uvela je internet umjesto telefona, a digitalna je transformacija omogućila razvoj potpuno novih tehnologija, dok je snaga zelene energije nastojala supstituirati naftu. Nafta je još uvijek dominantno pogonsko gorivo kao i u industriji 2.0, pa su zapažanja koja Rifkin iznosi vrlo zanimljiva. Peta industrijska revolucija zadržava internet, tehnologija je nastavak digitalne transformacije iz Četvrte industrijske revolucije, a obnovljivi izvori energije još nisu nadvladali naftu kao energetske temelj razvoja. Prema kriterijima koje je

postavio Rifkin (2015), i Peta industrijska revolucija bila bi samo nastavak prethodnih, kao što je to bilo s Trećom industrijskom revolucijom.

4.2. Transformacija industrije 4.0 u industriju 5.0

Industrija 4.0 nastala je uglavnom kao tehnološka i ekonomska vizija koja ocrta kako tehnološki razvoj može utjecati na industrijske lance vrijednosti i kako proizvodne industrije mogu transformirati svoje ekonomske položaje (Ghobakhloo, 2020). Od svojih početaka industrija 4.0 preusmjerila je naglasak sa svojih temeljnih načela društvene pravednosti i održivosti prema digitalizaciji i tehnologijama potaknutim umjetnom inteligencijom. Temeljni cilj bio je povećanje fleksibilnosti proizvodnje i produktivnosti (Miraz, Hasan, Sumi, Sarkar i Hossain, 2022). Industrija 4.0 fokusirana je na profit putem proizvodnje proizvoda i učinkovitosti procesa putem digitalizacije, ali je zanemarila društvene i ekološke probleme (Fraga-Lamas, Varela-Barbeito i Fernandez-Carames, 2021). U tome je vrlo slična temeljnim karakteristikama industrije 1.0 i 2.0. koje su bile strukturirane prema izgradnji profita bez analiziranja drugih društvenih i ekonomskih učinaka takve proizvodnje. Istovremeno, industrija 4.0 potkopava društvenu ulogu industrije kao pokretača gospodarskog rasta i zapošljavanja (Dalenogare, Benitez, Ayala i Frank, 2018).

Industrija 4.0 još se naziva i vremenom automatizacije te korištenja tvorničkih robota i tehnologija utemeljenih 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 ljudskih interakcija bitnih za društveni napredak i koordinaciju (Memon, 2021)
- *nezaposlenost zbog automatizacije* – postoji velika vjerojatnost gubitka posla zbog automatizacije i robota pokretanih umjetnom inteligencijom (Khan, Haleem i Javaid, 2023); rezultati znanstvenih istraživanja dokazuju da postoji 80 postotna vjerojatnost od gubitka posla za radnike s niskim primanjima, ali i za visokokvalificirane radnike (Chaurasia, Yadav, Mishra i Kumar, 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 povjerljivosti podataka* – sve veći broj IoT uređaja povećava vjerojatnost neovlaštena pristupa povjerljivim informacijama, što rezultira osobnom i financijskom štetom (Alani i Alloghani, 2019).

U industriji 4.0, IoT uređaji stvoreni su da bi se poboljšala učinkovitost i produktivnost, što je dovelo do boljih operativnih performansi, proizvodnje velikih razmjera

i smanjenja troškova (Musarat, Almusaed i Alizadehsalehi, 2023). Međutim, suradnja između ljudi i robota suočila se s izazovima zbog ograničene razmjene znanja i slabe razmjene informacija (Rahnamayiezekavat, Sorooshnia, Rashidi, Faraji, Mostafa i Moon, 2022). Trenutačno se odvija prijelaz u Petu industrijsku revoluciju koji je definiran usvajanjem tehnologija poput umjetne inteligencije, virtualne i proširene stvarnosti te naprednije robotike (Imran, Salisu, Aslam, Iqbal i Hameedi, 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 sur., 2025). Industrija 4.0 u proizvodnju je uvela robote s kojima je namjeravala zamijeniti ljudski rad. Industrija 5.0 uvodi *kolaborativne robote* (engl. Cobots), pa ljudi i roboti rade zajedno (Grabowska i sur., 2022). Kolaborativni roboti nisu napravljeni da bi zamijenili ljude, njihova temeljna svrha jest poboljšanje postojećih vještina, olakšavanje inovativnih procesa i proširenje radnih aktivnosti s ciljem stvaranja novih radnih mjesta. Industrija 5.0 uključuje metodologije *Six-R-a* (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 je cilj reciklirati što je više moguće, težeći nultom otpadu.

Industrija 4.0 bila je usmjerena na razvoj integriranih strojeva, masovnu prilagodbu proizvodnih aktivnosti i gotovih proizvoda te na inteligentne opskrbe sustave kontrolirane računalnom tehnikom za opskrbu strojeva za masovnu proizvodnju. Integrirani strojevi i računalna kontrola temelj su za proizvodnju pametnih proizvoda. Industrija 5.0 odmaknula se od takve proizvodne paradigme te se usmjerila na zadovoljavanje iskustva korisnika, personaliziranu prilagodbu proizvoda i procesa te prilagodljive opskrbe lance utemeljene na personaliziranoj prilagodbi. Pametnim proizvodima dodala se komponenta interaktivnosti zbog personalizirane prilagodbe, a ljudski je rad vraćen u tvornice da bi se lakše upravljalo procesima u industriji 5.0. (Faraji, Ghasemi, Arya i Mahabadi, 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). Industrija 5.0 potaknula bi masovnu personalizaciju i prilagodbu proizvoda za potrošače korištenjem ljudskog intelekta i računala putem procesa poznatog kao kognitivno računanje. Da bi se poboljšala operativna učinkovitost i intelektualne sposobnosti, industrija 5.0 besprijekorno bi uključila napredne tehnologije u trenutačnu radnu snagu. *Coboti* bi također bili sposobni razumjeti zahtjeve ljudskog operatera, utvrditi je li potrebna pomoć i pružiti je po potrebi. Radna snaga moći će raditi uz robote u miru jer će moći uspješno komunicirati i surađivati sa svojim robotskim kolegama, što će pak dovesti do učinkovitog i vrijednog proizvodnog procesa (Saheal i Sheikh, 2025). Prikaz transformacije industrije 4.0 u industriju 5.0 prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1. Transformacija industrije 4.0 u industriju 5.0

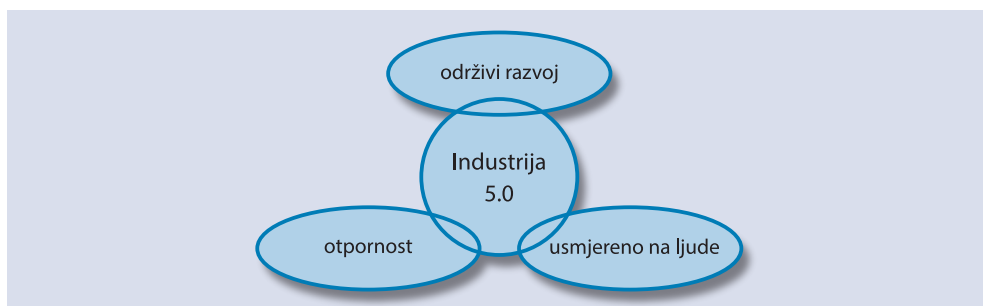
Industrija 4.0	Industrija 5.0
usmjereno na integrirane strojeve	usmjereno na iskustvo korisnika
masovna prilagodba	hiperprilagodba
inteligentni opskrbni sustavi	brzo prilagodljivi lanci opskrbe
pametni proizvodi	interaktivni proizvodi
usmjereno na integrirane strojeve	povratak ljudskog rada u tvornice

Izvor: obrada autora prema Faraji i sur. (2024)

Temeljni je cilj industrije 5.0 razvoj inteligentnih sustava koji surađuju s ljudima da bi povećali produktivnost industrijskih operacija. To uključuje razvoj autonomnih sustava sposobnih za donošenje odluka i poduzimanje radnji izvedenih iz analize podataka i tehnika strojnog učenja. Poticanje pristupačnog i uključivog industrijskog okruženja ključna je komponenta industrije 5.0 (Musarat i sur., 2023). Dva glavna cilja industrije 5.0 obuhvaćaju širu perspektivu. Prvo, algoritmi olakšavaju suradnju ljudi i robota da bi se osigurala prilagođena proizvodnja ili usluge. Drugo, stvaranje održivog gospodarstva. Dakle, industrija 5.0 ima za cilj stvoriti održivo zeleno gospodarstvo na globalnoj razini, a istovremeno otvoriti put sustavu u kojem ljudi, roboti i algoritmi mogu surađivati (Saheal i Sheikh, 2025).

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, Mocan i Draghici, 2019). Cilj industrije 5.0 jest povećati učinkovitost i produktivnost proizvodnje spajanjem ljudske inteligencije i kognitivnog računarstva (Potočan, Mulej i Nedelko, 2020). Ovim se pristupom nastoji spojiti kognitivne računalne sposobnosti s ljudskom domišljatošću putem kolaborativnih operacija (Paschek i sur., 2019). Transformacija industrije 4.0 u model industrije 5.0 utemeljio se na humanizaciji proizvodnih procesa, većoj zastupljenosti ljudskog rada te na koordinaciji i suradnji ljudi i robota. Suradnja i koordinacija ljudi i robota, odnosno *cobota*, prvenstveno

je usmjerena na efikasnost upravljanja sustavom te zajedničko rješavanje i uklanjanje prijetnji iz okoline sustava.



Slika 2. Sastavnice industrije 5.0 (izvor: obrada autora)

Industrija 4.0 nastala je kao rezultat tehnoloških inovacija koje su unaprijedile proizvodne procese, a u središte pozornosti stavile su 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 2 prikazani su temelji industrije 5.0 u kojoj se prioritet stavlja na inovacije usmjerene na čovjeka, potičući suradnju između strojeva i ljudi te stavljajući društvene i ekološke vrijednosti na posebno mjesto. Sve to transformira postojeće proizvodne i društvene odnose prema modelu industrije 5.0 (Faraji i sur., 2024). Svaki od temelja industrije 5.0 jednako je važan te pridonosi napretku i ulasku u sljedeću proizvodnu fazu, a koja nadilazi automatizaciju i digitalno vođenu industriju 4.0. (Soltaninejad i Faraji, 2021).

4.2.1. Održivi razvoj

U industriji 4.0 naglasak je na automatizaciji i učinkovitosti proizvodnje. Iako je ekonomska održivost nužna i jednako važna, u industrija 5.0 pomiče se fokus na čimbenike povezane s čovjekom i društvom u cjelini (Yitmen, Almusaed i Alizadehsalehi, 2023). Temeljni cilj implementacije industrije 5.0 usmjeren je na povećanje produktivnosti, brzine, kvalitete i smanjenja troškova ekološki prihvatljivim praksama (Leng i sur., 2022). Industrija 5.0 usmjerena je na razvoj modela održivog rasta proizvodnje promicanjem ekološki prihvatljivih metoda, a rezultat je spoznaja što se događalo u prethodnim industrijskim revolucijama. Održiva je proizvodnja ključan čimbenik u jačanju inicijative i trajnosti korištenja obnovljivih izvora energije. Model održivog razvoja utemeljen je na četirima ključnim čimbenicima (Faraji i sur., 2024):

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

Industrije moraju biti održive ako žele poštovati ograničenja planeta. Ideja industrije 5.0 ima za cilj poboljšati financijske rezultate sektora, istovremeno braneći potrebe i interese svojih ljudi i čuvajući okoliš. Korisna je vlasnicima tvrtki, kao i potencijalnim investitorima, potrošačima i klijentima zbog dostupnosti konkurentnijih proizvoda (Saheal i Sheikh, 2025). Nova poslovna paradigma utemeljena je na ekološki prihvatljivim inovacijama koje jamče dugoročnu održivost proizvodnje (Kusi-Sarpong, Gupta i Sarkis, 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 i Welch, 2020). Praćenje informacija o društvenoj održivosti u složenim lancima opskrbe može se reflektirati kao izazov, ali *blockchain* tehnologija tu može pružiti učinkovita rješenja (Venkatesh, Kang, Wang, Zhong i Zhang, 2020).

4.2.2. Usmjerenost na ljude

Suvremene industrije zahtijevaju zaposlenike s posebnim znanjima koji su sposobni razvijati radne vještine usporedo s rastom zahtjeva 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 sur., 2021). Usmjerenost na čovjeka pojedinca i njegove potrebe, a ne na tehnološki proces i značajke pametnih proizvoda, temeljno je načelo proizvodnje usmjerene na čovjeka (Xu i sur., 2021). U temeljima industrije 5.0 ugrađena je suradnja čovjeka i stroja, odnosno dok je industrija 4.0 bila utemeljena na automatizaciji i potpuno autonomnim sustavima, industrija 5.0 u središte pozornosti stavlja ljudsku kreativnost s automatizacijom i učinkovitošću strojeva (Kovari, 2024).

Pristup usmjeren na ljude podrazumijeva razumijevanje i zadovoljavanje potreba i interesa ljudi. Ovdje se tehnologija promatra kao način pomaganja, služenja i prilagođavanja proizvodnog procesa da bi se zadovoljile različite potrebe radnika. To uključuje stvaranje sigurnog i uključivog radnog okruženja da bi se naglasila fizička i mentalna dobrobit pojedinaca, u konačnici štiteći njegova temeljna prava, poput privatnosti, ljudskog dostojanstva i autonomije. Kao takva, industrija mora prepoznati društvene granice da bi izbjegla da itko bude zapostavljen (Saheal i Sheikh, 2025). U tom kontekstu, suradnja između ljudi i robota može poboljšati zdravlje i sigurnost radnika, a istovremeno smanjiti i dokinuti monotoniju pojedinih radnih procesa (Colla, Martino, Schröder, Schivalocchi i Romaniello, 2021). Usmjerenost na ljude, s ciljem razvoja i unapređenja radnih odnosa, posebno dolazi do izražaja kada se upotrebljavaju sljedeći čimbenici (Faraji i sur., 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 nagašavajući i koristeći se prevlašću rada strojeva nad radom ljudi. U tom se kontekstu nastoji 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 sigurnosti 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 čitavom organizacijom.

Unatoč automatizaciji i digitalizaciji radnih procesa, oni su i dalje skloni greškama i zastojsima, pa navedeni čimbenici usmjerenosti na ljude postaju ključna pretpostavka sustava koji se uspješno nosi s pogreškama (Lu i sur., 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, Luo, Huang i Yang, 2021). Kod klasičnih industrijskih radnih procesa ključan je razvoj dizajna i ergonomije usmjerene na čovjeka, a s razvojem i korištenjem suvremene tehnologije potrebne u proizvodnom procesu (Faraji i sur., 2024).

4.2.3. Otpornost

Otpornost je sposobnost suočavanja s ranjivostima koje se mogu pojaviti na nekoliko razina, poput onih u tvornici, opskrbenj mreži i industrijskom sustavu, a da bi se prilagodili promjenama. Kada su društveni i okolišni uvjeti stabilni, inovacije u industriji često se usredotočuju na povećanje učinkovitosti proizvodnih linija i lanca opskrbe. No ta povećanja učinkovitosti često dolaze na štetu smanjene otpornosti (Saheal i Sheikh, 2025). Industrija 5.0 stavlja naglasak na otpornost da bi se prevladale slabosti industrije 4.0 koje smo spomenuli kod ekonomske učinkovitosti. Pozornost je usmjerena na rizike izvan organizacije te se kontinuirano analizira volatilnost tržišta, poremećaji u lancima opskrbe, nepredviđena i promjenjiva ponašanja potrošača te otpornost šireg 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 sur., 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 hiperpersonalizaciju 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 sur., 2023).

5. Diskusija

Industrija 4.0 automatizirala je proizvodnju i snizila troškove ekonomije razmjera na najniže razine u povijesti industrijske proizvodnje. Razvojem tehnologije omogućila je digitalnu transformaciju proizvodnih procesa koji su izravno utjecali na promjenu cjelokupne društvene paradigme. Digitalna je transformacija bila temelj za razvoj modela ekonomije platformi (Parker, Van Alstyne i Choudary, 2016; Moazed i Johnson, 2016) koji je potresao i promijenio modele upravljanja u svim industrijskim granama. Ekonomija platformi omogućila je korištenje efekata nultog marginalnog troška (Rifkin, 2015) koji je manji od najmanjeg troška u modelu ekonomije razmjera. Digitalna transformacija i model ekonomije platformi disruptivno je djelovao na većinu postojećih industrijskih sektora (Rifkin, 2015; Lozić i Fotova Čiković, 2024). U konačnici, industrija 4.0 razvila je model „pametne tvornice” do savršenstva.

Nedostaci industrije 4.0 pojavili su se u trenutku kada savršeno orkestrirana strojna proizvodnja nije mogla rješavati nedostatke i prijetnje koje su dolazile iz okoline sustava. 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-a besprijekorno su funkcionirali u sustavu savršenih opskrbnih lanaca. Već s pojavom globalne pandemije COVID19, te drugim poremećajima opskrbe koje su se pojavili kao izazovi suvremenog svijeta, takav model upravljanja našao se pod različitim pritiscima. Industrija 5.0 uvodi novu vrstu analitike i automatizacije te se koristi uslugama umjetne inteligencije, a sve s ciljem povećanja efikasnosti proizvodnje (Faraji i sur., 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. Industrija 5.0 ima za cilj stvaranje interaktivnijeg okruženja između ljudi i strojeva tijekom cijelog rada postrojenja. Ovdje ljudski angažman postaje kognitivan, a ne fizički, što zahtijeva značajne promjene u industrijskom svijetu koje daju prioritet dobrobiti radnika tijekom proizvodnog procesa (Saheal i Sheikh, 2025). 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 objiju strana proizvodnog 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 sur., 2023).

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 učinkovitim, održivom i sigurnom proizvodnjom. Kovari (2024) naglašava da 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. Suradnja ljudi i strojeva realizirat će se na temelju dodjeljivanja ponavljajućih i radno intenzivnih zadataka robotima. Time će se osloboditi prostor i vrijeme radnicima za kreativne aktivnosti te praćenje aktivnosti robota da bi se poboljšala kvaliteta proizvodnje (Saheal i Sheikh, 2025). U tom će se kontekstu pojaviti potreba za usavršavanjem inicijalnog obrazovanja, kao i za razvojem dodatnih tečajeva za postojeće zaposlenike. Inovacijom u industriji 5.0 izgrađuju se poveznice između ljudskog rada i tehnologije koja upravlja proizvodnim procesom tijekom proizvodnje.

6. Zaključak

Razvoj industrijske proizvodnje od sredine 18. stoljeća do danas prošao je kroz pet temeljnih faza. Industrijske se revolucije ne mogu analizirati kao linearna funkcija. Prijelaz iz faze u fazu bio je više ili manje dramatičan, ali je svaki put temeljito mijenjao društveno-ekonomske odnose. S razvojem tehnologije i ulaganjem u

istraživanje i razvoj skraćivalo se vrijeme prijelaza iz faze u fazu. Ne postoji konsenzus znanstvenika i stručnjaka iz ovog područja o tome koji su temeljni tehnološki čimbenici prema kojima se nešto može kvalificirati kao industrijska revolucija, ali su svi složni u tome da se čak i temeljite promjene organizacije proizvodnih procesa, kao što je to bio slučaj s Trećom i Petom industrijskom revolucijom, mogu prihvatiti kao vrlo značajna promjena koja mijenja društvene odnose.

Prva industrijska revolucija dokinula je feudalizam te postavila temelje suvremene tvorničke proizvodnje. Četvrta je industrijska revolucija tvorničku proizvodnju dovela do vrhunca, odnosno do pojave „pametne tvornice”. Digitalna transformacija i konvergencija različitih proizvodnih i distribucijskih sustava omogućila je potpunu prevlast rada strojeva u odnosu na ljudski rad. Prvi su puta strojevi potpuno i neovisno komunicirali s drugim strojevima u modelu IoT. S jedne strane, inteligencija strojeva bila je nemoćna u sudaru s nesavršenošću sustava izvan „tvornice”, a s druge je strane ljudski kognitivni rad bio potpuno zanemaren. Kriza izazvana pandemijom COVID-19 dokazala je svu ranjivost industrije 4.0.

Industrija 5.0 u prvom se redu razvila kao odgovor na nesavršenost industrije 4.0. U tom kontekstu, ponovo se javila potreba za ljudskim radom, odnosno za kognitivnim razmišljanjem zaposlenika. Uz to, industrija 5.0 utemeljena je na humanizaciji rada koji repetitivne poslove ostavlja strojevima, a ljudskom radu daje više prostora za kreativno djelovanje. Stoga se upotrebljavaju ista tehnološka rješenja koja su već primijenjena u industriji 4.0, ali se radu zaposlenika daje humana dimenzija.

Stoga možemo zaključiti da je Prva industrijska revolucija iz temelja promijenila društveno-ekonomske odnose Engleske, a nakon toga i Europe. Istovremeno je otvorila put razvoja kapitalizma koji dominira u svim industrijskim revolucijama nakon toga. Analiza pojave i razvoja Pete industrijske revolucije bila bi nepotpuna bez analize industrijskih revolucija prije toga jer se dio nasljeđa svako od industrijskih revolucija prenosio u sljedeću fazu. Posebice se to odnosi na Petu industrijsku revoluciju koja preuzima tehnološka rješenja Četvrtе industrijske revolucije bez značajnih novih inovacija.

Nadalje, Peta industrijska revolucija prirodni je nastavak prethodnog razdoblja jer pronalazimo više promjena u kontekstu organizacijskih rješenja nego značajnog inovacijskog i tehnološkog napretka. Četvrta je industrijska revolucija obilježena digitalnom transformacijom i razvojem „pametnih tvornica”. Međutim, u trenutku kada su nastali problemi u lancima opskrbe, „pametna tvornica” više nije bila sposobna otклонiti probleme bez kognitivnog ljudskog razmišljanja. Industrija 5.0 preuzima tehnologiju industrije 4.0 te dodaje ljudsku dimenziju radu. Uz to, prepušta teže poslove strojevima čime dodaje humanu komponentu u proces proizvodnje.

Literatura

1. Alani, M. M. i Alloghani, M. (2019). Security Challenges in the Industry 4.0 Era'. U M. Dastbaz i P. Cochrane (ur.), *Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future*. Cham: Springer International Publishing, 117–136. DOI: 10.1007/978-3-030-12953-88
2. Barata, J. i 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. i 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. i Welch, C. (2020). Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. *Inf. Syst. Fron. T.*, 22, 281–298. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09921-1>
5. Bruckner, P. (2008). *Bijeda blagostanja – Tržišna religija i njezini neprijatelji*. Zagreb: Algoritam
6. *Cambridge Dictionary* (n. d.). *Industry*. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/industry> (27. rujna 2025.)
7. Caselli, F. (1999). Technological revolutions. *Am. Econ. Rev.*, 89, 78–102.
8. Chaurasia, A., Yadav, A., Mishra, D. i Kumar, S. (2025). Transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Advances in Science, Engineering and Technology*, 270–276. DOI: 10.1201/9781003641544-50
9. Çinar, Z. M., Nuhu, A. A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M. i 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>
10. Coelho, P., Bessa, C., Landeck, J. i 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>
11. Colla, V., Matino, R., Schröder, A. J., Schivalocchi, M. i Romaniello, L. (2021). Human-centred robotic development in the steel shop: Improving health, safety and digital skills at the workplace. *Metals (Basel)*, 11(4), 647. <https://doi.org/10.3390/met11040647>
12. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. i 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>
13. Demir, K. A., Döven, G. i 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>
14. Dockes, P. (2007). Metakapitalizam i transformacija proizvodnog poretka. U C. Vercellone (ur.), *Kognitivni kapitalizam: Znanje i financije u postfodističkom razdoblju*. Zagreb: Politička kultura nakladno-istraživački zavod.
15. Faraji, A., Ghasemi, E., Arya, E. H. i 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.
16. Faraji, A., Rashidi, M., Khadir, P. i 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>
17. Fraga-Lamas, P., Varela-Barbeito, J. i 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*, 9, 140700–140730. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119775

18. Gangopadhyay, P., Ebersole, D., Spencer, R., Greuther, M. i Casey, B. (2009). *Workshop for School Teachers on 'America's Industrial Revolution' at The Henry Ford*. NEH Landmarks of American History.
19. 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>
20. Grabowska, S., Saniuk, S. i Gajdzik, B. (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics*, 127(6), 3117–3144. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>
21. *Hrvatski jezični portal* (n. d.). *industrija*. https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search_by_id&id=fVpkUBM%3D (27. rujna 2025.)
22. Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D. i Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of manufacturing systems*, 64, 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>
23. Imran, M., Salisu, I., Aslam, H. D., Iqbal, I. 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*, 7(4), 211. <https://doi.org/10.3390/pr7040211>
24. Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F. i 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>
25. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A. i 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>
26. Khan, M., Haleem, A. i Javaid, M. (2023). Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technol. Sustain.*, 1(2), 100020. DOI: 10.1016/j.grets.2023.100020
27. Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V. i 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
28. Kong, X. T. R., Luo, H., Huang, G. O. i Yang, X. (2021). Industrial wearable system: the human-centric empowering technology in Industry 4.0. *J Intell Manuf*, 30, 2853–2869. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.350>
29. Kovari, A. (2024). Industry 5.0: Generalized Definition, Key Applications, Opportunities and Threats. *Acta Polytechnica Hungarica*. 21(3), 267–283. DOI:10.12700/APH.21.3.2024.3.17
30. Kusi-Sarpong, S., Gupta, H. i Sarkis, J. (2019). A supply chain sustainability innovation framework and evaluation methodology. *Int. J. Prod. Res.*, 57(7), 1990–2008. <https://shura.shu.ac.uk/32485/>
31. Leng, J., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., Wuest, T., Mourtzis, D. i Wang, L. (2022). Industry 5.0.: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>
32. Liu, Y. i Grusky, D. B. (2013). The payoff to skill in the third industrial revolution. *Am. J. Sociol.*, 118, 1330–1374.
33. Lozić, J. i Fotova Čiković, K. (2024). The key concept of the disruptive development model. U *111th International Scientific Conference on Economic and Social Development – „Navigating into the Future: The new Employee Experience”*. Budapest.

34. Lozić, J. (2019). Core concept of business transformation: From business digitalization to business digital transformation. U *48th International Scientific Conference on Economic and Social Development – „Managerial Issues in Modern Business”*. Warsaw, str. 159–167.
35. Lozić, J., Fotova Čiković, K. i Lozić, I. (2024). Basic stages of digital transformation. U *112th International Scientific Conference on Economic and Social Development – „Creating a unified foundation for Sustainable Development: Interdisciplinarity in Research and Education”*. Varaždin, str. 155–166. ISSN 1849-7535
36. Lu, Y., Adrados, J. S., Chand, S. S. i Wang, L. (2021). Humans are not machines—anthropocentric human–machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*, 7(6), 734–737. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018>
37. Mariani, M. i 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>
38. Mason, P. (2016). *Postkapitalizam: vodič za našu budućnost*. Zagreb: Fokus komunikacije d. o. o.
39. 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
40. Miraz, M. H., Hasan, M. T., Sumi, F. R., Sarkar, S. i Hossain, M. A. (2022). Industry 5.0. In *Machine Vision for Industry 4.0*. CRC Press., 285–300. <https://doi.org/10.1201/9781003122401-14>
41. Moazed, A. i Johnson, N. L. (2016). *Modern Monopolies – What it takes to Dominate the 21st Century Economy*. Applico, LLC. ISBN 9781250091895.
42. Mohajan, H. (2019). The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era. *J. Soc. Sci. Humanit.*, 5, 377–387.
43. Montagna, J. (2013). *Industrial Revolution*. Yale-New Haven Teachers Institute. <https://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1981/2/81.02.06.x.html> (22. rujna 2025.)
44. Musarat, M. A., Irfan, M., Alaloul, W. A., Maqsoom, A. i Ghufuran, M. (2023). A review on the way forward in construction through industrial revolution 5.0. *Sustainability*, 15(18), 13862. <https://doi.org/10.3390/su151813862>
45. Narkhede, G., Pasi, B., Rajhans, N. i 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
46. *Oxford Dictionary* (n. d.) *Industry*. https://www.oed.com/dictionary/industry_n?tl=true&tab=etymology (27. rujna 2025.)
47. Parker, G. G., Van Alstyne, M. W. i Choudary, S. P. (2016). *Platform Revolution: How Networked Markets are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You*. W.W. Norton & Company Ltd. ISBN 978-0-393-24913-2.
48. Paschek, D., Mocan, A. i Draghici, A. (2019). Industry 5.0—The Expected Impact of Next Industrial Revolution. U *Thriving on Future Education, Industry, Business, and Society, Proceedings of the MakeLearn and TIIM International Conference*, str. 125–132). ToKnowPress.
49. Pasi, B. N., Mahajan, S. K. i 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>

50. Potočan, V., Mulej, M. i Nedelko, Z. (2020). Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems. *Kybernetes*, 50(3), 794–811. <https://doi.org/10.1108/K-12-2019-0858>
51. Rahnamayiezekavat, P., Sorooshnia, E., Rashidi, M., Faraji, A., Mostafa, S. i Moon, S. (2022). Forensic analysis of the disputes typology of the NSW construction industry using PLS-SEM and prospective trend analysis. *Buildings*, 12(10), 1571. <https://doi.org/10.3390/buildings12101571>
52. 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.
53. Saheal, H. i Sheikh, S. M. (2025). Future Workforce for Industry 5.0. U V. Ramasamy, S. Balamurugan i Sheng-Lung Peng (ur.) *Intelligent Robots and Cobots: Industry 5.0 Applications*, str. 217–240. Scrivener Publishing LLC.
54. Sarkar, B. D., Shardeo, V., Dwivedi, A. i Pamucar, D. (2024). *Digital transition from industry 4.0 to industry 5.0 in smart manufacturing: A framework for sustainable future*, vol. 78. Elsevier, 102649. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X24001970>
55. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown business, Penguin Random House LLC. ISBN 978-1-5247-5886-8.
56. Serbinenko, I. 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>
57. Shabur, A., Abid Shahriar, A. i 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>
58. 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>
59. Sharma, A. i 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
60. Soltaninejad, M. i Faraji, A. (2021). Recognizing the effective factors in managing fire incidents to reduce the collateral damages and casualties, 39(13), 805–827. DOI: 10.1108/F-03-2020-0030
61. Sundararajan, A. (2016). *The Share Economy – The end of employment and the rise of crowd-based capitalism*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
62. Venkatesh, V. G., Kang, K., Wang, B., Zhong, R. Y. i Zhang, A. (2020). System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. *Robot Comput Integr Manuf.*, 63, 101896. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101896>
63. Vinitha, K., Ambrose Prabhu, R., Bhaskar, R. i 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>
64. Xu, M., David, J. M. i Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *Int. J. Financ. Res.*, 9, 90–95.
65. Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. i Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception, *J Manuf Syst*, 61, 530–535, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

66. Yin, Y., Stecke, K. E. i 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>
67. Yitmen, I., Almusaed, A. i 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), 9105. <https://doi.org/10.3390/su15119105>
68. Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N. i 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>



INDUSTRY 5.0: THE PATH TO HUMANIZING INDUSTRY 4.0

Abstract

The emergence and development of digital solutions in production processes were the basis for the development of Industry 3.0 in the middle of the last century. The complete digital transformation of production systems took place in parallel with the emergence and development of Industry 4.0. The digital transformation of production systems directly affected changes in social and economic systems in the communities where the process took place. The fourth industrial revolution, which preceded the development of Industry 4.0, was based on the development of technological solutions that enabled the digital transformation of production, and established completely new social and economic relations. Industry 4.0 brought on automation, robotization and cooperation of applications and machines, which greatly facilitated work and reduced production costs. In a large number of manufacturing industries, the platform economy model was developed, which introduced a completely new cost calculation model, since the zero marginal cost of the platform economy is lower than the smallest cost of economies of scale in industrial production. The aim of this paper is to investigate and analyse the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0 and to analyse the fundamental factors of similarities and differences between these two production models. Industry 5.0 is a response to threats from the environment that Industry 4.0 could not successfully overcome, by coordinating people and machines, and by introducing human work into part of the production processes, the human component that was neglected in Industry 4.0 is compensated.

Keywords: digital transformation, humanization of work, industrial revolution, Industry 4.0, Industry 5.0.