

ERP SUSTAVI I INDUSTRIJA 4.0

Kolega, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:749388>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad
ERP SUSTAVI I INDUSTRIJA 4.0
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

Rijeka, rujan 2024.

Filip Kolega
0035221147

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Sukladno članku 9. “Pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na preddiplomskom sveučilišnom studiju Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci”, te sukladno “Uputama za pisanje završnog rada Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci“ izjavljujem da sam završni rad pod nazivom „ERP sustavi i Industrija 4.0“ izradio samostalno, služeći se stečenim znanjem tijekom studija i literaturom navedenom na kraju rada, a sve pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Samira Žica.

Rijeka, rujan 2024.

Filip Kolega (0035221147)

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	RAZVOJ ERP SUSTAVA	2
2.1.	Planiranje materijalnih potreba (MRP)	2
2.2.	MRP zatvorene petlje	3
2.3.	Planiranje resursa proizvodnje (MRP II)	4
2.4.	Planiranje resursa poslovnog sustava (ERP)	5
3.	RAZVOJ INDUSTRIJE 4.0	8
3.1.	Industrijske revolucije	8
3.1.1.	Prva industrijska revolucija	8
3.1.2.	Druga industrijska revolucija	8
3.1.3.	Treća industrijska revolucija	9
3.2.	Industrija 4.0	9
3.3.	Ključne tehnologije Industrije 4.0	10
3.3.1.	Industrijski internet stvari (IIoT)	11
3.3.2.	Big data tehnologija i analitika umjetnom inteligencijom	11
3.3.3.	Kibernetско-fizički sustavi	12
3.3.4.	Aditivna proizvodnja (3D printeri)	13
3.3.5.	Rad u oblaku (eng. <i>Cloud computing</i>)	14
3.3.6.	Pametne tvornice	15
3.3.7.	Vertikalna i horizontalna integracija	16
3.3.8.	Digitalni blizanci	17
3.3.9.	Rubno računalstvo (eng. <i>Edge computing</i>)	18
3.3.10.	Proširena stvarnost (eng. <i>Augmented reality</i>)	19
4.	ERP SUSTAVI UNUTAR INDUSTRIJE 4.0	21
4.1.	Kako ERP sustavi podržavaju Industriju 4.0	21
4.1.1.	Uvidi u poslovanje	21
4.1.2.	Analiza velike količine podataka	22
4.1.3.	Modularnost	22
4.1.4.	Skalabilnost	22
4.1.5.	Donošenje odluka u stvarnom vremenu	22
4.1.6.	Optimiziranje tijeka rada	23

4.2.	Implementacija ERP-a u poduzeća Industrije 4.0	23
4.2.1.	Usmjerenost na kupca.....	23
4.2.2.	Međufunkcijska suradnja.....	24
4.2.3.	Fleksibilna IT infrastruktura	25
4.2.4.	Upravljanje poslovnim procesima (BPM)	26
4.2.5.	Projekt menadžment	26
4.2.6.	Organizacijsko učenje	27
4.2.7.	Vanjska suradnja.....	28
4.2.8.	Upravljanje IT sektorom.....	28
4.2.9.	Upravljanje podacima.....	29
4.3.	Izazovi ERP-a u Industriji 4.0.....	30
4.3.1.	Integracija s novim tehnologijama	30
4.3.2.	Otpornost zaposlenika prema promjenama	30
4.3.3.	Sigurnosni rizici	30
4.3.4.	Troškovi implementacije	31
4.3.5.	Velike količine podataka.....	32
4.4.	Budućnost ERP sustava	33
4.4.1.	Evolucija ERP sustava.....	33
4.4.2.	Održivost ERP sustava	33
4.4.3.	Softver kao usluga.....	34
4.4.4.	Hibridna ERP rješenja	35
4.4.5.	Otpornost lanca opskrbe i prediktivno održavanje.....	35
4.4.6.	Korisničko iskustvo	36
5.	ZAKLJUČAK.....	37
6.	LITERATURA	38
7.	POPIS SLIKA	40
8.	POPIS OZNAKA I KRATICA.....	41
9.	SAŽETAK.....	42

1. UVOD

Područje poslovnih sustava je u posljednjim desetljećima doživjelo značajnu transformaciju, potaknutu pojavom i vrlo brzim razvojem inovativnih tehnologija, te sve većim naglaskom na digitalizaciju. U nastojanju da organizacije drže korak s tom evolucijom, sustavi za podršku i planiranje resursa poduzeća (ERP sustavi) su se razvili od osnovnih alata za automatizaciju do sofisticiranih platformi sposobnih za integraciju različitih poslovnih procesa. Sjecište ERP sustava i industrije 4.0 je kritična točka u razvitku industrijske i poslovne prakse poduzeća kojima je od velike važnosti uskladiti sustave za planiranje s načelima Industrije 4.0 bazirane na automatizaciji i digitalizaciji. Kako organizacije sve više usvajaju tehnologije Industrije 4.0, uloga ERP sustava proširila se od pukog upravljanja poslovnim resursima do središnjeg čvorišta za integraciju i korištenje ogromnih količina podataka koje generiraju pametni uređaji i sustavi. ERP sustavi omogućuju poduzećima dobivanje točnih i ažurnih informacija, te olakšavaju smisleni tok informacija i dobara u dobavnom lancu. Korištenjem ERP sustava poduzeća poboljšavaju svoje radne procese čineći ih efikasnijima, prilagodljivijima i fleksibilnijima.

Ovaj završni rad će se fokusirati na povijesnom razvoju ERP sustava i Industrije 4.0, te istražiti njihovu povezanost u današnjim proizvodno-orijentiranim poslovnim sredinama. Razumijevanje povijesne evolucije i trenutnog međudjelovanja između ERP sustava i Industrije 4.0 važno je za procjenu njihovog potencijala, te uspješan razvitak u budućnosti.

2. RAZVOJ ERP SUSTAVA

Razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija, potaknut napretkom mikroelektronike, računalnog hardvera i softverskih rješenja, revolucionirao je poslovne sustave i njihove aplikacije. U suvremenom poslovnom okruženju, koje postaje sve kompleksnije zbog globalizacije, rastući zahtjevi za pravodobnim pristupom podacima ključni su za donošenje odluka, upravljanje zalihama, nabavu, računovodstvo i ljudske resurse. Kako bi ostali konkurentni, menadžment mora implementirati učinkovit informacijski sustav koji optimizira troškove i poboljšava logističke procese. Poduzeća se suočavaju s dvostrukim izazovom: izgradnjom IT infrastrukture i korištenjem informacija za učinkovito odlučivanje.

Tradicionalno, poslovni sustavi funkcionirali su putem zasebnih aplikacija za različite odjele, što je dovelo do stvaranja "otoka informacija" unutar organizacija. Sustavi planiranja resursa (ERP) i skladištenja podataka (DW) razvijeni su kako bi omogućili integraciju informacija, te podržali strateško i taktičko odlučivanje. Kroz ovu integraciju, poduzeća postaju fleksibilnija i prilagodljivija promjenama u poslovnom okruženju. Velika, srednja i mala poduzeća prepoznala su važnost pravovremenog pristupa informacijama kao ključne prednosti u konkurentskom globalnom tržištu, gdje uspjeh ovisi o učinkovitom upravljanju podacima i resursima.

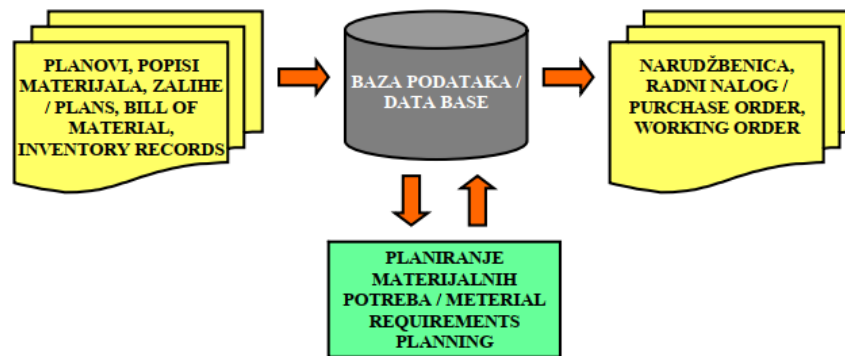
Prije razvitka računalnih sustava, planiranje u proizvodnji se baziralo, prvenstveno, na ručnim procesima i tradicionalnim tehnikama upravljanja zalihama proizvoda. Organizacije su obično koristile jednostavne, često neučinkovite i reaktivne, ručne pristupe upravljanju zalihama. Fokus je uglavnom bio na održavanju velikih količina zaliha kako bi se zadovoljila potencijalna potražnja, pod pretpostavkom da će se na taj način moći spriječiti eventualne nestašice i kašnjenja u isporukama. Ručno praćenje razina zaliha je oduzimalo puno vremena i bilo skloni pogreškama, pri čemu je uobičajeno nezadovoljavajuća razmjena informacija između odjela unutar organizacije, rezultirala izoliranim informacijskim silosima. Predviđanje potražnje bilo je rudimentarno, često temeljeno na povijesnim podacima o prodaji bez analitičkih alata koji bi omogućili točnije predviđanje budućih potreba. Također, procesi planiranja nisu učinkovito povezivali i koordinirali sektore nabave, proizvodnje i prodaje što je rezultiralo neučinkovitošću i neusklađenošću između ponude i potražnje. Izumom i razvojem računala situacija u planiranju resursa poduzeća se značajno poboljšala uvođenjem sofisticiranih, digitalnih rješenja [1,2]

2.1. Planiranje materijalnih potreba (MRP)

Sustavi planiranja materijalnih potreba (MRP), razvijeni krajem 1960.-ih, predstavljaju značajan napredak u proizvodnji i upravljanju zalihama. MRP se baziraju na sustavnom pristupu upravljanju

proizvodnim procesima, fokusirajući se prvenstveno na osiguravanje da pravi materijali budu dostupni za proizvodnju u pravo vrijeme. Osnovna logika MRP-a se temelji na četiri ključna pitanja: *Što ćemo proizvoditi? Što je potrebno za izradu? Što imamo? Što trebamo nabaviti?* Navedena su pitanja još poznata kao univerzalna jednadžba proizvodnje, koju MRP sustavi koriste za simulaciju i upravljanje zahtjevima proizvodnje. Za odgovor na pitanje *Što ćemo proizvoditi?* MRP koristi glavni terminski plan proizvodnje s popisom potrebnog materijala. Pomoću dokumentacije o stanju zaliha u skladištu odgovara se na pitanja *Što imamo?* i *Što trebamo nabaviti?*

Primarna funkcija MRP sustava je osiguravanje dostupnosti potrebnog materijala, a postiže se pretvaranjem glavnog plana proizvodnje u vremenski definirane neto zahtjeve za podsklopove, komponente i sirovine. Takav pristup omogućuje učinkovito planiranje i nabavu, osiguravajući da su materijali dostupni za internu upotrebu, montažu, proizvodnju i/ili distribuciju u pravo vrijeme i u potrebnim količinama. Proces planiranja uključuje praćenje stanja zaliha, automatsko kreiranje narudžbi za materijale i upravljanje među proizvodnim procesima. Međutim, daljnjim razvojem tehnologija zahtjevi za planiranje unutar poslovnih sustava su postajali sve opsežniji i složeniji, rezultirajući potrebom za novim rješenjima koja će obuhvatiti ne samo materijalne zahtjeve, već i druge ključne poslovne funkcije. Na slici 2.1. je dan shematski prikaz MRP sustava planiranja [2]

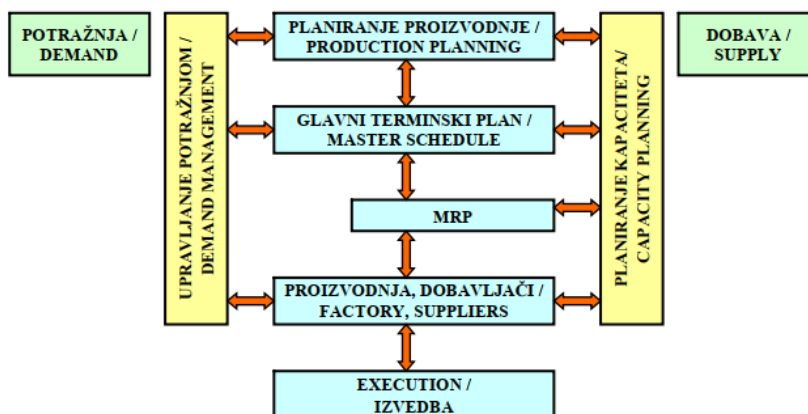


Slika 2.1 MRP sustav planiranja [2]

2.2. MRP zatvorene petlje

MRP se brzo razvio iz sistema za naručivanje materijala u alat sa znatno širim mogućnostima za bolje planiranje i praćenje rokova narudžbi. Naime, prvi korisnici su primijetili da se MRP može koristiti i za planiranje u cilju zadržavanja još važećih krajnjih rokova nakon što je završila distribucija narudžbi. Uz pomoć MPR-a se otkriva kada je krajnji rok narudžbe, te kada dolazi do kašnjenja. Na taj se način razvio MRP zatvorene petlje kao napredna verzija tradicionalnog MRP sustava. MRP zatvorene petlje integrira niz funkcija koje nadilaze samo planiranje materijalnih

potreba uključujući alate za upravljanje prioritetima i kapacitetima koji podržavaju procese planiranja i izvršenja. Naziv MPR zatvorene petlje je dobio zbog toga što omogućava povratnu informaciju od funkcija izvršenja natrag do funkcija planiranja. To konkretno znači da u slučaju kašnjenja ili promjena u proizvodnji, sustav može pravovremeno reagirati i prilagoditi buduće materijalne zahtjeve i rasporede. Na slici 2.2 je dan shematski prikaz MRP zatvorene petlje [2]



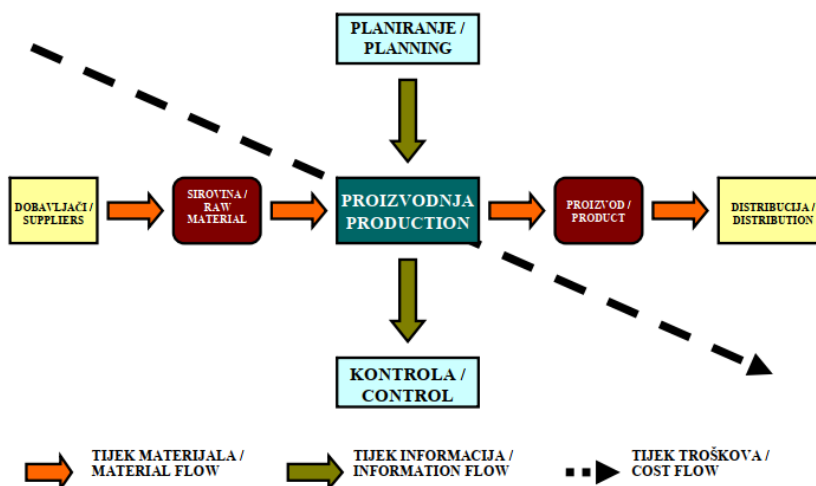
Slika 2.2 MRP zatvorene petlje [2]

2.3. Planiranje resursa proizvodnje (MRP II)

Planiranje resursa proizvodnje (MRP II) je napredniji koncept u upravljanju proizvodnim procesima koji se razvio iz osnovnog sistema planiranja materijalnih potreba (MRP). MRP II se fokusira na optimizaciju proizvodnih procesa tako da se sinkroniziraju nabava materijala s potrebama u proizvodnji. MRP II obuhvaća različite funkcije unutar organizacije, kao što su upravljanje proizvodnjom, distribucijom, financijama, ljudskim resursima i vođenje projekata. Poboljšanje u usporedbi s MRP zatvorene petlje se odnosi na planiranje prodaje i operacijsko planiranje u cilju bolje usklađenosti dobave i potražnje na razini količina. Također, MRP II koncept omogućuje korištenje financijskih sučelja za pretvaranje operacijskih planova u novčane jedinice. Nadalje, izlazne informacije sustava MRP II su integrirane s financijskim izvješćima. Još jedna od ključnih prednosti MRP II koncepta je kontinuirano generalno poboljšanje čitavog sustava te konkretno unaprjeđenje usluge i odnosa s klijentima te smanjenje i eliminacija gubitaka u proizvodnji. Zaključno, za razliku od MRP zatvorene petlje, MRP II omogućava simulaciju različitih scenarija proizvodnog poslovnog sustava u cilju što preciznije i točnije procjene utjecaja promjena u potražnji, kapacitetu i resursima.

Za efikasno funkcioniranje proizvodnje u MRP II poslovnim sustavima potrebno je uskladiti tri ključna tijeka: 1. tijek materijala, 2. tijek informacija i 3. tijek troškova. Tijek materijala obuhvaća pretvorbu materijala u finalni proizvod. Tijek informacija se odnosi na

transformaciju ulaznih u izlazne podatke, kao i planiranje i kontrola proizvodnje. Tijeku troškove pripadaju svi akumulirani troškovi finalnog proizvoda od početka proizvodnje, distribucije, prodaje, pa do završetka jamstvenog roka. Na slici 2.3. je dan shematski prikaz tri navedena tijeka u proizvodnom poslovnom sustavu. [2]



Slika 2.3 Tri tijeka u proizvodnom poslovnom sustavu [2]

2.4. Planiranje resursa poslovnog sustava (ERP)

ERP je koncept planiranja resursa poslovnog sustava koji se razvio paralelno s ubrzanim razvitkom komunikacijskih i informacijskih tehnologija, a temelji se na i obuhvaća sve karakteristike MRP II koncepta. ERP sustavi sadrže skup alata za predviđanje, terminiranje i planiranje unutar poduzeća. Ti alati povezuju kupce i dobavljače u cjelovit dobavni lanac, koriste već provjerene procese za donošenje odluka u poslovanju, te koordiniraju više poslovnih jedinica: prodaju, marketing, operacije, logistiku, nabavu, financije, razvoj proizvoda i ljudske resurse. ERP koncept ima za ključne ciljeve povećati produktivnost, smanjiti troškove poslovanja, poboljšati komunikaciju s kupcima, integrirati sve funkcije poslovnog sustava u jedinstvenu cjelinu, te postaviti dobre temelje za dobavni lanac i e-poslovanje. Glavni razlozi za implementiranje ERP-a su: integracija financijskih podataka i informacija o narudžbama klijenata, standardizacija i ubrzavanje proizvodnih postupaka, smanjenje zaliha i ujednačavanje podataka o ljudskim resursima.

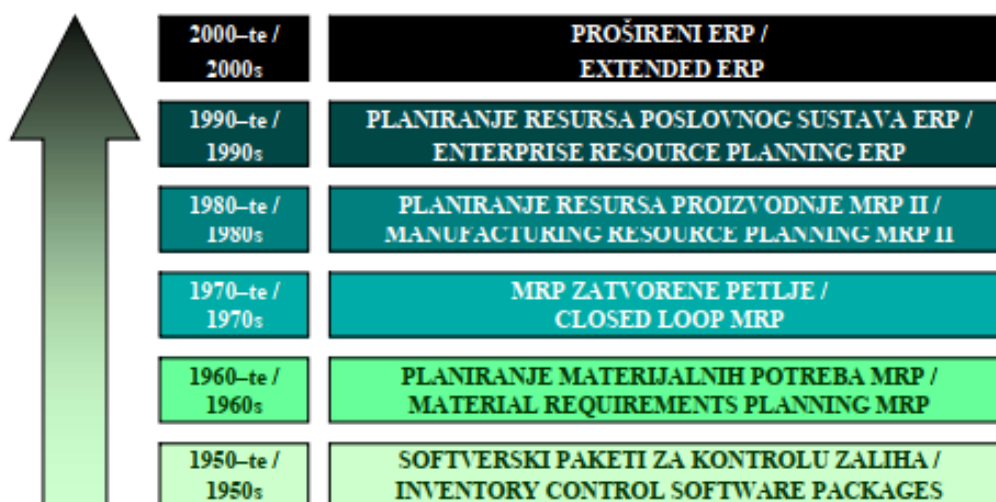


Slika 2.4 Poslovne funkcije unutar ERP-a [3]

ERP koncept se može promatrati iz različitih perspektiva. ERP može biti shvaćen kao softverski proizvod ili kao sredstvo za bilježenje, redovito ažuriranje svih informacija, podataka i procesa unutar organizacije, stvarajući tako koherentnu i integriranu strukturu. ERP sustavi, ili Enterprise Systems (ES), su softverski paketi osmišljeni za upravljanje poslovnim procesima, sastavljeni od modula i aplikacija koje podržavaju različita funkcionalna područja poput planiranja, proizvodnje, marketinga, distribucije, računovodstva, financija, upravljanja ljudskim resursima i zalihama, vođenja projekata, održavanja, transporta, e-poslovanja, i drugih. ES softverski paketi služe kao podrška za učinkovito planiranje resursa, odnosno omogućuju realizaciju ERP koncepta. Ključna funkcija ERP-a je integracija operativnih procedura unutar odjela zajedno s informacijskim sustavom, te relokacija organizacijskih resursa u promjenjivom okruženju. Nadalje, ERP sustavi su integrirani softverski sustavi koji se koriste za upravljanje resursima organizacije, ne samo za planiranje resursa, već i za integraciju jedinstvenih sustava odjela i korištenje najprikladnijih metoda za rješavanje problema. Funkcionira na način da se sve prikupljene i obrađene informacije iz raznih funkcionalnih cjelina poslovnog sustava šalju u jedan zajednički sustav, gdje se kombiniraju, omogućavajući bolju komunikaciju i koordinaciju među odjelima, dobavljačima, klijentima i menadžerima.

ERP se danas smatra ključnom poslovnom strategijom, a njegova najveća prednost je sposobnost da zamijeni višestruke sustave u organizaciji jedinstvenim ERP sustavom, bez povećanja njegove složenosti. Prema definiciji, ERP je alat koji će pomoći organizaciji da iskoristi svoje resurse na najefikasniji način. [2]

U zaključku, razvoj sustava planiranja u poduzećima prošao je kroz mnogo faza, počevši od osnovnih softverskih rješenja za kontrolu zaliha do naprednih ERP sustava. Sustavi planiranja materijalnih potreba (MRP) omogućili su automatizaciju nabave i upravljanja zalihama, dok su kasniji sustavi poput MRP zatvorene petlje i MRP II proširili svoje funkcije na šire poslovne procese, uključujući proizvodnju, financije i ljudske resurse. Ovi sustavi postepeno su evoluirali u ERP sustave, koji objedinjuju sve ključne poslovne funkcije unutar jedne platforme, omogućujući integraciju podataka i bolje povezivanje različitih odjela unutar organizacije. ERP sustavi su omogućili lakše praćenje i optimizaciju resursa, te pritom poboljšali operativnu učinkovitost. Također se s njima počeo stavljeti naglasak na donošenje odluka temeljenih na točnim i pravovremenim informacijama. Kroz ovu evoluciju, sustavi planiranja postali su ključni alat za modernizaciju poslovnih procesa i prilagodbu sve složenijim zahtjevima tržišta. Prikaz godina i faza razvoja ERP sustava prikazan je na slici 2.5.



Slika 2.5 Faze razvoja ERP sustava [2]

3. RAZVOJ INDUSTRIJE 4.0

3.1. Industrijske revolucije

3.1.1. Prva industrijska revolucija

Prva industrijska revolucija (P.I.R.) započela je krajem 18. stoljeća, a povjesničari još uvijek raspravljaju o točnim vremenskim okvirima. Ovu revoluciju je obilježio prijelaz s ručne proizvodnje na strojnu, koristeći se parnom energijom i novim proizvodnim procesima. P.I.R. je započela u Velikoj Britaniji koja je imala vodeću ulogu u globalnoj trgovini zahvaljujući svojim kolonijama u Sjevernoj Americi i Karibima, te političkom utjecaju na Indijskom potkontinentu kroz aktivnosti Istočno-indijske kompanije. Razvoj trgovine i uspon poduzetništva bili su ključni pokretači P.I.R., dok su tehnološke inovacije, poput parnih strojeva i mehaniziranih tvornica, omogućile masovnu proizvodnju i značajno povećale ljudsku produktivnost. Povjesničari smatraju da je ova revolucija označila najvažniju prekretnicu u povijesti čovječanstva od pripitomljivanja životinja i biljaka jer su gotovo svi aspekti svakodnevnog života bili su pod njezinim utjecajem. Došlo je do ubrzanog rasta prosječnih prihoda i populacije, a životni standard zapadne populacije počeo je kontinuirano rasti. Parna snaga i strojevi revolucionirali su prijevoz, te omogućili brži transport ljudi i robe na velike udaljenosti što je rezultiralo značajnim ekonomskim rastom. Zaključno, društvo se transformiralo iz pretežno agrarnog i fokusiranog na poljoprivredu u urbanizirano, s tvornicama kao novim središtima zajednica. [4]

3.1.2. Druga industrijska revolucija

Krajem 1830.-ih i početkom 1840.-ih svijet je zadesila gospodarska recesija uzrokovana stagniranjem originalnih inovacija P.I.R-a, te sazrijevanjem i zasićenjem njihovih tržišta. Međutim, kasnije u tom periodu su razvijene inovacije poput lokomotiva, parobrodova i tehnologija za topljenje željeza, koje su postavile temelje za Drugu industrijsku revoluciju (D.I.R). D.I.R je započela 1870-ih s izumom električne energije i uvođenjem montažnih linija u proces proizvodnje, te trajala do početka prvog svjetskog rata. Ključna osoba D.I.R-a, bio je Henry Ford koji je uveo nove principe u proces proizvodnje automobila, te time transformirao automobilsku industriju. Naime, dok je prije samo jedna postaja u tvornici sklopila čitav automobil, sada su se vozila proizvodila u parcijalnim koracima na pokretnoj traci, značajno brže i po nižoj cijeni. Napredak u proizvodnoj tehnologiji omogućio je širu primjenu tehnoloških sustava poput telegrafa, željezničkih mreža, te opskrbe plinom i vodom. U tom periodu uvedeni su neki

inovativni sustavi koji su značajno unaprijedili globalni društveni razvoj kao na pr. električna rasvjeta, radio i telefon. Radnici su se selili u gradove zbog poslova u tvornicama i uzrokovali naglu urbanizaciju. Do 1900. godine, 40% američkog stanovništva živjelo je u gradovima, za razliku od 1800. kada je to iznosilo samo 6%. Ova industrijska revolucija znatno je transformirala način života i komunikacije, te postavila temelje modernog svijeta. [4]

3.1.3. Treća industrijska revolucija

Treća industrijska revolucija (T.I.R.) započela je nekoliko godina nakon završetka Drugog svjetskog rata, oko 1950-ih godina, pojavom računala i programibilnih kontrola koje su omogućile djelomičnu automatizaciju. Uvođenjem ovih novih tehnologija, proizvodni procesi su se mogli odvijati bez ljudske pomoći. Neki od primjera ove automatizacije su roboti koji izvršavaju programirane sekvence bez ljudske intervencije, te automatsko slijetanje zrakoplova bez pilota. Zbog toga se T.I.R. naziva još i Revolucijom automatizacije. Nadalje, obilježena je izumom poluvodiča, industrijskih i osobnih računala, te interneta. Nekad analogne tehnologije su počele prelaziti u digitalni oblik, što je drastično unaprijedilo razne industrije, prvenstveno globalne komunikacije i energetiku. Korištenjem elektronike i informacijskih tehnologija započela je automatizacija proizvodnje i globaliziranje opskrbnih lanaca. Treća industrijska revolucija je time postavila temelje za digitalno doba i četvrtu industrijsku revoluciju, te značajno utjecala na današnji svakodnevni život. [4]

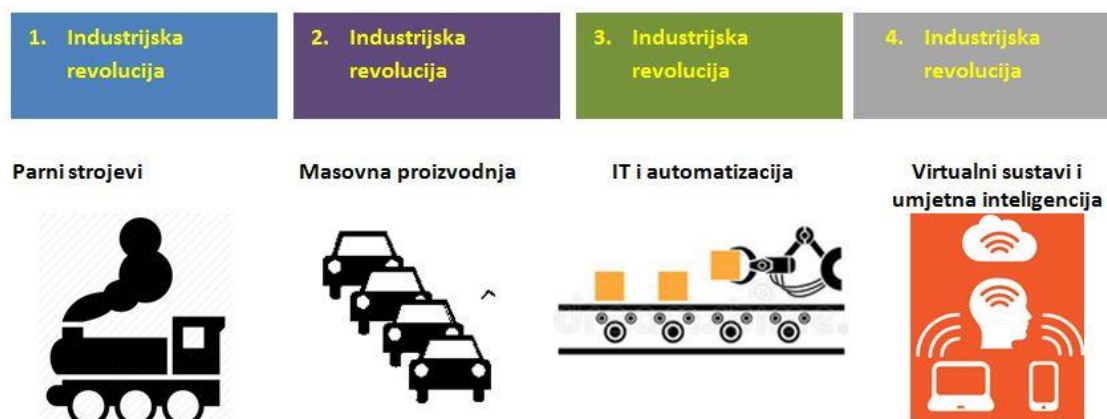
3.2. Industrija 4.0

Trenutačno se nalazimo u četvrtoj industrijskoj revoluciji ili Industrij 4.0, koja traje od početka 21. stoljeća. Temelji se na postignućima Treće industrijske revolucije, osobito u razvoju digitalne tehnologije, pa se ponekad naziva i Digitalna revolucija. Proizvodni sustavi u kojima je već integrirana digitalna računalna tehnologija se nadograđuju implementacijom internetske konekcije i postavljanjem digitalnih blizanaca na internetu. Oni su u osnovi digitalna replika fizičkog objekta ili sustava. To umrežavanje sustava dovodi do stvaranja kibernetko-fizičkih proizvodnih sustava, te "pametnih" tvornica unutar kojih se komunicira putem mreže, a proizvodnja je skoro potpuno autonomna. Također, integracijom informacijskih tehnologija s operativnim procesima se postiže snažnija i koherentnija organizacija proizvodnje. Nove informacijsko-komunikacijske tehnologije Industrije 4.0 omogućuju autonomno komuniciranje među uređajima, analizu i prikupljanje velike količine podataka, autonomno donošenje odluka, praćenje imovine i procesa u stvarnom vremenu, te vertikalnu i horizontalnu integraciju.

Koncept Industrije 4.0, koja po prvi put u povijesti uz industrijsku revoluciju veže numerički broj, se javlja 2011. godine u Njemačkoj kao prijedlog za razvoj nove njemačke ekonomske politike bazirane na visokotehnološkim strategijama. Vrlo brzo su i druge tehnološki napredne nacije poput Kine, Japana i SAD-a počele bazirati proizvodnju na nacionalno kompetitivnim strategijama poput Industrije 4.0. Paradigma proizvodnih sustava se mijenja, pri čemu rastuća upotreba inteligentne opreme, robotike, Interneta stvari (eng. *Internet of Things* - IoT) i analitike velikih podataka jača proizvodnu inteligenciju. Vodeće kompanije natječu se za dominaciju na novonastalom tržištu pružanjem inovativnih rješenja i primjenom novih tehnologija za unapređenje pametne proizvodnje.

Industrija 4.0 ima mogućnost značajno promijeniti način rada i podići efikasnost zaposlenika korištenjem pametnih mreža. Digitalizacija proizvodnog okruženja omogućuje fleksibilniji pristup pružanju pravih informacija pravim osobama u pravo vrijeme. Na primjer, povećana upotreba digitalnih uređaja unutar tvornica i na terenu olakšava stručnjacima za održavanje da pravovremeno dobiju potrebnu dokumentaciju i povijest servisiranja. Digitalizacija proizvodnje promijenit će način na koji se roba proizvodi i distribuira, te kako se proizvodi servisiraju i usavršavaju. Ukratko, Industrija 4.0 donosi značajnu promjenu u industrijskom okruženju i kao takva predstavlja početak Četvrtе industrijske revolucije (Č.I.R.). [4]

Shematski prikaz glavnih karakteristika svake od 4 industrijske revolucije dan je na slici 3.1.



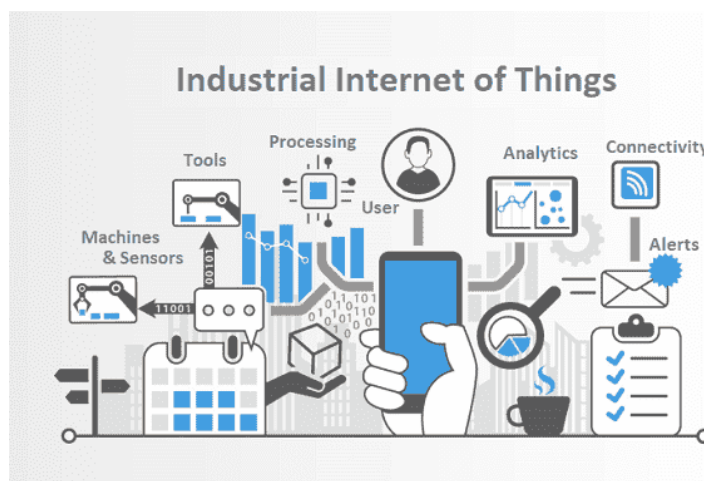
Slika 3.1 Četiri industrijske revolucije [5]

3.3. Ključne tehnologije Industrije 4.0

Koncept Industrije 4.0 obuhvaća brojne tehnologije koje se koriste u raznim kontekstima, a u ovom radu će biti opisane samo neke od najvažnijih, konkretno Industrijski internet stvari, Big data, Kibernetско-fizički sustavi, 3D printeri, rad u oblaku, pametne tvornice, rubno računalstvo, digitalni blizanci i proširena stvarnost.

3.3.1. Industrijski internet stvari (IIoT)

Industrijski internet stvari je toliko važan za Industriju 4.0 da se često ta dva pojma koriste naizmjenično. Većina komponenata u pametnim tvornicama – uređaji, roboti, strojevi, oprema, proizvodi - sadrže senzore s IP adresama koje im omogućuju umrežavanje s ostalim strojevima na internetu a koriste se za prikupljanje podataka o stanju, lokaciji i funkcioniranju strojeva u stvarnom vremenu. Glavna filozofija IIoT-a jest da pametni strojevi nisu samo uspješniji od ljudi u prikupljanju i analizi podataka u stvarnom vremenu, već su bolji i u komuniciranju informacija važnih za pravovremeno donošenje ispravnih poslovnih odluka. Tehnologija interneta stvari omogućuje poduzećima lakše upravljanje opskrbnim lancima, brzo dizajniranje i modificiranje proizvoda, sprječavanje zastoja proizvodne opreme, ostajanje u toku s preferencijama potrošača, praćenje proizvoda i zaliha, te još mnogo toga. Zahvaljujući ovoj umreženosti strojeva planiranje, kontrola i izvođenje proizvodnje i logistike mnogo je efikasnije. Shematski prikaz industrijskog interneta stvari dan je na slici 3.2. [6,7,8]



Slika 3.2 Industrijski internet stvari [9]

3.3.2. Big data tehnologija i analitika umjetnom inteligencijom

Digitalna revolucija, Industrija 4.0 povezuje fizički i virtualni svijet pomoću tehnologija velikih podataka (eng. *Big data*) i umjetne inteligencije (AI) za poboljšanje sustava automatskog učenja. Umreženost sustava i računala, te sposobnost obrade velike količine podataka rezultirale su inteligentnim strojevima koji samostalno donose informirane odluke. Internet stvari (IoT) povezuje elemente Industrije 4.0 već dugi niz godina, ali dodana vrijednost iz podataka putem Big data podigla je pojam na novu razinu: Internet sustava.

Krajnji je cilj da se informacije koje prikupljaju IoT uređaji i suvremeni proizvodni sustavi pretvaraju u korisne ideje. Big data klasificira prikupljene podatke i donosi zaključke koji pomažu u poboljšanju poslovanja tvrtki na razne načine. Zahvaljujući sensorima i prijenosnim uređajima lakše je otkrivanje ljudskih pogrešaka, provođenje kontrole kvalitete i utvrđivanje optimalnih ruta za proizvodnju ili montažu. Također, Big data identificira varijable koje mogu ometati performanse strojeva, pomažući tako proizvođačima u identificiranju problema i eliminaciji uskih grla. Sensori koji prikupljaju podatke mogu prepoznati potencijalne kvarove u radu stroja, te obavijestiti tim kako bi mogao pravovremeno reagirati. Konačno, kroz internu (preferencije kupaca) i eksternu (trendovi i vanjski događaji) analizu ova tehnologija je sposobna provoditi mnogo preciznija i smislenija predviđanja, tako da je tvrtkama lakše prilagoditi svoju ponudu proizvoda. Big data objedinjuje funkcije istraživanja, analize, prikupljanja i pohrane podataka, umrežavanja i oblaka u jednu cjelinu (slika 3.3.). Neke od ostalih prednosti Big data tehnologije uključuju poboljšanu sigurnost, optimizaciju opterećenja proizvodnih kapaciteta, upravljanje opskrbnim lancem, analizu nesukladnosti i dr. [10]

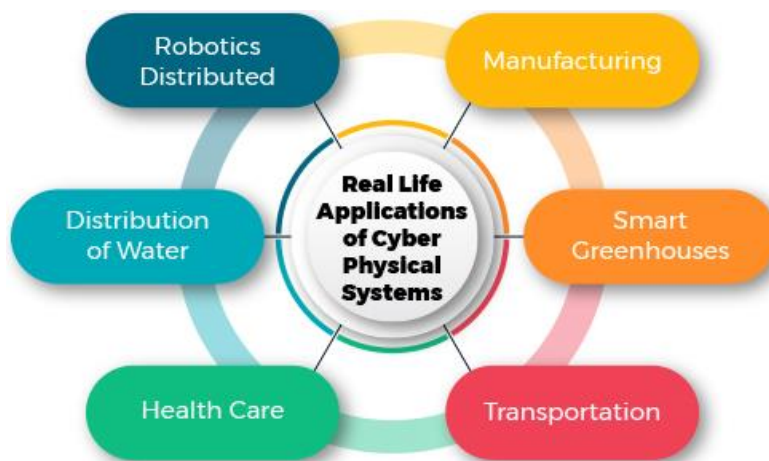


Slika 3.3 Big data funkcije [11]

3.3.3. Kibernetско-fizički sustavi

Kibernetско-fizički sustavi (eng. *CyberPhysical Systems* – CPS) čine temelj Industrije 4.0 a baziraju na povezivanju fizičkih objekata, prostora i strojeva i digitalnih uređaja poput senzora koji prikupljaju i analiziraju podatke na osnovu kojih donose relevantne odluke. Osnovni koncept Kibernetско-fizičkih sustava jest povezivanje stvarnog i virtualnog svijeta uspostavljanjem virtualnog sustava s realnim vremenom informacija pomoću sustava povratne petlje virtualnog informacijskog sustava za rad i kontrolu fizičkih procesa. Kibernetско-fizički sustavi spajanjem virtualnog i fizičkog svijeta stvaraju uistinu umreženi svijet u kojim inteligentni objekti

međusobno komuniciraju i djeluju, te čine temelj Internetu stvari, omogućujući pametne proizvode i usluge. Novi modeli lanca vrijednosti bazirani na kibernetičko-fizičkim sustavima rezultirali su značajnim transformacijama različitih grana industrije i gospodarskih djelatnosti, od automobilske industrije preko energetika do zdravstva. Nadalje, realne su procjene da će se ovi sustavi nastaviti ubrzano razvijati te da će njihov doprinos u budućnosti biti sve značajni u raznim područjima ljudskog rada i djelovanja (na pr. robotike, proizvodnje, poljoprivrede, transporta, zdravstva i dr.) na brojne načine koje je u ovom trenutku teško i zamisliti. [12]



Slika 3.4 Primjene Kibernetičko-fizičkih sustava [13]

3.3.4. Aditivna proizvodnja (3D printeri)

3D printeri imaju širok raspon primjena unutar proizvodnih procesa Industrije 4.0, a mogu se podijeliti u tri kategorije: 1. prototip, 2. alat za proizvodnju i 3. završni proizvod. Obzirom da je 3D printanje još uvijek u ranoj fazi razvoja, danas je samo 23% prototipova izrađeno 3D metodama ispisa. Integracija ove tehnologije omogućuje tvrtkama da iterativno poboljšavaju svoje proizvode uz povećanu fleksibilnost i prilagodljivost. Kada se koristi za proizvodnju alata, poput kalupa za ubrizgavanje, 3D ispis može smanjiti troškove između 10% i 90%. Istovremeno, iskusni zaposlenici koji poznaju proizvodnu liniju mogu brzo pregledati dizajn alata i poboljšati ga pomoću 3D tehnologije, što drastično skraćuje vrijeme procesa.

Prava revolucija 3D printera leži u izradi završnih proizvoda koji su u potpunosti proizvedeni 3D tehnologijama ispisa. Osim toga, danas se uz polimere mogu koristiti i metali poput čelika, aluminija i titana, što znatno proširuje mogućnosti primjene 3D printera. 3D ispis se pokazuje kao idealna metoda za proizvodnju malih serija visoko prilagođenih proizvoda s obzirom da proizvođaču pruža visoku fleksibilnost i brzu isporuku. Također, ova tehnologija otvara mogućnost dijeljenja proizvodnih kapaciteta među različitim poduzećima, čime se optimizira

korištenje resursa i omogućuje prihvaćanje narudžbu koje bi inače bile odbijene zbog ograničenih kapaciteta. Nadalje, 3D ispis će promijeniti način proizvodnje s obzirom da se proizvod može izraditi svugdje gdje dostupan osnovni materijal i pisač, što znači da proizvođačima više neće trebati veliki proizvodni pogoni, već će se proizvodi moći izrađivati na pogodnim mjestima širom svijeta. Danas ima sve veći broj automatiziranih farmi 3D printera, koje poduzeća mogu unajmiti kako bi lakše udovoljila svojim proizvodnim potrebama (slika 3.5). To će rezultirati nižim troškovima distribucije, te učiniti distribuciju i planiranje proizvodnje predvidljivima.



Slika 3.5 Automatizirana farma 3D printera [14]

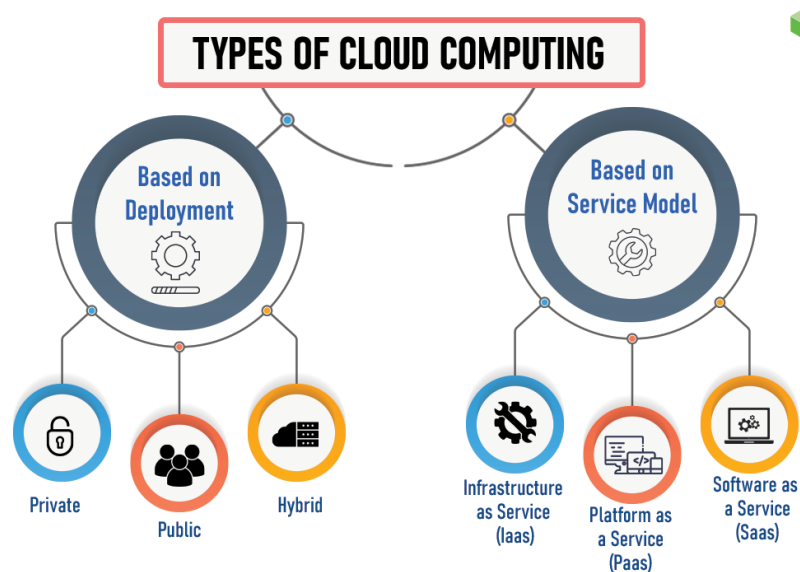
Može se zaključiti da u slučajevima niske do srednje razine proizvodnje 3D ispis predstavlja učinkovitu alternativu tradicionalnim metodama proizvodnje. Također, poboljšanja u propusnosti i troškovima mogu u budućnosti učiniti tehnologije 3D printanja konkurentnima i u proizvodnji velikih serija gdje to još ipak nije isplativo. [12]

3.3.5. Rad u oblaku (eng. *Cloud computing*)

Rad u oblaku ili Cloud computing je pojam uveden 2008. godine, a označava sustav hardvera i softvera koji pruža razne usluge korisnicima jednog ili više podatkovnih centara. Cloud computing omogućava proizvodnim procesima da se oslobode granica fizičke infrastrukture, odnosno omogućava rad s bilo koje lokacije. Na primjer, moguće je da se pomoći računala iz Amerike upravlja proizvodnim procesima u Kini, i obrnuto. Rad u oblaku zapravo znači stvaranje robusne mreže čijim podacima zaposlenici, strojevi, računala i aplikacije mogu pristupiti na jednostavan način.

Cloud computing obuhvaća platformu kao uslugu (PaaS), infrastrukturu kao uslugu (IaaS) i softver kao uslugu (SaaS). Navedene usluge donose korisnicima veliku fleksibilnost i jednostavnost u pristupu poslovnim aplikacijama, podacima i virtualnim radnim okruženjima. Korisnici i poduzeća mogu pohranjivati i obrađivati podatke u privatnim ili u javnim oblacima, ili

u njihovim kombinacijama, što osigurava veću pouzdanost u pristupu podacima. Podjela tipova rada u oblaku prikazana je na slici 3.6.



Slika 3.6 Podjela tipova rada u oblaku [33]

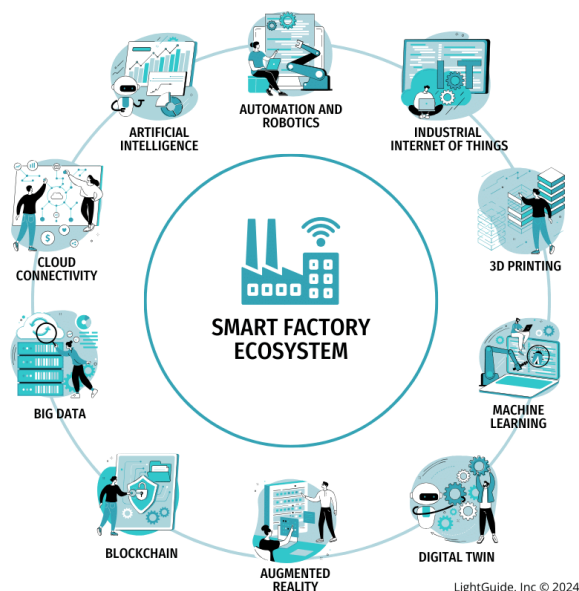
Jedna od glavnih prednosti Cloud computing-a je dijeljenje resursa unutar oblaka u cilju postizanja koherentnosti i ekonomije razmjera. Ova tehnologija imat će velik utjecaj na sve aspekte poslovanja, od upravljanja, planiranja resursa poduzeća i financijskog upravljanja do analiza podataka i obuke radne snage. Cloud će također postati sastavni dio integracije proizvođača u industrijske lance opskrbe. Osim toga, cloud computing će igrati ključnu ulogu u omogućavanju naprednih proizvodnih sustava poput 3D ispisa i Interneta stvari, čime će dodatno transformirati način na koji se proizvodi dizajniraju, proizvode i distribuiraju. [12]

3.3.6. Pametne tvornice

Pametna tvornica je fleksibilan sustav koji može samostalno optimizirati performanse preko šire mreže povezanih uređaja, strojeva i proizvodnih procesa od kojih prikuplja podatke. Na temelju tih podataka tvornica se može prilagoditi i učiti iz novih uvjeta u realnom ili gotovo realnom vremenu, te samostalno upravljati cjelokupnim proizvodnim procesima. Pametne tvornice predstavljaju veliki napredak u području proizvodnje koju karakterizira mogućnost integracije naprednih tehnologija. Definirane kao visoko automatizirana i međusobno povezana proizvodna okruženja, pametne tvornice koriste načela Industrije 4.0, koja obuhvaćaju niz tehnologija uključujući Internet stvari, umjetnu inteligenciju, strojno učenje, robotiku, rad u oblaku i analitiku velikih podataka. Ove tehnologije omogućuju strojevima, sustavima i ljudima neometanu komunikaciju, olakšavajući razmjenu podataka i donošenje odluka u stvarnom vremenu. Na primjer, IoT uređaji mogu pratiti performanse opreme i uvjete okoline, dok algoritmi umjetne

inteligencije analiziraju te podatke kako bi predvidjeli potrebe održavanja i optimizirali rasporede proizvodnje. [12]

Prednosti pametnih tvornica su višestruke. One značajno poboljšavaju učinkovitost iskorištenja zaliha minimiziranjem vremena zastoja i maksimiziranjem protoka, što dovodi do smanjenih operativnih troškova. Poboljšana kontrola kvalitete još je jedna ključna prednost, budući da pametne tvornice mogu otkriti nedostatke rano u proizvodnom procesu, čime se smanjuje stopa otpada i poboljšava kvaliteta proizvoda. Nadalje, agilnost i fleksibilnost pametnih tvornica dopušta proizvođačima brzo reagiranje na tržišne promjene i zahtjeve kupaca. Ova prilagodljivost je veoma bitna na današnjem brzom tržištu, gdje se očekivanja potrošača neprestano mijenjaju. Također, optimiziranjem korištenja resursa i smanjenjem otpada pametne tvornice pridonose održivosti i ublažavanju klimatskih promjena i ekološkim problema. Konačno, integracija naprednih tehnologija ne samo da pojednostavljuje operacije, već i potiče sigurnije radno okruženje smanjujući mogućnost ljudske pogreške i industrijskih nesreća. [16]



Slika 3.7 Tehnologije pametnih tvornica [15]

Pametne tvornice su tehnologija Industrije 4.0 koja se ubrzano razvija otvarajući put prema novoj eri proizvodnje koja daje prioritet fleksibilnosti, kvaliteti i održivosti. Istovremeno, pametne tvornice postaju nezaobilazne za proizvođače koji žele ostati konkurentni na globalnom tržištu, te udovoljiti očekivanjima potrošača. Zbog svega navedenog pametne tvornice danas predstavljaju temeljni dio moderne industrijske prakse.

3.3.7. Vertikalna i horizontalna integracija

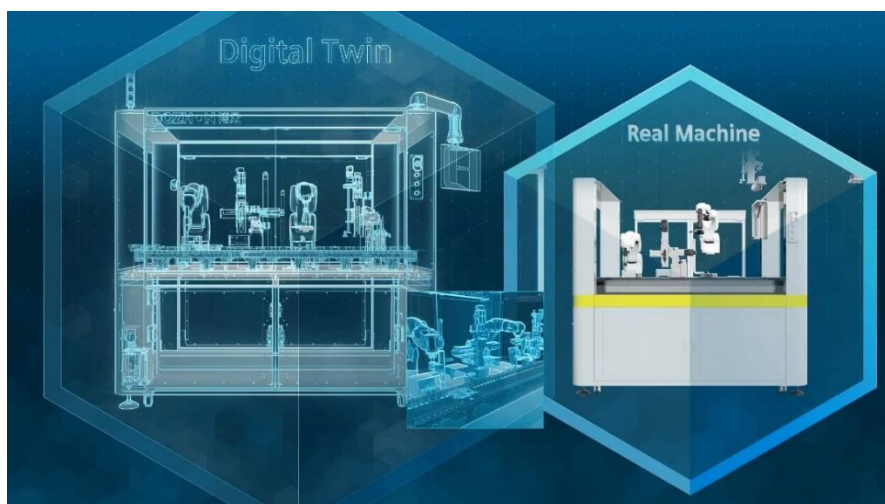
Poduzeće Industrije 4.0 ima visoko integrirane vertikalne i horizontalne aktivnosti. Vertikalna integracija povezuje različite razine proizvodnog procesa, od pogona do izvršnih pozicija, čime se

osigurava nesmetan protok podataka između operativnih i strateških funkcija. Unutar poduzeća se očekuje da više sustava i strojeva automatski komunicira, surađuje i nadopunjuje aktivnosti lanca vrijednosti. Posljedično, vertikalna integracija omogućuje decentraliziranu kontrolu proizvodnje, budući da strojevi upravljaju manufakturom. Uz ovu decentraliziranu kontrolu, praćenje i analiza ostaju centralizirani.

Horizontalna integracija, s druge strane, povezuje različite sudionike u opskrbnom lancu, uključujući dobavljače i kupce, potičući njihovu suradnju i razmjenu informacija. Ova integracija omogućuje zajedničko stvaranje, zajednički razvoj i postavlja specifične zahtjeve: logistika je snažno povezana u opskrbnom lancu, operacije reagiraju na kupce, usluge prate potrošnju, a marketing i prodaja diferenciraju se po kupcu. Pametna logistika sadrži digitalnu integraciju od kraja do kraja, od ulazne logistike do operacija, do kupaca. Kao rezultat toga, protok robe je proces suradnje između partnera uz transparentno korištenje informacija. Stoga se horizontalni procesi pretvaraju u ekosustav za dijeljenje podataka i međusobno stvaranje u mreži vrijednosti. [18]

3.3.8. Digitalni blizanci

Još jedna bitna tehnologija u Industriji 4.0. jest tehnologija digitalnih blizanaca. U svojoj osnovi, digitalni bliznac je vrlo precizna digitalna replika fizičkih objekata, procesa ili čitavih sustava, koja se kontinuirano ažurira u stvarnom vremenu podacima prikupljenim od IoT senzora. Za razliku od tradicionalnih simulacija koje zahtijevaju ručni unos, digitalni blizanci koriste podatke u stvarnom vremenu kako bi odražavali i analizirali stvarne sustave, pritom omogućujući neviđenu točnost i fleksibilnost. Slika 3.8. prikazuje tehnologiju digitalnih blizanaca. S desne strane slike je prikazan pravi stroj, dok je s lijeve strane njegova digitalna kopija u oblaku, odnosno digitalni bliznac.

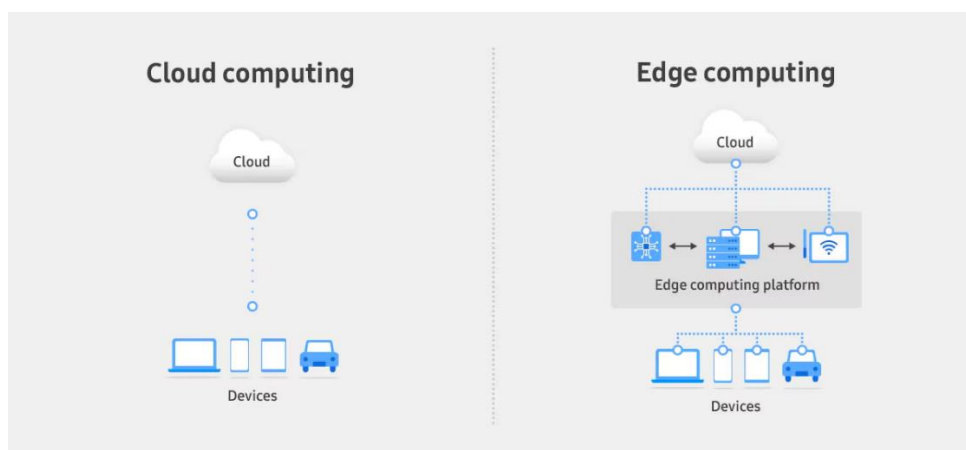


Slika 3.8 Tehnologija digitalnog blizanca [33]

U kontekstu Industrije 4.0, tehnologija digitalnih blizanaca nudi transformacijske prednosti na različitim razinama, od pojedinačnih komponenti do cijelih procesa. Olakšava proizvođačima provođenje virtualnih testova i simulacija, optimizaciju proizvodnih linija, te prediktivno održavanje što značajno povećava učinkovitost, smanjuje zastoje i snižava troškove. Sposobnost simulacije i predviđanja ishoda na temelju stvarnih podataka također poboljšava suradnju timova i financijsko planiranje čime se potiče donošenje informiranijih strateških odluka. Integracijom tehnologije digitalnih blizanaca, industrije mogu postići veću agilnost, inovativnost i konkurentnost, što je čini neizostavnim alatom u procesu digitalne transformacije u Industriji 4.0. [36]

3.3.9. Rubno računalstvo (eng. *Edge computing*)

Rubno računalstvo, popularnije kao Edge computing predstavlja sustav mikro podatkovnih centara postavljenih na rubu mreže, koji omogućuje učinkovitu obradu podataka lokalno, blizu izvora njihovog nastanka. U industrijskim postrojenjima ova infrastruktura može biti značajno poboljšati umreženost svih strojeva i opreme u proizvodnji. Uz pomoć ove tehnologije se pojednostavljuje proces obrade u oblaku, te omogućuje trenutna obrada i analiza podataka s većom brzinom. Za razliku od Cloud Computinga, gdje se podaci obrađuju na udaljenim poslužiteljima, Edge Computing omogućuje obradu podataka u neposrednoj blizini krajnjih korisnika, smanjujući kašnjenje i povećavajući protok informacija. Na slici 3.9. se može vidjeti da su kod Cloud computinga svi uređaji povezani izravno s oblakom. S druge strane, Edge computing sadrži infrastrukturu gdje se informacije prikupljene iz uređaja sortiraju, te se samo relevantne informacije šalju u oblak čime se može značajno smanjiti radno opterećenje podatkovnih centara i objekata računalstva u oblaku.



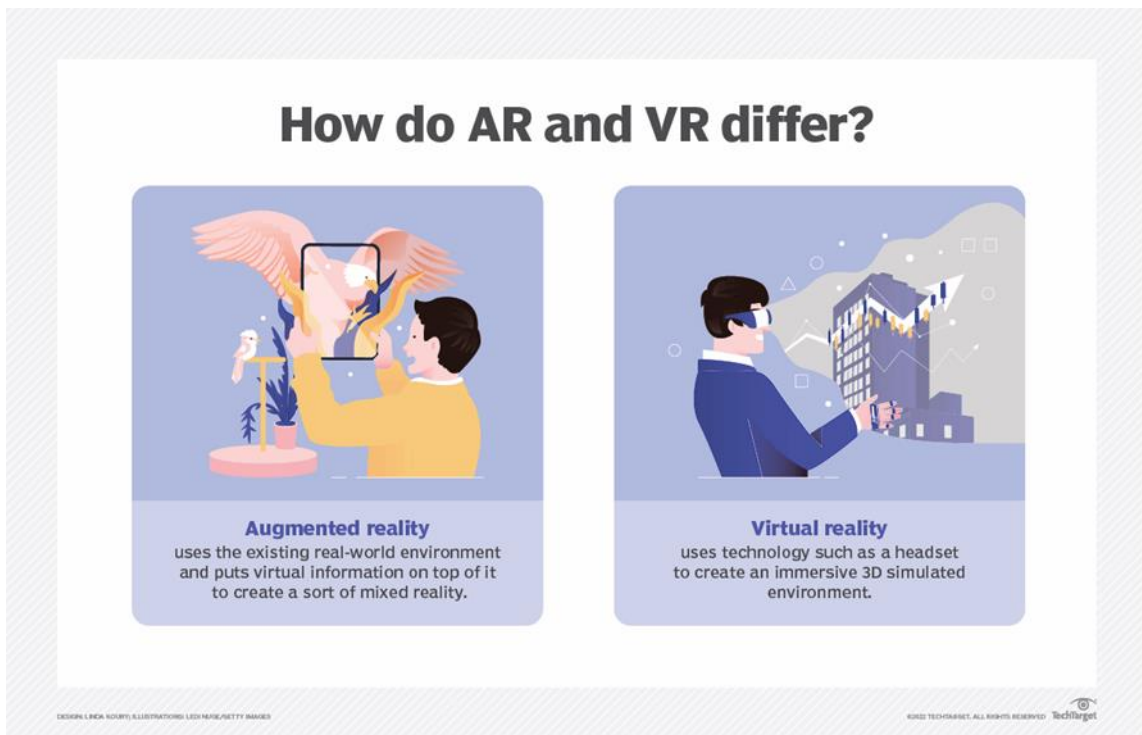
Slika 3.9 Usporedba Cloud i Edge computinga [32]

Ova tehnologija uključuje tri ključne komponente: rubnu povezivost (sposobnost povezivanja s bilo kojim industrijskim sustavom), rubnu inteligenciju (mogućnost obrade i analize podataka na rubu mreže) i rubnu orkestraciju (mogućnost izgradnje, implementacije, upravljanja i ažuriranja aplikacija na rubu mreže). Korištenjem Edge computinga, industrije mogu postići niz značajnih prednosti. Prvo, ono omogućuje donošenje odluka u realnom vremenu, što poboljšava kvalitetu procesa. Drugo, smanjuje kašnjenje, što je ključno za optimalno funkcioniranje sustava Interneta stvari. Treće, edge computing nudi visoku propusnost, ubrzavajući proces preuzimanja i analize podataka, što smanjuje troškove pohrane i opterećenje na pojedinim sustavima. Četvrto, uz pomoć ove tehnologije se povećava interoperabilnost i fleksibilnost, omogućavajući integraciju različitih sustava i tehnologija. I naposljetku, edge computing osigurava pouzdaniju pohranu podataka, smanjujući rizik od kibernetičkih napada.

Edge computing igra ključnu ulogu u industrijskim primjenama, i pogoni mnoge procese u proizvodnji uključujući preventivno održavanje, nadzor temeljen na stanju, provjeru efektivnosti opreme, vizualne sustave, poboljšanje kvalitete i dr.. Primjerice, edge computing može se koristiti za praćenje podataka o brzini, temperaturi i volumenu stroja u realnom vremenu, što omogućuje pravovremene preventivne mjere i smanjuje vrijeme zastoja. U konačnici, kroz Edge Computing industrijska poduzeća mogu unaprijediti prediktivno održavanje, povećati fleksibilnost proizvodnje i potaknuti stvarnu automatizaciju u realnom vremenu, što ih približava potpunoj implementaciji Industrije 4.0. [37]

3.3.10. Proširena stvarnost (eng. *Augmented reality*)

Tehnologija proširene stvarnosti, poznatija kao Augmented reality ili AR tehnologija se definira kao mogućnost kombiniranja informacija o fizičkom okruženju stvarnog svijeta dodavanjem virtualnih informacija koje generiraju računala. AR se smatra tehnologijom budućnosti, koja može razviti "sljedeću generaciju sučelja temeljenog na stvarnosti". Jedna od ključnih prednosti AR-a u odnosu na virtualnu stvarnost (VR) je mogućnost integracije virtualnog okruženja s interakcijama u stvarnom svijetu. Na slici 3.10. se može vidjeti razlika između ove dvije tehnologije. S desne strane je prikazana VR tehnologija koja se koristi uređajima poput VR naočala za stvaranje 3D okruženje u kojem se ljudi mogu kretati i komunicirati s generiranim okruženjem. S druge strane, AR tehnologija drži korisnike u okruženju stvarnog svijeta, ali stavlja virtualne informacije preko njega kako bi stvorio neku vrstu miješane stvarnosti. Korištenjem ove tehnologije, zaposlenici primjerice mogu primiti virtualne informacije ili upute za rukovanje opremom čak i ako nisu stručnjaci za njih, te tako povećati efikasnost svog posla.



Slika 3.10 Razlike AR i VR tehnologije [34]

AR sustavi prolaze kroz četiri glavna koraka: snimanje scene, identifikacija scene za odabir relevantnih informacija, obrada scene i vizualizacija proširenog okruženja. U industrijskim okruženjima, AR se koristi u skladištima, održavanju i drugim operativnim procesima, gdje pomaže korisnicima u donošenju boljih odluka i optimizaciji radnih procedura. Na taj način AR postaje vrlo bitna tehnologija koja može poboljšati učinkovitost rada unutar Industrije 4.0. [17]

4. ERP SUSTAVI UNUTAR INDUSTRIJE 4.0

Pojava Industrije 4.0 donosi sa sobom značajnu transformaciju u proizvodnom okruženju, koju karakterizira integracija naprednih tehnologija kao što su Internet stvari, Kibernetско-fizički sustavi, analitika velikih podataka i pametne tvornice, između ostalih.. Ove tehnologije pretvaraju tradicionalne proizvodne procese u autonomnije i visoko integrirane sustave čije se vođenje temelji na prikupljenim podacima. U ovom kontekstu, sustavi za planiranje resursa poduzeća igraju ključnu ulogu kao pokretači Industrije 4.0 zbog toga što poduzećima omogućuju jednostavnu integraciju ovih tehnologija u postojeće poslovne procese.

4.1. Kako ERP sustavi podržavaju Industriju 4.0

Uz sve veću količinu i raznolikost podataka koje proizvode međusobno povezani uređaji u Industriji 4.0, organizacije zahtijevaju robusne mogućnosti njihovim upravljanjem. ERP sustavi poduzećima pružaju razne prednosti kako bi im pomogli u poboljšavanju operativnih procesa i implementaciji tehnologija Industrije 4.0, te se zbog toga smatraju temeljem organizacije modernih proizvodnih operacija.[17]

4.1.1. Uvidi u poslovanje

U pametnoj tvornici Industrije 4.0 senzori i drugi uređaji prikupljaju podatke s proizvodnih strojeva, vozila ili radnika na terenu. ERP sustav kombinira te informacije s ostalim poslovnim podacima kako bi pružio uvide koje timovi u proizvodnji, prodaji, uslugama, inženjeringu i logistici mogu koristiti za poboljšanje operacija i prognoza. Na primjer, proizvođači hrane i pića mogu koristiti IoT uređaje i softver za praćenje distribucijskog lanca s ciljem brze identifikacije izvora problema s kvalitetom ili pritužbi kupaca na okus i svježinu proizvoda. Nadalje, uvidi dobiveni iz ERP kontrolnih ploča i upozorenja mogu automatski pokretati određene procese. Primjerice, kada zalihe određenog sirovog materijala padnu ispod zadanog nivoa, sustav može automatski generirati narudžbu za dodatne zalihe, čime se smanjuje potreba za ručnim intervencijama i ubrzava proces nabave. Ova automatizacija nabave također smanjuje rizik od pogrešaka i povećava efikasnost u pametnoj tvornici. [19]

4.1.2. Analiza velike količine podataka

Korištenjem IoT opreme otvara se mogućnost integriranja ERP-a i analitike velikih podataka. Prikupljanje podataka u stvarnom vremenu koristeći Big data analitiku ima velik pozitivni utjecaj na ispravno praćenje učinkovitosti proizvodnje, optimizaciju troškova, osiguravanje kontrole kvalitete i razne druge aspekte. Uz pomoć podataka prikupljenih Big data analitikom bi se mogla koristiti i simulacija, tj. prediktivna analitika. Njome bi se obavljalo predviđanje i evaluacija učinka različitih funkcija koje bi bez tehnologije inače bilo teško analitički simulirati. Na taj način bi poduzeća imala priliku lakše testirati i optimizirati svoje resurse.[17]

4.1.3. Modularnost

Modularna priroda ERP sustava dodatno podržava integraciju tehnologija Industrije 4.0. Omogućujući organizacijama implementaciju specifičnih modula prilagođenih njihovim jedinstvenim potrebama, ERP sustavi mogu prihvatiti širok raspon aplikacija Industrije 4.0, od napredne analitike do upravljanja opskrbnim lancem. Na taj način bi proizvođačima bilo moguće postupno usvajanje novih tehnologija, smanjujući rizike povezane s velikim transformacijama.[18]

4.1.4. Skalabilnost

Jedan od glavnih načina kako ERP sustavi podržavaju moderna poduzeća jest olakšavanje skalabilnosti. Proizvođači često imaju poteškoće sa skaliranjem projekata Industrije 4.0 u više tvornica. To se najčešće dešava jer pokušavaju implementirati ove projekte odvojenim jedinicama, izoliranim od središnjeg IT-a. Dobro osmišljen ERP sustav u oblaku može riješiti ove probleme. Takav sustav nudi organizacijama jedinstven skup podataka, bez dupliciranja, koji se koristi za upravljanje proizvodnjom, zalihama, opskrbnim lancem, financijama i drugim funkcijama. Podaci prikupljeni iz proizvodnih pogona ili predmeta u tranzitu se šalju u ERP sustav, te se tako omogućuje pristup informacijama iz bilo kojeg odjela u različitim proizvodnim lokacijama i uredima. [19]

4.1.5. Donošenje odluka u stvarnom vremenu

Vrlo bitna disciplina unutar Industrije 4.0 je prediktivno održavanje strojeva što je mogućnost prijevremenog prepoznavanja kvarova i njihovo uklanjanje. U tome značajno pomažu ERP sustavi zbog svoje sposobnosti prikupljanja i obrade podataka u stvarnom vremenu. U pametnim

tvornicama, IoT senzori mjere vibracije, buku, temperaturu i razne druge signale sa strojeva tijekom proizvodnje i odmah šalju prikupljene podatke u ERP module za prediktivno praćenje. U tim modulima proizvođači mogu pregledati stanje strojeva koji možda trebaju održavanje i planirati servisiranje prije nego što dođe do kvara. To u prosjeku smanjuje troškove održavanja za 25% i kvarove za 70%. Osim toga, ERP sustavi mogu pomoći u usklađivanju proizvodnje s promjenama u potražnji kupaca tako da komuniciraju s proizvodnim sustavima i programiranim regulatorima na strojevima. [19]

4.1.6. Optimiziranje tijeka rada

Industrija 4.0 zahtijeva kontinuirano poboljšanje: proizvođači moraju optimizirati cijeli proces, a ne samo njegove pojedinačne dijelove. ERP sustavi im pomažu u tome jer omogućuju brze odluke temeljene na podacima koje generiraju strojevi, te koordinaciju proizvodnih procesa sa širim poslovnim ciljevima ili partnerima u opskrbnom lancu. Proizvođačima je uz pomoć ERP-a lakše upravljati prilagođenim narudžbama, zbog čega mogu davati realističnije rokove isporuke. Na primjer, Mazda Motor koristi ERP u kombinaciji sa sustavima za upravljanje skladištem i transportom kako bi osoblje moglo upravljati narudžbama, isporukama i računima za auto dijelove putem zajedničkog sučelja. U najboljim ERP sustavima, proizvođači mogu brzo prilagoditi svoje radne tokove specifičnim potrebama poslovanja. Često veliki proizvođači i surađuju s pružateljima ERP usluga kako bi razvili nove specijalizirane funkcije i značajke. [19]

4.2. Implementacija ERP-a u poduzeća Industrije 4.0

Kako bi u potpunosti iskoristile prednosti Industrije 4.0, organizacije moraju razviti specifične karakteristike s fokusom na ERP. Ove karakteristike osiguravaju da ERP sustav ne samo može integrirati tehnologije Industrije 4.0, već i da je sposoban podržati poslovne transformacije potrebne za napredovanje u ovom novom industrijskom okruženju. [18]

4.2.1. Usmjerenost na kupca

Ova karakteristika implicira razumijevanje i predviđanje potreba korisnika i integraciju tih uvida u poslovne procese. Na današnjem visoko konkurentnom tržištu poduzeća moraju prilagoditi svoje proizvode i usluge kako bi zadovoljili specifične zahtjeve kupaca, na primjer pomoću masovne personalizacije proizvoda ili transformacijom proizvoda u usluge, tj. servitizacijom. Na taj način se povećava uključenost kupaca u proizvodnju. Zadatak ERP sustava je da podržavaju proces

prikupljanjem, organiziranjem i analizom velike količine podataka o korisnicima, te da podijele te informacije unutar cijele organizacije.

Kako bi se uspješno postavili ciljevi ERP sustava potrebno je utvrditi potrebe kupca. Ti ciljevi bi trebali držati ravnotežu između servitizacije i masovne personalizacije proizvoda s jedne strane, te sposobnosti razumijevanja zahtjeva kupaca s druge. Pretpostavlja se da organizacije usmjerene na kupce prilagođavaju svoj ERP sustav proizvodnji iniciranoj od strane kupaca. Zbog toga je orijentacija na kupca neophodna za postavljanje strateške vizije ERP sustava. Nadalje, orijentacija na kupca ne samo da obuhvaća potrebe kupca, već i usklađuje interne procese, omogućujući dublje uključivanje kupaca unutar organizacije. [18]



Slika 4.1 Orijentacija na kupca [24]

4.2.2. Međufunkcijska suradnja

Industrija 4.0 zahtijeva visok stupanj suradnje između različitih funkcija unutar organizacije poput proizvodnje, prodaje i dizajna proizvoda. Organizacije s jakim sposobnostima za suradnju mogu zajednički stvarati, definirati zajedničke zahtjeve i zajednički razvijati proizvodnju. Osim toga, svrha suradničkih inicijativa postaje sve više strateška i potrebna za dijeljenje podataka, te osiguravanje tehnološke kompatibilnosti. Iako strojevi igraju sve važniju ulogu, suradnja među različitim funkcionalnim domenama ostaje neophodna za buduće inicijative poduzeća.

ERP sustavi olakšavaju ovu suradnju tako da poslovnim sustavima pružaju jedinstvenu platformu koja obuhvaća razmjenu svih podataka, te integraciju partnera, strojeva i poslovnih jedinica za automatizirano operativno izvršavanje. Na taj način su svi sudionici u poslovanju usklađeni i mogu jednostavnije raditi na postizanju zajedničkih ciljeva, kao što su poboljšanje kvalitete proizvoda ili smanjenje vremena isporuke. Konačno, snažna međufunkcionalna suradnja omogućuje poduzeću usklađivanje inovativnih inicijativa s njihovim poslovnim aktivnostima. [18]



Slika 4.2 Suradnja među funkcijama poduzeća [20]

4.2.3. Fleksibilna IT infrastruktura

Područje Industrije 4.0 je obilježeno konstantnim brzim tehnološkim promjenama, te je od velike važnosti za poduzeća da budu prilagodljiva na tu dinamičnu prirodu moderne industrije. Iako operacije ERP sustava nisu fleksibilne, njihova modularna struktura omogućuje implementiranje novih rješenja i dodataka. ERP bi u poduzeću trebao funkcionirati kao čvrsta osnova s čistim podacima i strukturom, te ograničenim prilagodbama, na koju se mogu nadovezati aplikacije koje diferenciraju poslovanje.

Uloga ERP-a u fleksibilnom IT-u je dvostruka. Prvo, ERP sustav je osnova s ograničenim modifikacijama, što znači da mu nedostaje fleksibilnost. Drugo, zbog svoje modularne infrastrukture ERP sustav omogućuje dodavanje različitih sučelja, modula, dodatnih rješenja i dodataka koji podržavaju brojne inovacije poput gamifikacije, digitalnog blizanca i oblaka. Osim inovacija, ERP strukture prikupljaju podatke iz različitih izvora. Dakle, sam sustav nije fleksibilan, ali omogućuje fleksibilnu infrastrukturu koja je nužna za olakšavanje heterogenih izvora podataka, procesa i inovacija u stvarnom vremenu.

U kontekstu industrije 4.0 od ERP sustava se očekuje da se moraju moći integrirati s novim tehnologijama, te da imaju sposobnost rukovati velikim količinama podataka iz različitih izvora u stvarnom vremenu. Fleksibilna IT infrastruktura osigurava da se ERP sustav može razvijati s potrebama organizacije i nastaviti podržavati inicijative Industrije 4.0. [18]

4.2.4. Upravljanje poslovnim procesima (BPM)

Upravljanje poslovnim procesima (eng. *Business process management* - BPM) je strukturirani pristup poboljšanju procesa koje organizacije koriste kako bi obavile posao, poslužile svoje klijente i stvorile poslovnu vrijednost. Na slici 4.2. prikazane su razne prednosti uspješne implementacije BPM-a. Sposobnost upravljanja poslovnim procesima glavni je prioritet za organizacije, te je neophodno za poslovne transformacije. Za Industriju 4.0, Kibernetско-fizički sustavi, Internet stvari i pametne tvornice značajno utječu na tradicionalne procese u ERP sustavu. S tim inovacijama se planiraju zamijeniti razni operativni procesi, te se tako mijenjaju i aktivnosti dodavanja vrijednosti poduzeća. Naime, transformacija lanca vrijednosti pokreće nove procese i istovremeno eliminira nepotrebne trenutne aktivnosti. Stoga je važno da je organizacija sposobna redefinirati svoje procese, kako bi mogla unaprijediti poslovanje i prilagoditi se novim inovacijama i izazovima.

Međutim, integracija i transformacija procesa je složena i ta složenost ograničava promjene, što je najgora stvar koja se može dogoditi u brzo mijenjajućem okruženju. Zbog toga su specifični procesi temeljeni na modulima s vrlo ograničenim integracijama osnova za Industriju 4.0. Prema tome upravljanje poslovnim procesima osigurava da su operacije točne, jasne i modularno povezane. Budući da je ERP platforma čiji je zadatak integriranje modula u poduzeće, ona je nužna za uspješno upravljanje procesima. [18]



Slika 4.3 Prednosti BPM-a [21]

4.2.5. Projekt menadžment

Projekt menadžment je disciplina koja obuhvaća aktivnosti pokretanja, planiranja, izvršenja, kontrole i ispunjavanja ciljeva projekata (slika 4.3) unutar definiranog budžeta i rokova, najčešće

s timom osoba. Implementacija tehnologija Industrije 4.0 često uključuje velike projekte koji zahtijevaju pažljivo planiranje i izvođenje. Iz tog razloga je projekt menadžment preduvjet za implementaciju ERP-a i transformaciju poslovanja. U Industriji 4.0, projekt uključuje redefiniranje procesa, IT menadžmenta, razne kulturološke promjene i usavršavanje kompetencija. ERP sustavi podržavaju projektni menadžment tako da pružaju strukturirani pristup upravljanju resursima, rokovima i rizicima. Ovaj spoj projektnog menadžmenta i ERP sustava je zato ključan kako bi se inicijative Industrije 4.0 mogle dovršiti na vrijeme i unutar proračuna. [18]



Slika 4.4 Aktivnosti projekt menadžmenta [25]

4.2.6. Organizacijsko učenje

Organizacijsko učenje je sposobnost usvajanja novih načina poslovanja zbog promjenjivog poslovnog okruženja. ERP kao temelj Industrije 4.0 zahtjeva nove kompetencije radne snage. Razvoj i integracija novih složenih aplikacija, povećane međuorganizacijske inicijative i potreba za analizom velikih količina podataka samo su neke od područja koje zahtijevaju nova znanja zaposlenika. Organizacije koje uče usvajaju nove strategije, apsorbiraju znanje i razvijaju nove kompetencije za korištenje poslovne strategije. S druge strane, čak ni napredne tehnologije nisu u stanju nadoknaditi nedostatak organizacijskog učenja. Kako se tehnologije Industrije 4.0 nastavljaju razvijati, organizacije moraju biti sposobne brzo učiti i prilagođavati se. U suprotnom će upasti u ozbiljne probleme i izgubiti konkurentnost na tržištu.

Sposobnost organizacijskog učenja podrazumijeva i kompetencije za uspješno korištenje ERP sustava u poslovnim jedinicama. Specifično, mogućnost poduzeća da se prilagode novim alatima u ERP sustavu, te da iskoriste te alate za prikupljanje podataka kako bi poboljšali ostale

procesu. Budući da podaci u proizvodnji pružaju vrijedne uvide, organizacije moraju naučiti vještine analize tih podataka. Ako organizacija to ne čini, nema smisla ni izvlačiti informacije iz proizvodnje. Iz tog razloga je organizacijsko učenje ključna značajka u Industriji 4.0, i to ne samo za ERP. [18]

4.2.7. Vanjska suradnja

Izgradnja i održavanje snažnih odnosa s partnerima ključno je za uspjeh u Industriji 4.0. Sofisticirani savezi u poslovanju stvaraju konkurentsku prednost zahvaljujući iskustvima zajednice i ostvarenom povjerenju nakon duže suradnje. U poslovnim transformacijama savezi nadopunjuju kompetencije za poslovni razvoj. Na primjer, savezi s dobavljačima sirovina i tehnologije pružaju poduzećima rješenja za složene i specifične aktivnosti koje im nebi bile isplative da ih sami obavljaju.

ERP sustavi podržavaju suradnju s vanjskim partnerima tako da olakšavaju komunikaciju među njima. Ovi sustavi pružaju centraliziranu platformu koja poboljšava dijeljenje podataka i transparentnost, omogućujući svim stranama pristup informacijama o razinama zaliha, rasporedima proizvodnje i statusima narudžbi u stvarnom vremenu. Implementacijom vanjske suradnje u svoje poslovanje poduzeća imaju mogućnosti da iskoriste stručno znanje i resurse drugih kompanija za poticanje inovacija i poboljšanje svojih operacija. [18]

4.2.8. Upravljanje IT sektorom

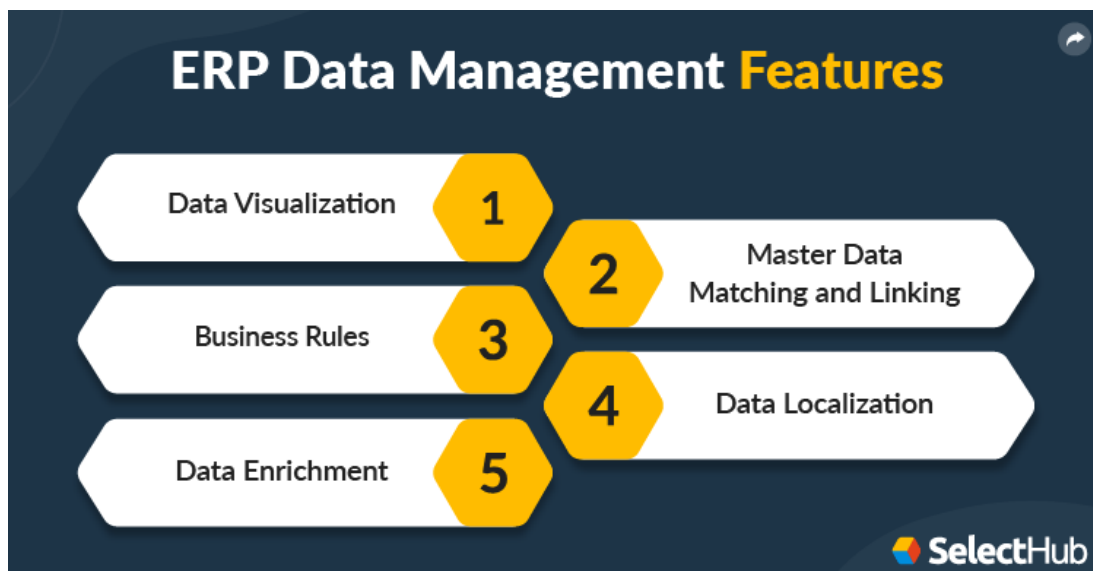
Upravljanje IT sektorom podrazumijeva viziju i vodstvo odbora o tome kako organizacija uključuje sustave i tehnologije u svoje najbitnije poslovne procese i pripadajuću strategiju. IT upravljanje se provodi formalno i neformalno, centralizirano i decentralizirano kroz sve procese unutar poduzeća. Ono je odgovorno za planiranje, ulaganje, donošenje odluka, koordinaciju i kontrolu IT resursa. Tehnologije koje obuhvaća Industrija 4.0 povećavaju stupanj digitalnih resursa, narušavaju postojeće tehnologije i sve više djeluju izvan granica poduzeća. Četvrta industrijska revolucija temelji se na kontinuiranom razvoju IT resursa. Ti resursi transformiraju poslovanje, a time i trenutne IT i poslovne aktivnosti.

Što se ERP sustava tiče, oni djeluju na IT upravljanje na tri načina. Prvo, ERP sustavi podržavaju radnu snagu u proizvodnim procesima, koja se sve više oslanja na digitalne resurse. Drugo, veća ovisnost o tim resursima dovodi do složenijih, prisutnijih i integriranijih ERP sustava u proizvodnom okruženju. Treće, prisutnost i integracija ERP-a sada prelaze granice poduzeća. Proširenje ERP sustava izvan granica poduzeća povećava njegovu ranjivost na sigurnosne prijetnje

i potencijalne pogreške zbog nepravilne upotrebe. Zbog toga, top menadžment preuzima odgovornost za razvoj politika koje će riješiti ove izazove. Sve u svemu, za održavanje uspješnog IT okruženja potrebne su snažne vještine u IT upravljanju, kao i u upravljanju ERP sustavom. [18]

4.2.9. Upravljanje podacima

Sposobnost upravljanja podacima podrazumijeva mogućnost razvoja sofisticirane infrastrukture, upravljanja cijelim životnim ciklusom podataka, te izvlačenja korisnih informacija iz tih podataka. Ona je ključna za automatizaciju, kontrolu i donošenje odluka unutar poduzeća. U distribuciji podataka i povezivanju proizvodnih aktivnosti glavnu ulogu ima ERP. Neke od glavnih značajki ERP u ovom kontekstu su: mogućnost vizualizacije, lokalizacije i obogaćivanja podataka, sposobnost povezivanja matičnih podataka, te postavljanja specifičnih poslovnih pravila (slika 4.4.). Prikupljanje podataka je danas većinom jednostavno pitanje primjene senzora. Međutim, ono što je bitno je ispravna analiza i izvlačenje korisnih informacija iz tih podataka. Ova činjenica sugerira da upravljanje podacima može biti destruktivno u slučaju da se nepravilno koristi, te da je potrebna čvrsta infrastruktura kako bi se postigli ciljevi Industrije 4.0. Uz pravilno upravljanje podacima, informacije izvučene iz ERP sustava su pouzdane i korisne. [18]



Slika 4.5 Značajke upravljanja podacima pomoću ERP-a [26]

4.3. Izazovi ERP-a u Industriji 4.0

Nagli razvoj Industrije 4.0, sa svim brojnim prednostima, predstavlja i nekoliko značajnih izazova za budućnost ERP sustava.

4.3.1. Integracija s novim tehnologijama

Jedan od glavnih izazova je integracija novih tehnologija kao što su umjetna inteligencija, Big data, i Internet stvari. Ove tehnologije, iako nude veliki potencijal, su također veoma složene što se tiče integracije u poslovni sustav. Na primjer, implementiranje umjetne inteligencije u ERP sustave može poboljšati prediktivnu analitiku i procese donošenja odluka, ali također zahtijeva sofisticirane algoritme i načine upravljanja podacima koje mnogim poduzećima mogu biti teški za implementirati. Implementacija ERP-a nije jednokratni napor koji završava kada novi sustav uđe u funkciju. Rješenje se mora nastaviti razvijati kako bi podržalo nove poslovne zahtjeve i tehnologiju. Projektni tim treba nastaviti upravljati projektom nakon implementacije, popravljajući probleme i podržavajući nove zahtjeve kako se pojave. ERP sustavi moraju biti dovoljno fleksibilni da podrže nove funkcionalnosti, što često zahtijeva velika ulaganja u prilagodbu i nadogradnju infrastrukture. [22]

4.3.2. Otpornost zaposlenika prema promjenama

Brza evolucija i digitalna transformacija Industrije 4.0 dodatno stavlja pritisak na ERP sustave da se prilagode tim kontinuiranim inovacijama. Organizacije će morati ulagati u stalnu obuku i razvoj svojih zaposlenika kako bi osigurale da imaju vještine potrebne za iskorištavanje naprednih mogućnosti ERP sustava. Posljedica implementacije modernih ERP sustava je često i otpor prema promjenama. Uvođenje novog sustava uvijek izaziva tjeskobu i otpor među zaposlenicima, a njihov najveći strah je gubitak posla, jer misle da bi novi sustav mogao zamijeniti njihove dosadašnje uloge. Osim toga, zaposlenici se boje da će njihova vrijednost biti umanjena i da više neće imati kontrolu nad poslovnim procesima i postupcima. Dodatno, neki ljudi jednostavno nisu spremni ili ne žele prihvatiti promjenu. Svi ovi razlozi dovode do otpora prema promjenama na modernija rješenja.[23]

4.3.3. Sigurnosni rizici

Još jedan veliki izazov se nalazi u tranziciji na ERP sustave u oblaku. ERP u oblaku nudi prednosti poput isplativosti, skalabilnosti i dostupnosti, ali svakako povećava sigurnosne rizike. Migracija

na platforme u oblaku je popraćena većom ranjivosti poslovnih podataka na proboje i kibernetске napade. Povjerljivost podataka jedno je od najbitnijih pitanja sigurnosti koje se mora uzeti u obzir prije implementacije ERP-a u oblaku. Veće organizacije često se mogu osjećati nesigurno u usvajanju ERP sustava temeljenih na oblaku budući da pružatelji usluga oblaka imaju pristup njihovim podacima. Svako nedolično ponašanje ili kriminalne aktivnosti zaposlenika pružatelja usluga nametnut će značajan rizik za povjerljivost i integritet podataka organizacije.

Neki od ostalih rizika s kojima se poduzeća mogu susresti su: gubitak, krađa ili povreda podataka, pogrešno konfigurirana pohrana, slabosti zajedničke tehnologije, infekcije virusnim softverima i nedovoljan pristup podacima (slika 4.6.). Iz tog razloga organizacije bi trebale detaljno istražiti pružatelje usluga s kojima žele poslovati kako bi bili sigurni da poduzimaju stroge sigurnosne strategije za zaštitu integriteta podataka. [22]



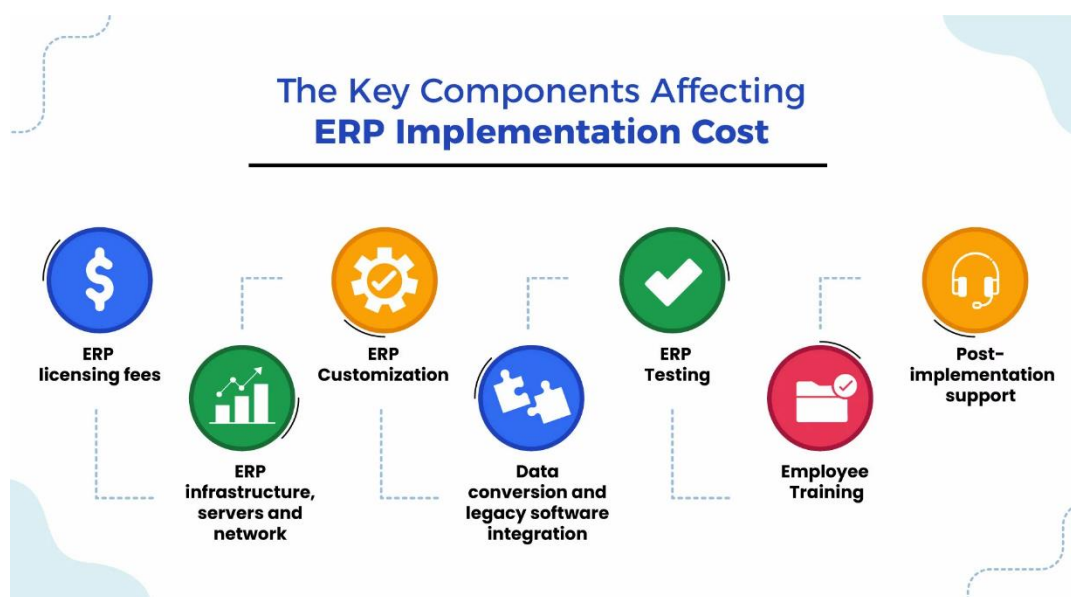
Slika 4.6 Sigurnosni rizici pohrane u oblaku [27]

4.3.4. Troškovi implementacije

Implementacija ERP sustava često zahtijeva velika ulaganja, te korporativno vrijeme i resurse (infrastrukturu, kvalificirano osoblje itd.). Početni troškovi za postavljanje i podršku vlasničkih ERP sustava mogu biti značajni. To uključuje troškove vezane uz softverske licence, hardversku infrastrukturu i konzultantske usluge potrebne za implementaciju. Tvrtke zatim moraju izdvojiti resurse za obuku osoblja kako bi se mogli učinkovito služiti novim ERP sustavom. Složenost ERP sustava može dovesti do dodatnih troškova, osobito ako je potrebna prilagodba sustava za

ispunjavanje specifičnih poslovnih potreba. Prilagodba ERP rješenja može biti dugotrajna i često zahtjeva dodatna financijska ulaganja.

Međutim implementacija ERP sustava najčešće rezultira poboljšanom učinkovitosti, smanjenim operativnim troškovima i poboljšanim mogućnostima donošenja odluka. Iako zahtijevaju visoka inicijalne troškove, povrat ulaganja (eng. *Return on Investment* - ROI) u dugoročnom razdoblju ERP sustava smatra se neprocjenjivim i za srednje i za velike tvrtke. Faktori koji utječu na troškove implementacije ERP-a su prikazani na slici 4.7. [28,29]



Slika 4.7 Faktori troškova implementacije ERP sustava [29]

4.3.5. Velike količine podataka

Jedna od značajki Industrije 4.0 je generiranje ogromne količine podataka iz različitih izvora poput senzora, proizvodnih strojeva, pametnih uređaja, IoT mreže, te poslovnih aplikacija. Ovi podaci su najčešće heterogeni, što znači da dolaze u različitim formatima, brzinama i strukturama, od nestrukturiranih podataka iz e-pošte i dokumenata, do visoko strukturiranih koji su uzeti ravno iz baze podataka. ERP sustavi moraju moći integrirati sve te podatke, uz visoku razinu točnosti i kvalitete. U suprotnom, neispravni podaci mogu dovesti do pogrešnih odluka s ozbiljnim posljedicama za poslovanje. Također, da bi se mogla obraditi tolika količina podataka u poduzeću mora već biti uspostavljena napredna infrastruktura i tehnologije poput distribuirane baze podataka i pohrane u oblaku. Na kraju, za analizu i pretvorbu tih podataka u korisne informacije o poslovanju, potrebni su napredni alati za poslovnu inteligenciju, prediktivnu analitiku i umjetnu inteligenciju. Iz tih razloga, upravljanje ovim složenim skupovima podataka predstavlja jedan od najvećih izazova za implementaciju ERP sustava u Industrij 4.0. [28]

U zaključku, glavni izazovi ERP sustava odnose se na integraciju novih tehnologija, povećane rizike kibernetičke sigurnosti prilikom prijelaza na usluge u oblaku, te uspravljanje velikom količinom podataka. Pritom iziskuju visoka početna ulaganja, te potrebu za kontinuiranim razvojem, obukom i motivacijom zaposlenika. Efektivno rješavanje ovih izazova bit će ključno za organizacije koje žele u potpunosti iskoristiti prednosti ERP sustava u razdoblju Industrije 4.0.

4.4. Budućnost ERP sustava

4.4.1. Evolucija ERP sustava

Budućnost ERP sustava bit će usmjerena na povećanje učinkovitosti, skalabilnosti i brzine poslovanja. Stoga se klasični ERP sustavi moraju nadograditi kako bi bili kompatibilni s tehnologijama Industrije 4.0. Primjerice, pametne tvornice temeljene na senzorima i drugim inteligentnim uređajima postat će sve zastupljenije i zahtijevat će integraciju s ERP sustavima. Dok su klasični ERP sustavi prvotno dizajnirani za lokalne implementacije, ERP sustavi temeljeni na oblaku pružaju bolje mogućnosti integracije s modernim tehnologijama poput velikih podataka i umjetne inteligencije. Stoga bi budućnost ERP sustava trebala ići u smjeru rješenja koja su skalabilna i prilagodljiva specifičnim potrebama poduzeća. Integracija umjetne inteligencije, strojnog učenja i napredne analitike bit će ključna za razvoj takvih fleksibilnih ERP platformi. Budući ERP sustavi ne bi trebali uključivati samo alate za operativno upravljanje, već bi morali integrirati i alate za podršku pri odlučivanju koji koriste umjetnu inteligenciju kako bi donosili optimalne odluke. [31]

4.4.2. Održivost ERP sustava

Posljednjih je godina proizvodna industrija prošla kroz značajnu promjenu prema održivosti, koja je na samom vrhu svjetskih društvenih i političkih agendi. Kako se proizvodna industrija sve više fokusira na ekološku odgovornost, postalo je ključno da proizvođači osiguraju učinkovite, održive i regulativno usklađene proizvodne procese. Iz tog razloga budući ERP sustavi trebaju nadilaziti tradicionalno upravljanje resursima i integrirati funkcionalnosti za praćenje održivosti, uključujući emisije, potrošnju energije, otpad i druge ekološke parametre. Integracijom metrike održivosti u ERP sustave, proizvođači mogu optimizirati korištenje resursa, identificirati područja za poboljšanje i implementirati ekološki prihvatljive prakse. Osim toga, uvid u parametre održivosti u stvarnom vremenu također pomaže u usklađivanju s ekološkim propisima i postizanju ciljeva održivosti. U tom pogledu, buduća generacija ERP sustava će prioritizirati ekološku održivost na način da pružaju sredstva za praćenje proizvoda i procesa baziranih na modernim

konceptima poput Digitalnih putovnica proizvoda (eng. *Digital Product Passport* - DPP). Može se zaključiti da budući ERP sustavi trebaju integrirati održivost u srž svakog poslovnog sustava, ne samo da optimiziraju svoje operacije, već i da aktivno doprinose očuvanju okoliša i ispunjavanju sve strožih ekoloških standarda. [31]

4.4.3. Softver kao usluga

Pojava računarstva u oblaku dovela je do rastućeg trenda implementacije sustava softvera kao usluge (eng. *Software as a Service* - SaaS) u proizvodnoj industriji. SaaS ERP rješenja isporučuju se putem oblaka, uz model pretplate. Ovaj trend, iako prisutan već neko vrijeme, sve više dobiva na značaju zbog toga što omogućuje proizvođačima da izbjegnju velika ulaganja u infrastrukturu potrebnu za lokalnu implementaciju ERP sustava. Osim toga, SaaS ERP rješenja također rješavaju neke od problema tradicionalnih ERP sustava, poput skalabilnosti, dostupnosti i sigurnosti. Stoga proizvođači mogu iskoristiti SaaS ERP sustave za sveobuhvatnije upravljanje opskrbnim lancem, osiguravajući da njihovi procesi budu agilni, automatizirani i manje ovisni o ručnoj intervenciji. Na današnjem tržištu najpoznatiji pružatelji SaaS ERP rješenja su: Oracle ERP Cloud, SAP Business One, Sage 100 Cloud, SAP S/4HANA i Infor ERP (Slika 4.8.). [31]



Slika 4.8 Najveći ERP sustavi prema tržišnom udjelu [30]

4.4.4. Hibridna ERP rješenja

Danas organizacije nastoje integrirati softver smješten u oblaku u svoje lokalne ERP sustave, kako bi poboljšali suradnju između svojih zaposlenika i operacija. U tom kontekstu, hibridni ERP može pružiti najbolje od oba svijeta, s besprijekornom integracijom podataka na svim razinama. Hibridni ERP omogućuje proizvođačima da zadrže agilnost koju nudi cloud ERP, dok za poslovno kritične procese koriste lokalna rješenja. U budućnosti će mnoge industrijske organizacije vjerojatno birati hibridna ERP rješenja, što im omogućuje postepeni prelazak na oblak kad odluče da je za to pravi trenutak. [31]

4.4.5. Otpornost lanca opskrbe i prediktivno održavanje

Posljednjih godina otpornost opskrbnog lanca postala je velika briga za proizvođače. Uzmimo za primjer godinu izbijanja pandemije COVID19, kada su proizvođači bili suočeni s velikim prekidima u svojim opskrbnim lancima, te su bili prisiljeni razviti brze proizvodne odgovore. Ova je kriza otkrila potrebu za povećanjem otpornosti opskrbnog lanca kako bi se osiguralo da se industrijska organizacija može učinkovito prilagoditi potencijalnim poremećajima i ublažiti rizike povezane s njima.

ERP sustavi već imaju ključnu ulogu u jačanju otpornosti opskrbnog lanca, budući da omogućuju tvrtkama praćenje učinka dobavljača, predviđanje potražnje, praćenje razine zaliha i reagiranje na fluktuacije potražnje i ponude. Budući ERP sustavi mogu značajno doprinijeti otpornosti opskrbnog lanca kroz upravljanje informacijama o potencijalnim rizicima. To uključuje prikupljanje i analizu podataka o faktorima poput prirodnih katastrofa, geopolitičkih događaja, kašnjenja u transportu i rizika dobavljača, i to u stvarnom vremenu. Analiza ovih podataka može pomoći tvrtkama da prepoznaju potencijalne poremećaje, procijene njihov učinak i razviju planove za ublažavanje rizika. Ovaj proaktivni pristup upravljanju poremećajima može poboljšati agilnost i otpornost proizvodnih lanaca vrijednosti, dok u isto vrijeme omogućuje tvrtkama da učinkovito odgovore na nepredvidive događaje.

Također treba uzeti u obzir da se zbog Industrije 4.0 povećava važnost prediktivnog održavanja za poslovne sustave. To je zato što prediktivno održavanje daje uvide o performansama strojeva i imovini poduzeća u stvarnom vremenu, uključujući informacije o potrebnim rasporedima održavanja. Stoga će budući ERP sustavi morati pružati podršku za predviđanje kvarova kako bi proizvođači mogli održati integritet i pouzdanost svoje opreme. [31]

4.4.6. Korisničko iskustvo

Korisničko iskustvo oduvijek je igralo bitnu ulogu u proizvodnoj industriji, a s razvojem inteligentnih sustava, strojnog učenja i proizvodnje orijentirane prema kupcima, ono postaje još važnije. Zbog toga, budući ERP sustavi moraju ići korak dalje od tradicionalnog upravljanja resursima i uključiti parametre korisničkog iskustva u svoju funkcionalnost. To uključuje, među ostalim, poboljšanu automatizaciju, komunikaciju i povećanje vidljivosti podataka povezanih s kupcima u svakom koraku proizvodnog procesa. ERP sustavi bi također trebali sve češće sadržavati i nuditi CRM (*Customer Relationship Management*) operacije. CRM u slobodnom prijevodu znači “Upravljanje odnosa s kupcima“, te predstavlja softverski sustav koji se koristi za izgradnju i upravljanje odnosima s klijentima. Integracijom metrika korisničkog iskustva u ERP sustave, proizvođači mogu optimizirati svoje procese, proizvode i usluge kako bi zadovoljili zahtjeve kupaca. Osim toga, analizom tih parametara u stvarnom vremenu poduzeća mogu brže reagirati na promjene u preferencijama kupaca i prilagoditi svoje poslovanje. [31]

Tijekom proteklih desetljeća, ERP sustavi su se ustalili kao nezamjenjivi dio proizvodne industrije. No, s pojavom Industrije 4.0, proizvodnja se transformira, a ERP sustavi moraju pratiti te promjene. Budućnost ERP-a leži u razvoju inteligentnih i fleksibilnih rješenja koja će optimizirati automatizaciju, kontrolu i upravljanje poslovnim procesima. Da bi zadovoljili specifične potrebe poduzeća, budući ERP sustavi trebaju biti fokusirani na pružanje vrhunskog korisničkog iskustva, osiguravanje otpornosti opskrbnog lanca, uvođenje prediktivnog održavanja, promicanje održivosti i usklađivanje s relevantnim regulativama. Prihvatanjem inovativnih rješenja poput softvera kao usluge i hibridnih ERP sustava, proizvođači mogu iskoristiti puni potencijal Industrije 4.0 i prilagoditi se novim tehnološkim trendovima.

5. ZAKLJUČAK

Iz ovog rada može se zaključiti da su ERP sustavi postali neizostavni alat za moderno poslovanje, posebno u kontekstu Industrije 4.0. Tradicionalni ERP sustavi, koji su prvenstveno bili usmjereni na upravljanje resursima unutar organizacija, značajno su se razvili u posljednjim desetljećima. S razvojem tehnologija poput Interneta stvari, Big Data analitike i umjetne inteligencije, ERP sustavi su proširili svoju ulogu i postali ključni za integraciju i koordinaciju složenih proizvodnih procesa. Ova evolucija omogućila je organizacijama i optimizaciju unutarnjih operacija i bolju interakciju s vanjskim partnerima, što je od velike važnosti za uspjeh u globalno povezanom gospodarstvu.

Industrija 4.0 donosi novu razinu digitalizacije i automatizacije, gdje su podaci postali najvažniji resurs. U tom kontekstu, ERP sustavi omogućuju prikupljanje, analizu i korištenje podataka u realnom vremenu, zbog čega je brže i preciznije donošenje odluka mnogo lakše. Na primjer, kroz integraciju IoT senzora, ERP sustavi omogućuju praćenje performansi strojeva i proaktivno održavanje, što smanjuje rizik od kvarova i optimizira učinkovitost proizvodnih kapaciteta.

Međutim, usvajanje i implementacija naprednih ERP sustava nosi i određene izazove. Integracija novih tehnologija najčešće zahtijeva značajna ulaganja, kako u infrastrukturu tako i u obuku zaposlenika. Osim toga, promjene u načinu poslovanja koje ERP sustavi donose mogu izazvati otpor među zaposlenicima, što zahtijeva pažljivo upravljanje ljudskim resursima. Također, implementiranjem ERP sustava u oblaku znatno se povećavaju sigurnosni rizici vezani za podatke.

Unatoč tim izazovima, jasno je da će ERP sustavi biti od izuzetne važnosti za budućnosti poslovanja. Kako se industrija nastavlja razvijati prema sve više digitaliziranim i integriranim sustavima, ERP sustavi će igrati ključnu ulogu u olakšavanju optimizacije poslovanja proizvodnih organizacija. Prema tome, ulaganje u moderne ERP sustave i njihova prilagodba specifičnim potrebama organizacije postaje nužnost za sve poslovne sustave koji žele ostati konkurentni na tržištu.

6. LITERATURA

- [1]. Beleţ T., & Purcărea A. A.: The Evolution of Enterprise Resource Planning Systems, 2017.
- [2]. Vuković A., Džambas I., Blažević. D: Razvoj ERP-koncepta i ERP-sustava, 2007.
- [3]. S interneta, <https://inpro.hr/zbog-cega-je-erp-u-potreban-efikasan-dms-sustav/>, 23.8.2024.
- [4]. Groumpos P. P.: A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions, 2021.
- [5]. S interneta, <https://strojarskaradionica.wordpress.com/2018/05/30/prilagodimo-odrzavanje-4-industrijskoj-revoluciji>, 24.8.2024.
- [6]. What is industry 4.0?, s Interneta, <https://www.sap.com/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>, 24.8.2024.
- [7]. What is industry 4.0?, <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>, 24.8.2024.
- [8]. Gillis A., Industrial Internet of things, s Interneta, 24.8.2024.
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT>,
- [9]. S interneta, <https://www.rfpage.com/applications-of-industrial-internet-of-things/>, 24.8.2024.
- [10]. Why is Big Data the core of the 4.0 industry?, s Interneta, <https://nexusintegra.io/big-data-industry-4-0/>, 25.8.2024.
- [11]. S Interneta, <https://www.linkedin.com/pulse/big-data-poonam-rathore>, 25.8.2024.
- [12]. Oulovsky N., Utjecaj koncepta Industrija 4.0 na razvoj distribucijskih sustava, 2022.
- [13]. S Interneta, <https://www.analyticssteps.com/blogs/what-are-cyber-physical-systems>, 25.8.2024.
- [14]. S Interneta, <https://printer3d.hr/novosti/razvoj-u-3d-printanju-koji-bi-mogao-promijeniti-industriju/>, 25.8.2024.
- [15]. S Interneta, <https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/your-guide-to-smart-factories-and-industry-4-0/>, 26.8.2024.
- [16]. Burke R. i drugi: The smart factory Responsive, adaptive, connected manufacturing, 2017.
- [17]. Gärvalla M., Ternai K.: The Impact of Industry 4.0 to the ERP Approach, 2019.
- [18]. Smits B. S.: ERP capabilities enabling Industry 4.0, 2017.
- [19]. Ricadela A., s Interneta, <https://www.oracle.com/industrial-manufacturing/erp-industry-4/>, 1.9.2024.

- [20]. S Interneta, <https://medium.com/@olafioyeseiyifunmi/cross-functional-collaboration-in-product-management-39b7fc3f7e7a>, 28.8.2024.
- [21]. S Interneta, <https://inpro.hr/sto-je-upravljanje-poslovnim-procesima-bpm-i-zastovam-je-potrebno/>, 28.8.2024.
- [22]. Al-Amin M. i dr.: History, Features, Challenges, and Critical Success Factors of Enterprise Resource Planning (ERP) in The Era of Industry 4.0, European Scientific Journal, 19, 59, 2023.
- [23]. Nhu P., s Interneta, Top 7 Common ERP Implementation Challenges, <https://www.beehexa.com/blog/7-common-erp-implementation-challenges>, 29.8.2024.
- [24]. S Interneta, <https://rockcontent.com/blog/customer-orientation/>, 29.8.2024.
- [25]. S Interneta, <https://klemmuciliste.hr/portfolio/projektne-menadzment/>, 29.8.2024.
- [26]. S Interneta, <https://www.selecthub.com/enterprise-resource-planning/erp-data-management/>, 29.8.2024.
- [27]. S Interenta, <https://www.terranovasecurity.com/blog/how-secure-is-cloud-storage>, 30.8.2024.
- [28]. Gülseçen S. i dr.: Industry 4.0 from the MIS Perspective, 2017.
- [29]. S Interneta, <https://www.vnmtsolutions.com/a-complete-guide-to-controlling-erp-implementation-cost/>, 31.8.2024.
- [30]. S Interneta, <https://www.selecthub.com/enterprise-resource-planning/erp-market/>, 31.8.2024.
- [31]. Kapoor S., The Future of ERP Systems, s Interneta, <https://www.itexchangeweb.com/blog/the-future-of-erp-systems/>, 31.8.2024.
- [32]. S Interneta, <https://semiconductor.samsung.com/support/tools-resources/dictionary/edge-computing/>, 4.9.2024.
- [33]. S Interneta, <https://blog.iotflows.com/industry-4-0-iot-and-digital-twin-the-journey-towards-a-smart-manufacturing-future/>, 4.9.2024.
- [34]. S Interneta, <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>, 5.9.2024.
- [35]. S Interneta, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/augmented-reality-AR>, 5.9.2024.
- [36]. Speicher T. L., Defranco, J. F.: Industry 4.0 and Digital Twins. Computer, 2023.
- [37]. Bigelow S, What is edge computing? Everything you need to know, s Interneta, <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>, 4.9.2024.

7. POPIS SLIKA

Slika 2.1 MRP sustav planiranja	3
Slika 2.2 MRP zatvorene petlje.....	4
Slika 2.3 Tri tijeka u proizvodnom poslovnom sustavu	5
Slika 2.4 Poslovne funkcije unutar ERP-a.....	6
Slika 2.5 Faze razvoja ERP sustava.....	7
Slika 3.1 Četiri industrijske revolucije	10
Slika 3.2 Industrijski internet stvari	11
Slika 3.3 Big data funkcije	12
Slika 3.4 Primjene Kibernetско-fizičkih sustava	13
Slika 3.5 Automatizirana farma 3D printera	14
Slika 3.6 Podjela tipova rada u oblaku	15
Slika 3.7 Tehnologije pametnih tvornica	16
Slika 3.8 Tehnologija digitalnog blizanca.....	17
Slika 3.9 Usporedba Cloud i Edge computinga	18
Slika 3.10 Razlike AR i VR tehnologije	20
Slika 4.1 Orijentacija na kupca	24
Slika 4.2 Suradnja među funkcijama poduzeća	25
Slika 4.3 Prednosti BPM-a	26
Slika 4.4 Aktivnosti projekt menadžmenta	27
Slika 4.5 Značajke upravljanja podacima pomoću ERP-a	29
Slika 4.6 Sigurnosni rizici pohrane u oblaku	31
Slika 4.7 Faktori troškova implementacije ERP sustava	32
Slika 4.8 Najveći ERP sustavi prema tržišnom udjelu	34

8. POPIS OZNAKA I KRATICA

AI – Artificial Intelligence – Umjetna inteligencija

BPM - Business process management - Upravljanje poslovnim procesima

CPS – CyberPhysical Systems – Kibernetičko-fizički sustavi

CRM – Customer Relationship Management – Upravljanje odnosa s kupcima

Č.I.R. – Četvrta industrijska revolucija

D.I.R. – Druga industrijska revolucija

DaaS – Data as a Service – Radna površina kao usluga

DPP – Digital Product Passport – Digitalna putovnica proizvoda

ERP – Enterprise Resource Planning - Planiranje resursa poslovnog sustava

ES – Enterprise Systems

IaaS - Infrastructure as a service – Infrastruktura kao usluga

IIoT – Industrial Internet of Things – Industrijski internet stvari

IoT – Internet of Things – Internet stvari

IT – Information Technology – Informatička tehnologija

MRP – Material Resource Planning - Planiranje materijalnih potreba

MRP II - Material Resource Planning - Planiranje resursa proizvodnje

P.I.R. – Prva industrijska revolucija

PaaS – Platform as a Service – Platforma kao usluga

SaaS – Software as a service – Softver kao usluga

T.I.R. – Treća industrijska revolucija

9. SAŽETAK

Završni rad se bavi razvojem i evolucijom ERP sustava, te njihovom ulogom u kontekstu Industrije 4.0. U njemu se analizira povijesni razvoj ERP sustava, počevši od ranih sustava za planiranje materijalnih potreba do suvremenih ERP sustava koji integriraju različite poslovne procese u jednu cjelinu. Također se obrađuju najbitnije tehnologije Industrije 4.0 poput Interneta stvari, analitike velike podataka, kibernetско-fizičkih sustava, 3D printera, rada u oblaku i pametnih tvornica. U središtu rada je analiza međudjelovanja između ERP sustava i tehnologija Industrije 4.0, s fokusom na to kako ERP sustavi podržavaju digitalizaciju i automatizaciju proizvodnih procesa i optimiziraju poslovanje. Zaključno se opisuje budućnost ERP sustava u kontekstu Industrije 4.0, naglašavajući potrebu za njihovom evolucijom kako bi se uspješno integrirali s novim tehnologijama i odgovorili na izazove modernog poslovanja.

Ključne riječi: ERP sustavi, Industrija 4.0, Internet stvari, veliki podaci, pametna tvornica, umjetna inteligencija, rad u oblaku, digitalizacija, automatizacija

ABSTRACT

This paper deals with the development and evolution of ERP systems, and their role in the context of Industry 4.0. It analyzes the historical development of ERP systems, starting from early systems for planning material needs to modern ERP systems that integrate different business processes into one whole. The most important technologies of Industry 4.0 such as the Internet of Things, Big Data analytics, Cyber-Physical systems, 3D printers, Cloud computing and Smart factories are also covered. The main part of the work is the analysis of the interaction between ERP systems and Industry 4.0 technologies, with a focus on how ERP systems support the digitization and automation of production processes and optimize operations. In conclusion, the future of ERP systems in the context of Industry 4.0 is described, emphasizing the need for their evolution in order to successfully integrate with new technologies and respond to the challenges of modern business.

Keywords: ERP systems, Industry 4.0, Internet of Things, big data, smart factory, artificial intelligence, cloud work, digitization, automation