

# Principi industrije 4.0 u praksi

---

**Simonović, Stefan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:975770>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown



**Istarsko veleučilište**  
Università Istriana  
di scienze applicate

Stefan Simonović

## **PRINCIPI INDUSTRIJE 4.0 U PRAKSI**

Završni rad

Pula, 2022.



**Istarsko veleučilište**  
Università Istriana  
di scienze applicate

Stefan Simonović

## **PRINCIPI INDUSTRIJE 4.0 U PRAKSI**

Završni rad

**JMBAG:** 023008290 , redoviti student

**Studijski smjer:** Preddiplomski stručni studij Mehatronike

**Predmet:** Upravljanje i regulacija

**Mentor:** Sanja Grbac Babić, mag. računarstva, viši predavač

Pula, rujan 2022.

## IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Ovom izjavom potvrđujem da sam završni rad pod nazivom “Principi industrije 4.0 u praksi” napisao samostalno uz pomoć mentorice Sanje Grbac Babić v.pred., primjenjujući znanje stečeno tijekom studiranja te stručnu literaturu koja je navedena na kraju rada. Završni rad je napisan u duhu hrvatskog jezika.

Student: *Stefan Simonović*

Potpis: \_\_\_\_\_

## SAŽETAK

Prilikom pojave svake industrijske revolucije način industrijske proizvodnje radikalno se mijenja. U prvoj industrijskoj revoluciji javlja se parni stroj, druga je karakterizirana masovnom proizvodnjom i elektrifikacijom, treća revolucija reakcija je na izum tranzistora i početak digitalizacije. Četvrta industrijska revolucija komponira postojeće tehnologije razvijene u trećoj industrijskoj revoluciji te ih optimizira kako bi dobili maksimalni učinak. Temelj tome je Internet stvari koji povezuje stvari i ljude ne preko fizičkog već digitalnog svijeta, računalni oblak koji pruža skladištenje i pristup podataka gdje god se nalazili, analitika enormne količine podataka, robotika, aditivna proizvodnja i sl. Rezultat su pametne tvornice, koje bez ljudskog uplitanja izvode proizvodni proces te ga unaprjeđuju i samostalno otklanjaju probleme. Proizvodnja je povećana, kvalitetnija i prilagodljiva što rezultira većem zadovoljstvu kupaca. U skladu sa time obrađen je primjer lučkih kontejnerskih terminala gdje se primjenjuju principi i temeljne tehnologije Industrije 4.0.

## KLJUČNE RIJEČI

Industrija 4.0, Internet stvari, automatizacija, robotika.

## ***ABSTRACT***

At the onset of each industrial revolution, the way of industrial production changes radically. In the first industrial revolution, the steam engine appears, the second is characterized by mass production and electrification, the third revolution is a reaction to the invention of the transistor and the beginning of digitization. The fourth industrial revolution combines the existing technologies developed in the third industrial revolution and optimizes them to obtain maximum effect. The basis for this is the Internet of Things, which connects things and people not through the physical world but through the digital world, cloud computing that provides storage and access to data wherever they are, analytics of enormous amounts of data, robotics, additive manufacturing, etc. The result is smart factories, which without human interventions carry out the production process and improve it and eliminate problems independently. Production is increased, better quality and adaptable, which results in greater customer satisfaction. Accordingly, the example of port container terminals where the principles and core technologies of Industry 4.0 are applied was processed.

## ***KEYWORDS***

Industry 4.0, internet of things, automation, robotics.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. POVIJEST INDUSTRIJSKIH REVOLUCIJA .....	2
2.1. Prva industrijska revolucija .....	2
2.2. Druga industrijska revolucija .....	3
2.3. Digitalna industrijska revolucija .....	4
3. INDUSTRIJA 4.0.....	5
3.1. Značajne tehnologije Industrije 4.0.....	6
3.1.1. Analitika velikih podataka .....	6
3.1.2. Računarstvo u oblaku.....	7
3.1.3. Robotika i automatizacija .....	9
3.1.4. Proširena stvarnost .....	10
3.1.5. Aditivna proizvodnja .....	11
3.1.6. Internet of Things .....	12
3.1.7. Principi industrije 4.0 .....	14
4. PRIMJER PRINCIPA INDUSTRIJE 4.0 U LUČKIM TERMINALIMA.....	16
4.1. Lučki kontejnerski terminali.....	17
4.2. Automatizacija PCT .....	18
4.3. Razine automatizacije: automatizacija i poluautomatizacija .....	20
5. ZAKLJUČAK .....	23
LITERATURA .....	24
POPIS SLIKA .....	26

## POPIS KRATICA

KRATICA	OPIS
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>RFID</i>	Radio Frequency Identification
<i>IP</i>	Internet Protocol
<i>PLC</i>	Programmable Logic Controller
<i>MOS</i>	Metal Oxide Semiconductor
<i>MOSFET</i>	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
<i>IT</i>	Information Technologies
<i>AR</i>	Augmented Reality
<i>AM</i>	Additive Manufacturing
<i>MAM</i>	Metal Additive Manufacturing
<i>CPS</i>	Cyber Physical Systems
<i>ICT</i>	Information and Communications Technology
<i>I4.0</i>	Industry 4.0
<i>IaaS</i>	Infrastructure as a Service
<i>PaaS</i>	Platform as a Service
<i>SaaS</i>	Software as a Service
<i>HMD</i>	Head Mounted Display
<i>SLA</i>	Stereolithography
<i>CAD</i>	Computer Aided Design
<i>FDM</i>	Fused Deposition Modelling
<i>PCT</i>	Port Container Terminal
<i>ASC</i>	Automated Stacking Cranes
<i>AGV</i>	Automated Guided Vehicles
<i>TEU</i>	Twenty-foot Equivalent Unit



## 1. UVOD

Početak 21. stoljeća svijet se nalazi u novoj, četvrtoj industrijskoj revoluciji. Za razliku od prethodnih industrijskih revolucija ova nije karakterizirana novom revolucionarnom tehnologijom, već se radi o sinkronizaciji i spajanju već postojećih digitalnih tehnologija kako bi unaprijedili dosadašnje proizvodne postupke. Industrija 4.0 se smatra kao nova industrijska razina kod koje je prisutna integracija proizvodnih operacijskih sustava i informacijskih i komunikacijskih tehnologija, naročito interneta stvari kako bi dobili takozvane kiber fizičke sustave. Digitalno doba donijelo je razinu sakupljanja, procesuiranja i razmjenu podataka dosada neviđenu koja je promijenila sve aspekte ljudskog života od interakcije sa objektima i medijima do industrijske proizvodnje. Države sa višim stupnjem razvijenosti kreirale su lokalne programe za razvoj i prisvajanje tehnologija Industrije 4.0, npr. Njemačka je razvila program pod nazivom „High-Tech Strategy 2025“<sup>1</sup>, u Sjedinjenim Američkim Državama kreiran je „Advanced Manufacturing Partnership“<sup>2</sup>, u Kini „Made in China 2025“ itd. Cilj navedenih programa je širiti koncepte i tehnologije Industrije 4.0 lokalnim poslovanjima. Nažalost u slabije razvijenim državama implementacija tehnologija i principa Industrije 4.0 korak je koji još uvijek nema prave prilike kako zbog nedostatka infrastrukture ili nedovoljne aspiracije. Cilj ovog rada je opisati principe i tehnologije vezane uz implementaciju Industrije 4.0 i primijeniti ih na konkretan primjer u ovom slučaju lučki kontejnerski terminal.

---

<sup>1</sup><https://www.bmbf.de/bmbf/en/research/hightech-and-innovation/high-tech-strategy-2025/high-tech-strategy-2025.html>, 20.08.2022.

<sup>2</sup> <http://web.mit.edu/pie/amp/>, 20.08.2022.

## 2. POVIJEST INDUSTRIJSKIH REVOLUCIJA

### 2.1. Prva industrijska revolucija

Prva industrijska revolucija pokrenula je novu eru proizvodnje sa izumom parnog stroja od strane škotskog izumitelja James Watt-a, te mehanizacijom i korištenjem alatnih strojeva. Javlja se u prvoj polovici 18. stoljeća te traje do prve polovice 19. stoljeća. Glavni izvori energije bili su voda, ugljen i para. [11]



Slika 1: Parni stroj

Izvor: [https://tehnika.lzmk.hr/wp-content/uploads/2018/11/HTE\\_1442.jpg](https://tehnika.lzmk.hr/wp-content/uploads/2018/11/HTE_1442.jpg), 3.7.2022

Prve implementacije novih proizvodnih procesa nastale su u Velikoj Britaniji za tekstilnu industriju, zatim se šire u proizvodnju željeza i kemijsku industriju gdje se javljaju novi materijali. Tranzicija sa proizvodnje ručnim radom na korištenje strojeva i strojnih alata znatno je povećala proizvodni učinak. Otvaranje tvornica značilo je mnoštvo prilika za zapošljavanje što je rezultiralo boljem standardu života te neviđenim rastom populacije. Zbog kolonijalne moći te jeftinom pristupu sirovinama prva industrijska revolucija bazirala se u Velikoj Britaniji dugi niz godina.

## 2.2. Druga industrijska revolucija

Druga industrijska revolucija počinje 1870. godine te traje do početka prvog svjetskog rata 1914. godine. Za razliku od prve industrijske revolucije, druga se širila izvan Velike Britanije u zemljama poput SAD-a, Njemačke, Italije i Japana. Ona je karakterizirana masovnom proizvodnjom, standardizacijom, građenjem željezničkih pruga, velikom primjenom parnih strojeva, početkom elektrifikacije te uporabom nafte.

Ključne tehnologije smatraju se Bessmer postupak za masovnu proizvodnju čelika, metode za proizvodnju zamjenskih dijelova što je omogućeno standardizacijom te primjena pokretnih linija kako bi se ubrao proces proizvodnje. Prva implementacija pokretnih linija pojavila se u klaonicama Chicaga gdje su jednošinskom prugom prenosili viseće leševe pored stacioniranih radnika, od kojih je svaki imao određeni zadatak. Kasnije se taj princip popularizirao u automobilskoj industriji od strane Henry Forda i legendarnog automobila Ford Model T. Primjena pokretne linije smanjila je vrijeme za proizvodnju jednog automobila sa 12 sati na svega 1 sat i 33 minute. [12]

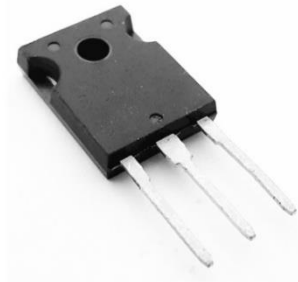


Slika 2: Prikaz pokretne linije u tvornici Ford

Izvor: <https://qph.cf2.quoracdn.net/main-qimg-d7f554e5625088af485164c4456c0b46-lq>, 3.7.2022.

### 2.3. Digitalna industrijska revolucija

Treća industrijska revolucija često nazivana i digitalna revolucija započela je 1970-ih godina sa razvojem prvog industrijskog računala PLC-a (eng. Programmable Logic Controller) koje je dizajnirano specifično za primjenu u proizvodnom procesu. Dick Morley je 1968. godine proizveo prvi PLC, Modicon 084 za primjenu u General Motorsu. Valja napomenuti kako se izum računala temelji na razvoju tranzistora kojega su prvi napravili 1947. godine znanstvenici John Bardeen, Walter Brattain i fizičar William Shockley. Izumom MOSFET-a (eng. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), ili MOS tranzistora 1959. godine krenuo je eksponencijalni rast u razvoju tehnologije te je MOSFET postao najšire korišten elektronički element u povijesti. [13] Treća industrijska revolucija karakterizirana je korištenjem digitalne elektronike te informacijske tehnologije kako bi se automatizirali dijelovi proizvodnje.



*Slika 3: Prikaz modernog MOSFET-a*

Izvor: [https://kronos.hr/637-large\\_default/2sc-3263.jpg](https://kronos.hr/637-large_default/2sc-3263.jpg), 4.7.2022.

### 3. INDUSTRIJA 4.0

Pojam Industrija 4.0 potječe iz Njemačkog 'Industrie 4.0' koji je prvi put spomenut 2011. godine u Njemačkoj od inicijative Njemačke savezne vlade za jačanje konkurentnosti proizvodne industrije. Budući da ne postoji precizna definicija Industrije 4.0, iz istraživanja je zaključeno kako je Industrija 4.0 spoj već postojećih tehnologija poput Interneta stvari (eng. Internet of Things), RFID čipova za etiketiranje (eng. Radio Frequency Identification), robotike, računarstva u oblaku, analitika velikih podataka te umjetne inteligencije, koje složno rade kako bi optimizirale i unaprijedile proizvodni proces sa naglaskom na upravljanje podacima. Glavne tehnološke karakteristike Industrije 4.0 predstavljaju senzori koji služe za prikupljanje podataka, komunikacija i analitika podataka. Četvrta industrijska revolucija javlja se kao reakcija na iznimnu količinu informacija koju smo u stanju procesuirati te pohraniti. Način na koji se služimo tim informacijama rezultat je krajnje uspješnosti proizvodnje. [20,21]



Slika 4: Glavne tehnologije u Industriji 4.0

Izvor: <https://industry40marketresearch.com/wp-content/uploads/2019/02/Industry-4.0-Value-Chain.jpg>

10.7.2022

Neke od tehnologija koje su prisutne u Industriji 4.0 nisu implementirane nikada ranije u proizvodne svrhe, no postoje već dugi niz godina:

- Internet (ARPANET, 1969.)
- Internet of Things (Coca Cola @ CMU, 1980-te.)
- Bežična komunikacija (WIFI, 1997.)
- 3D Printanje (Stereolitografija, 1983.)
- Umjetna inteligencija (Umjetne neuronske mreže, 1943.)

### 3.1. Značajne tehnologije Industrije 4.0

Razvojem novih tehnologija otvaraju se vrata raznim mogućnostima i boljitku kako u svakodnevnom životu tako u industriji i proizvodnji. Glavne tehnologije koje su pridonijele razvitku Industrije 4.0 jesu: analitika velikih podataka, računarstvo u oblaku, proširena stvarnost, aditivna proizvodnja i Internet stvari.

#### 3.1.1. Analitika velikih podataka

Analitika velikih podataka je proces prikupljanja i analiziranja iznimne količine skupova podataka u svrhu otkrića novih informacija. Iz analitike podataka mogu se doznati tržišni trendovi, sklonosti kupaca i skriveni uzorci, sve u svrhu poboljšanja donošenja ispravnih odluka poslovanja.

Stručnjaci za obradu podataka prikupljaju nestrukturirane podatke iz raznih medija poput: poruka emaila, podataka iz anketa, mobilnih aplikacija, društvenih mreža, zapisnika web servera, strojnih podataka dobivenim senzorima spojenih na Internet stvari i slično. Nakon prikupljanja podataka koriste se razni softverski programi kako bi se podaci očistili od duplikacija, pogreška u formatiranju i ostalih mogućih grešaka. Zatim slijedi organizacija kako bi se što efikasnije analizirali podaci. Kod analize podataka koriste se analitički softveri za rudarenje podataka, strojno učenje i umjetna inteligencija, alati za vizualizaciju itd. [15]

Pojam veliki podaci prvi put se javlja 90-ih godina 20. stoljeća kao reakcija na povećanu količinu podataka. Pionir velikih podataka, analitičar Doug Laney, 2001. godine proširio je definiciju velikih podataka, opisao je povećanje količine (eng. volume) podataka koje se skladišti te koristi, raznolikost (eng. variety) podataka generiranih i brzina (eng. velocity) kojom se novi podaci stvaraju i ažuriraju. Ova tri faktora postala su poznata kao tri V-a velikih podataka.

### 3.1.2. Računarstvo u oblaku

Računarstvo u oblaku (eng. Cloud Computing) tehnologija je koja omogućuje korištenje IT resursa poput servera, softvera, skladištenje podataka, računalne snage, analitike i podatkovnih baza preko interneta na zahtjev. Podaci su pohranjivani na fizičkim serverima koji su održavani od strane davatelja usluga. Računarstvo u oblaku znatno smanjuje početni ulog za korištenje vezanih tehnologija jer zaobilazi potrebu poduzeća na ulaganje u infrastrukturu. Također pružatelji usluga naplaćuju na „pay as you go“ modelu što za poduzeća znači plaćanje samo za usluge koje koriste. [14]

Računarstvo u oblaku klasificira se na dva načina:

- Na temelju primjene:
  - Javni
  - Privatni
  - Hibridni

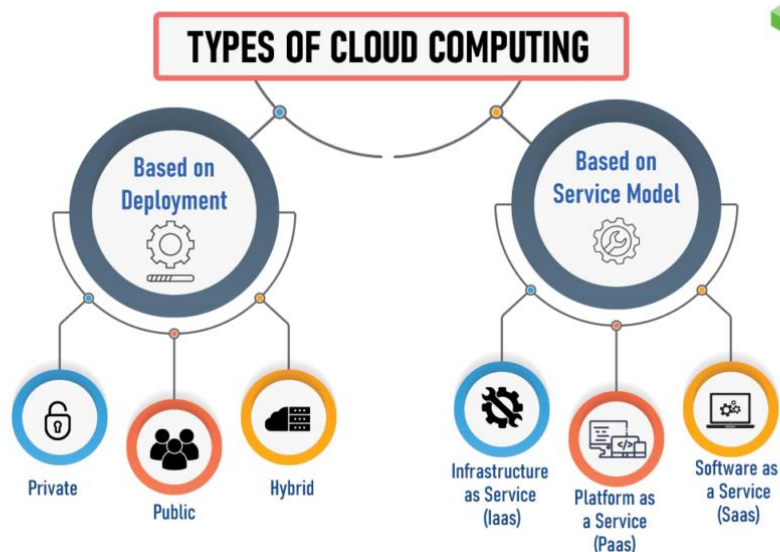
Javni računalni oblak pruža usluge IT resursa od vanjskih dobavljača preko interneta. To znači da su usluge na javnom oblaku dostupne svima tko ih želi koristiti. Glavna prednost javnog oblaka za primjenu kod poduzeća jest smanjenje troškova za infrastrukturu pošto su dobavljači odgovorni za upravljanje sveukupnog sustava.

Privatni računalni oblak pruža usluge preko privatne IT mreže posvećene korištenju jednoj organizaciji. Privatni oblak održavan je unutarnjim resursima i nije dostupan nikome izvan organizacije. Privatni oblak je nadogradnja na javni oblak na način da posjeduje sve prednosti javnog oblaka uz dodatnu sigurnost, kontrolu i prilagođavanje. Glavni nedostatak privatnog oblaka je što odgovornost održavanja i upravljanja podatkovnih centara prelazi na samu organizaciju, što rezultira u znatno većim troškovima. [2]

Hibridni računalni oblak koristi se kako bi se dobilo najbolje iz oba modela, to rezultira u prednostima javnog oblaka bez sigurnosnih nedostataka.

- Na temelju usluge:
  - Infrastruktura kao usluga (eng. Infrastructure as a Service, IaaS)
  - Platforma kao usluga (eng. Platform as a Service, PaaS)
  - Softver kao usluga (eng. Software as a Service, SaaS)





Slika 5: Klasifikacije računalnih oblaka

Izvor: <https://pimages.toolbox.com/wp-content/uploads/2021/07/02105247/Cloud-Computing-1024x576.png>, 1.8.2022

Računalni oblak na modelu IaaS pruža korisniku usluge poput skladištenja i korištenje poslovnih mreža.

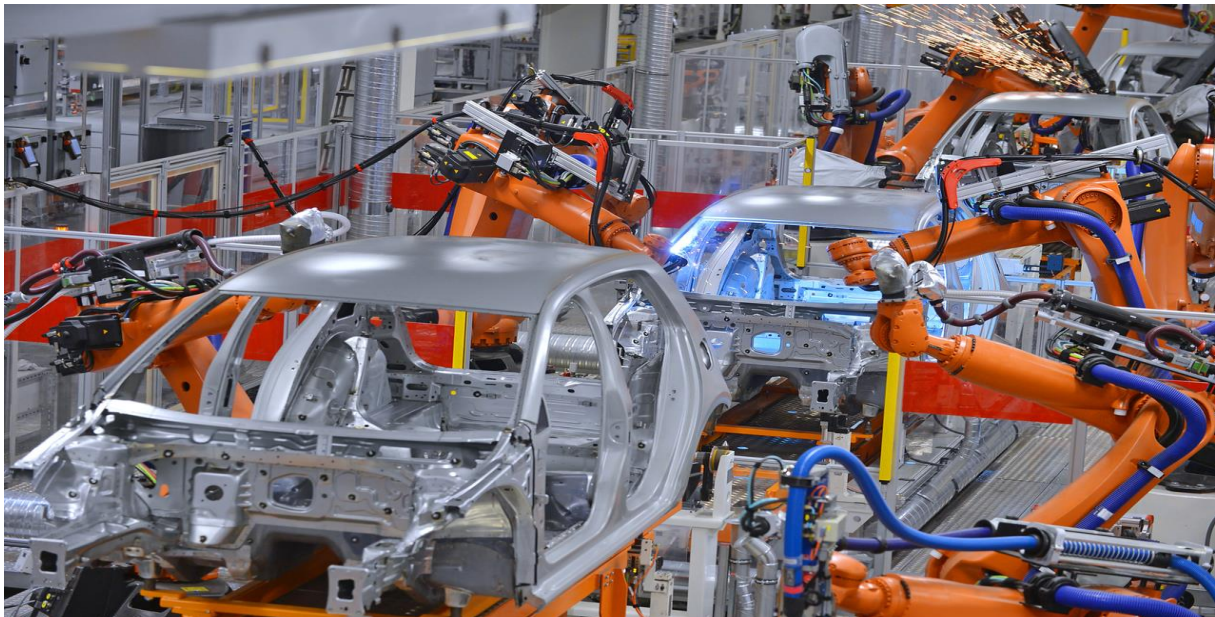
Računalni oblak na modelu PaaS koristi se kao platforma za stvaranje softvera koji se isporučuje preko interneta.

Računalni oblak na modelu SaaS pruža korisniku licencirane softverske pakete.



### 3.1.3. Robotika i automatizacija

Robotika je znanstvena grana koja se bavi strojevima s mogućnosti obavljanja zadataka pomoću predefiniраниh ili prilagodljivih programa i algoritama. Robotika se dijeli na automatizaciju i poluautomatizaciju. Automatizacija podrazumijeva da je proces u potpunosti izvođen od strane robota bez uplitanja ljudskih operatera. Poluautomatizacija se odnosi na proces u kojemu dio izvodi operater a dio robot ili slučaj u kojemu operater iz daljine pomoću daljinskog upravljača kontrolira robot kako bi izvršio zadatak. [22] Robotika i automatizacija su ključni dio unaprjeđenja proizvodnih procesa u naprednim poduzećima s ciljem povećanja proizvodnje, efikasnosti, sigurnosti, prilagodljivosti i fleksibilnosti. Mogućnosti integracije robota u ljudske radne prostore bez potrebe za izolacijom povećava ekonomičnost i proizvodnju te otvara nove prilike u industrijskoj proizvodnji. Konstantnim razvojem tehnologije dolazimo do robota sa raznim funkcijama tako da se širi primjena robota iz proizvodnje u logistiku i upravljanje uredom, npr. dijeljenje dokumenta. [9,10]



*Slika 6: Primjena robota u automobilnoj industriji*

Izvor: [https://www.automate.org/userAssets/riaUploads/image/robots-welding-in-factory-156642859\\_1275x824\(1\).jpeg](https://www.automate.org/userAssets/riaUploads/image/robots-welding-in-factory-156642859_1275x824(1).jpeg) 2.8.2022. 2.8.2022.

### 3.1.4. Proširena stvarnost

Proširena stvarnost AR (eng. Augmented Reality) je integracija digitalnih informacija sa stvarnim okruženjem korisnika u stvarnom vremenu. Primjena proširene stvarnosti se ostvaruje pomoću mobilnih uređaja poput mobilnog telefona ili zaslona na glavi HMD (eng. Head Mounted Display).

Tipičan primjer proširene stvarnosti dostupan svima s mobilnim telefonom je besplatna mobilna igrica Pokemon GO u kojemu kamera mobilnog telefona služi kao skener (senzor) stvarnog okruženja te su Pokemoni „ubačeni“ u stvarni svijet. Isti princip se koristi u proizvodnji, senzori su ukomponirani na način da se bitne prikupljene informacije integriraju u AR aplikacije te vizualiziraju pomoću uređaja. [3]



*Slika 7: Prikaz funkcionalnosti AR.*

Izvor: [https://internetofbusiness.com/wp-content/uploads/2018/03/augreality\\_1-550x309.png](https://internetofbusiness.com/wp-content/uploads/2018/03/augreality_1-550x309.png), 3.8.2022.

Proširena stvarnost se primjenjuje kao alat za navođenje tehničara prilikom održavanja i na tečajevima obuke. Tom tehnologijom smanjuje se potrebno vrijeme za izvršenje zadatka i znatno smanjuje mogućnosti pogrešaka jasnim prikazom znanja potrebnim da bi se obavio zadatak.

### 3.1.5. Aditivna proizvodnja

Aditivna proizvodnja (eng. Additive Manufacturing, AM) je tehnologija koja koristi 3D printanje uz dodatak raznih materijala poput stakla, keramike, raznih vrsta plastika i smole kako bi proizveli visoko kvalitetne i prilagodljive komponente.

Tehnologije aditivne proizvodnje:

- Stereolitografija (eng. Stereolithography, SLA) primjenjuje se laserska tehnologija na CAD crteže kako bi se zacijelio sloj po sloj otvrdnjivog fotopolimera ili tekuće plastike. Tijekom procesa izgradnje platforma na kojoj se izrađuje objekt se pomiče odnosno spušta točno jednu debljinu sloja. Proces se ponavlja dok se objekt ne upotpuni.
- FDM (eng. Fused Deposition Modeling) je tehnologija koja koristi plastomerno vlakno koje se zagrijava te istišće sloj po sloj pomoću mlaznice kako bi sagradio model. U raznim slučajevima se dodaje i potporna struktura koja se pri završetku izrade modela ručno odstranjuje.
- Praškasto inkjet printanje slično konvencionalnim printerima sa bojom, ovi 3D printeri izrađuju model u posudi napunjenoj praškastim materijalom poput gipsa pomoću inkjet printerske glave koja taloži tekući vezivni materijal.

Temeljne tehnologije vezane za virtualno okruženje u Industriji 4.0 sastoje se od IoT, velikih podataka i računarstva u oblaku, dok su za fizikalni dio autonomni roboti i aditivna proizvodnja. Aditivna proizvodnja zauzima ključnu poziciju zbog velike potrebe masovnog prilagođavanja i mogućnosti proizvodnje sofisticiranih objekata sa naprednim atributima. Aditivna proizvodnja trenutno se koristi u raznim inovativnim industrijama poput biomedicine i zrakoplovstva. [4]

Kontinuirano unaprjeđenje u tehnologiji 3D printanja rezultiralo je u javljanju nove grane aditivne proizvodnje, metalna aditivna proizvodnja MAM (eng. Metal Additive Manufacturing). Razne metalne komponente moguće je proizvesti koristeći metale u prahu poput aluminija, titanija, nehrđajućeg čelika i slično tijekom procesa aditivne proizvodnje. Zbog svojih iznimnih mehaničkih karakteristika metal je najčešći materijal korišten u inženjerstvu. Industrija 3D printanja traži način za zamjenu konvencionalne proizvodnje metalnih dijelova no trenutni pokušaji nisu zadovoljavajući u usporedbi

strukturnih karakteristika sa dosadašnjim tehnologijama. MAM je izrazito nova tehnologija velikog potencijala te je još u ranim fazama razvoja. [5,17,18, 19]

### 3.1.6. Internet of Things

Pojam Internet stvari (eng. Internet of Things, IoT) je prvi put upotrijebljen 1999. godine od strane britanskog tehnologa Kevina Ashtona kako bi opisao sustav u kojemu su stvari u fizičkom svijetu povezane na internet putem senzora. Ashton je osmislio izraz kako bi prikazao moć povezivanja RFID oznaka na internet kod primjene u opskrbnim lancima s ciljem brojanja i praćenja robe bez uplitanja čovjeka. IoT se danas koristi kako bi opisali mogućnost povezivanja i upravljanja bilo kakvog objekta na internet. [6]

Komunikacijski modeli Interneta stvari su:

- Device-to-Device model

Uređaj na uređaj (eng. Device-to-Device) komunikacijski model predstavlja dva ili više uređaja koji su međusobno povezani bez potrebe za posrednim članom ili serverom. Primjeri protokola korištenih za uređaj na uređaj komunikaciju su Bluetooth, Zigbee, Z-Wave. Različite tehnologije protokola nisu u mogućnosti međusobno komunicirati, npr. Bluetooth uređaj i Zigbee nisu kompatibilni s toga se izbor uređaja smanjuje na određene familije ovisno o protokolu.



Slika 8: Primjer uređaj na uređaj komunikacije

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-device-to-device-communication-model\\_fig1\\_334603508](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-device-to-device-communication-model_fig1_334603508), 7.8.2022.

Uređaj na uređaj komunikacija najčešće se koristi kod kućnih automatizacijskih sustava gdje se koriste mali paketi podataka sa niskim zahtjevima brzine prijenosa. Primjer su IoT uređaji poput žarulja, termostata, brave vrata i sl.



- Device-to-Cloud model

U uređaj na oblak komunikacijskom modelu, IoT uređaj direktno se povezuje na internetsku uslugu računarstva u oblaku kao pružatelj aplikacijskih usluga za izmjenu podataka i kontrolu prometa poruka. Ovaj model koristi komunikacijske tehnologije poput Etherneta ili Wi-Fi veza da uspostavi vezu između IoT uređaja i IP mreže koji se zatim spaja na uslugu oblaka. Tipični primjeri su pametni televizori, pametni printeri itd.

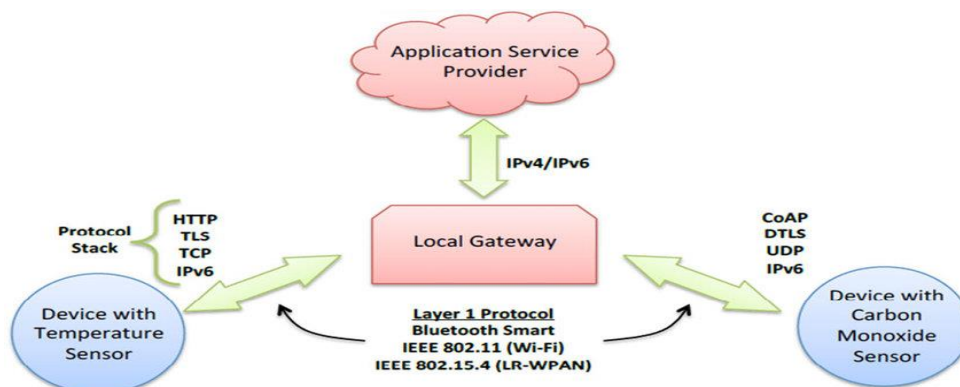


Slika 9: Device-to-Cloud model

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Device-to-cloud-communication-model-diagram\\_fig2\\_334603508](https://www.researchgate.net/figure/Device-to-cloud-communication-model-diagram_fig2_334603508), 8.8.2022.

- Device-to-Gateway model

Uređaj na vrata (eng. Device-to-Gateway) model spaja IoT uređaje koristeći uslugu poveznika sloja aplikacije kako bi stigao do usluge u oblaku. To znači da postoji softver na uređaju poput pametnog telefona ili hub uređaja koji služi kao posrednik između IoT uređaja i usluge u oblaku. Korištenjem hub uređaja možemo ukloniti poteškoće sa kompatibilnosti između IoT uređaja zbog toga što mogu imati instalirane primopredajnike za više familija uređaja. Ovaj model pruža zaštitu i prijevod protokola i podataka.



Slika 10: Prikaz Device-to-gateway modela

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/The-model-of-device-to-gateway-communication-9\\_fig2\\_324952543](https://www.researchgate.net/figure/The-model-of-device-to-gateway-communication-9_fig2_324952543), 8.8.2022.

### 3.1.7. Principi industrije 4.0

Principi Industrije 4.0 su temeljni koncepti koji opisuju I4.0 i podržavaju njezinu provedbu. Svi principi su povezani do neke razine. Iako postoji znatno više principa implementacije I4.0 ovdje su navedeni neki od najbitnijih za uspješnu implementaciju I4.0. [1,16]

Horizontalna integracija odnosi se na integraciju IT sustava na razini cijele tvrtke, kako bi se omogućilo suradničkim mrežama tvrtke da dijele resurse, sposobnosti i informacije u stvarnom vremenu kroz lanac vrijednosti.

Vertikalna integracija je integracija raznih ICT sustava u tvrtki na različitim hijerarhijskim razinama npr. fizičkim, softverskim, poslovnim procesima.

End-to-end inženjerska integracija se odnosi na integraciju sustavnog inženjerstva kroz cijeli lanac vrijednosti.

Interoperabilnost se odnosi na sposobnost povezivanja predmeta, strojeva i ljudi u svrhu komunikacije, razmjene podataka i koordiniranja aktivnosti. Mogućnost povezivanja svega u tvrtki, ključna je stavka kako bi iskoristili potencijal dobiven kroz podatke u svrhu poboljšanja efikasnosti i proizvodnog procesa. Kako bi se interoperabilnost uspješno provela, poduzeća moraju digitalizirati svoje postupke koristeći tehnologiju računarstva u oblaku za softverske programe i pohranu podataka.

Decentralizacija znači da mreža sustava, gdje se dovode odluke, nije centralno kontrolirana. Povezana je sa idejom samoorganizacije i pojavnog ponašanja gdje komponente nižeg stupnja djeluju na lokalnu informaciju kako bi ostvarile globalne ciljeve.

Virtualizacija se odnosi na virtualnu replikaciju fizičkog sustava povezivanjem podataka senzora i aktuatora sa virtualnim modelom tvornice u svrhu nadziranja, kontrole i simuliranja nad fizičkim dijelovima. Virtualizacija omogućuje tehnologije poput virtualne i proširene realnosti, CPS (kiber fizičke sustave) i digitalne blizance.

Mogućnost u stvarnom vremenu odnosi se na prikupljanje i analizu podataka u stvarnom vremenu za podršku donošenja odluka vođenim podacima. Dijeli se u tri skupine: analiza u stvarnom vremenu, nadziranje u stvarnom vremenu te donošenje odluka u stvarnom vremenu. [7]

Glavne tehnologije koje omogućuju djelovanje u stvarnom vremenu jesu IoT, industrijska automatizacija, računalni oblak, CPS, analitika velikih podataka i simulacija.

Kod modularnosti postoje dvije mogućnosti na koje se može odnositi. Jedan je odnos na mogućnost poslovanja da se fleksibilno adaptira promjenjivim zahtjevima i potrebama industrije. Drugi je inženjerski koncept koji se odnosi na mogućnost sustava ili proizvoda da se rastavi na ponovno spojive module. Modularnost se primjenjuje na razne dijelove proizvodnog ciklusa kao: dizajn, konstruiranje i montažu, te omogućuje masovnu prilagodbu uz neznatni porast troškova, fleksibilnu i agilnu proizvodnju.

## 4. PRIMJER PRINCIPA INDUSTRIJE 4.0 U LUČKIM TERMINALIMA

U ovom poglavlju izneseno je istraživanje provedeno na primjeru lučkog kontejnerskog terminala PCT (engl. Port Container Terminal), kao primjer implementacije temeljnih principa i tehnologija Industrije 4.0. Lučki terminali nisu klasični tip industrije u smislu da postoji proizvodnja, već se kod njih količina prometa dobara povezuje sa količinom proizvedenih dobara u tvornici.

Danas je 90% sve trgovine svijeta transportirano morem sa kontejnerskim brodovima. Dužine od 399 metara, kapacitetom od 18,270 TEU i punom nosivosti broda od 165 tisuća tona, MARY MAERSK jedan je od kontejnerskih brodova koji se koristi za prijenos enormne količine dobara svakodnevno.



Slika 11: Prikaz kontejnerskog broda MARY MAERSK

Izvor: [https://www.fleetmon.com/vessels/mary-maersk\\_9619921\\_8464531/?language=fr](https://www.fleetmon.com/vessels/mary-maersk_9619921_8464531/?language=fr) , 20.8.2022

Cijeli proces razmjene dobara od mjesta proizvodnje do konačne destinacije je veoma složen postupak koji obuhvaća i razne vrste terminala, sa mnoštvom dijelova i uključenih stranki, no ovo istraživanje fokusirano je na nekoliko ključnih dijelova za koje su zaduženi PCT-jevi sa standardiziranim kontejnerima (TEU), kao utovar broda, istovar kontejnera u skladišno područje te daljnja razmjena kontejnera na kopnenu distribuciju kamionima i vlakovima. [23]

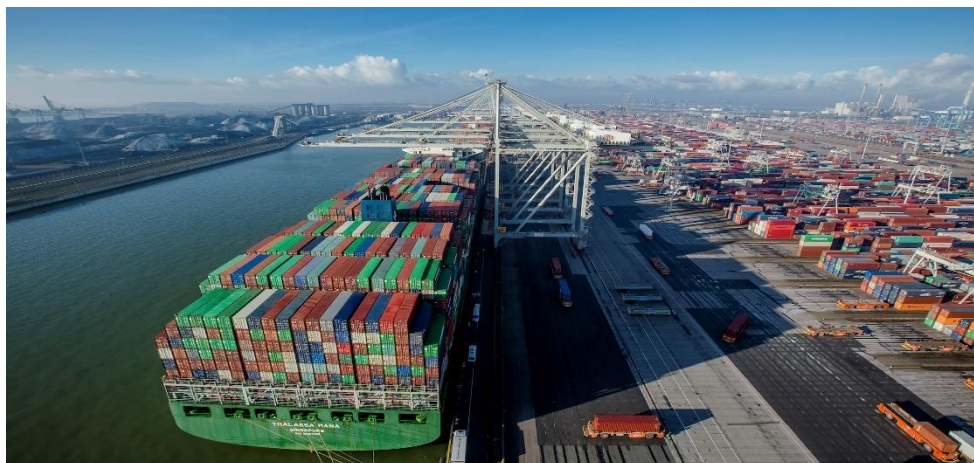


#### 4.1. Lučki kontejnerski terminali

PCT ili lučki kontejnerski terminali su postrojenja sa skladišnim područjem koji koordiniraju tok pristizanja dobara morem ili kopnom. Proces razmjene dobara sa morskog na kopneni transport nije jednostavan kao istovar sa broda direktno na kamion ili vlak, već postoji više koraka između prije nego što kontejner izađe iz skladišnog mjesta. Koraci uključuju: istovar broda sa pristanišnom dizalicom, utovar na lučka terminalna vozila koja prenose teret od pristaništa do skladišnog mjesta (dvorišta), pokretne dizalice za slaganje koja služi za prijenos tereta s terminalnih vozila na skladišna mjesta i zatim s njih na kopneni prijevoz. Cilj terminala je pružiti potrebna sredstva i organizaciju kako bi razmjena dobara između morskog i kopnenog transporta bila provedena u najboljim uvjetima po pitanju učinkovitosti, vremena, sigurnosti, poštivanja okoliša i ekonomije. PCT-ovi imaju određene karakteristike koje im omogućuju veliku razinu sistematizacije za razliku od drugih teretnih terminala, neki od njih jesu:

- standardizacija transportnih sredstva (kontejnera),
- standardizacija načina na koji se postupa sa teretom,
- velika količina razmjene dobra,
- veliki utjecaj tehnologije na profitabilnost terminala.

Razina prisutne standardizacije je razlog zbog čega je visoka razina automatizacije procesa i opreme moguća u ovakvom tipu lučkih terminala. [8]



Slika 12: Prikaz ECT Delta Terminal luke u Rotterdamu

Izvor: <https://www.nt.nl/havens/2020/09/07/ect-delta-krijgt-extra-diepe-ligplaats-van-500-meter/> , 22.8.2022

## 4.2. Automatizacija PCT

Otvorenje ECT Delta Terminala u luci Rotterdam u Nizozemskoj 1993. godine uveo je pojam automatiziranih terminala kako bi se odnosili na najvišu razinu automatizacije do tada. Posjedovala je automatizirane dizalice za slaganje (ASC) i automatizirana navođena vozila (AGV), što je omogućilo rukovanje opremom za skladištenje i razmjenu bez operatera (ljudskog uplitanja). Od 90-ih godina svi vodeći lučki terminali su prihvatili automatizaciju kao ključni sustav za poboljšanje upravljanje procesima.

Kod automatiziranih dizalica za slaganje logično planiranje prošireno računalima donosi iznimna poboljšanja, saznanjem točno kada koji kontejner treba izaći iz skladišta. Računalo može optimizirati redoslijed slaganja kontejnera kako bi se smanjio broj poteza koje je potrebno da bi se pristupilo ciljanom kontejneru. U slučaju gdje se koristi staromodni način praćenja kontejnera na papiru, kontejneri su složeni po redoslijedu pristizanja neovisno o tome kada se trebaju premještati. Tako dolazimo do problema gdje kontejner koji treba izaći prvi može biti na dnu te dolazi do velikih gubitka zbog povećanog broja poteza za isti rezultat i gubljenje vremena.



Slika 13: Automatizirana dizalica za slaganje (ASC)

Izvor: <https://www.1sphere.co.uk/services1/container-terminal-automation> 22.8.2022.

U slučaju automatiziranih navođenih vozila, kako bi se odredila točna pozicija vozila te navodila na željena odredišta koriste se senzori na svakom kraju donje strane vozila koji čitaju signale u niskoj frekvenciji (134,2kHz) odašiljane od transpondera (primopredajnika) postavljenih u zemlji.



*Slika 14: Pozicijski senzor*

Izvor: <https://btg-positioning-systems.com/usr-uploads/images/products/Transponder-in-steen-1-505x429.jpg> 30.8.2022.

Primopredajnici su veličine balzama za usne, posjeduju stakleno kućište koje je dodatno zaštićeno silikonskim oklopom. Instalacija primopredajnika je jednostavna, buši se rupa promjera 25mm te se umetnu u zemlju i prekriju cestovnim materijalom. Primopredajnici nemaju potrebu za održavanjem radi beskontaktnog punjenja preko senzora, zaštićeni su od vanjskih utjecaja kako su pozicionirani u zemlji što im omogućava teorijski beskonačan vijek trajanja. [24]



*Slika 15: Primopredajnik za upotrebu sa AGV*

Izvor: <https://btg-positioning-systems.com/usr-uploads/images/products/transponder-in-steen/RTF060GL-1-1240x698.jpg> 30.8.2022.

### 4.3. Razine automatizacije: automatizacija i poluautomatizacija

Pojam automatizirani terminal odnosi se na PCT-ove koji imaju automatizirane kretnje na pristaništima i dvorištu kao na ECT Delta Terminalu. U takvim PCT-ovima procesi između dizalice i broda još uvijek su ručni odnosno izvode se pomoću operatera. Razlog toga je što su na brodu još uvijek prisutni ljudski djelatnici stoga se ne smije dopustiti interakcija između robota i čovjeka gdje bi čovjek mogao nastradati. Proces između dvorišnih dizalica i kopnenog transporta su kontrolirani daljinskim upravljačem. Ovo je samo jedna od mnogih mogućnosti automatiziranja PCT-a. Sredina između automatiziranih i ne automatiziranih terminala je polu automatizacija kod kojih su neki od glavnih procesa automatizirani. Na primjer, dok je proces slaganja kontejnera na skladišna mjesta u potpunosti automatiziran, proces dovođenja kontejnera do dizalice za slaganje je izvođeno operaterom. Poluautomatizacija se može odnositi i na terminale na kojima je implementirana oprema za daljinsko upravljanje. Kombinacijom potpune automatizacije i poluautomatizacije dobivaju se različite razine automatizacija PCT-a.

Automatizacija PCT-a je strateška inicijativa koja odgovara na tri strateške potrebe modernog poslovanja temeljenog na održivom razvoju kako bi bila razmotrena kao strategija terminala.

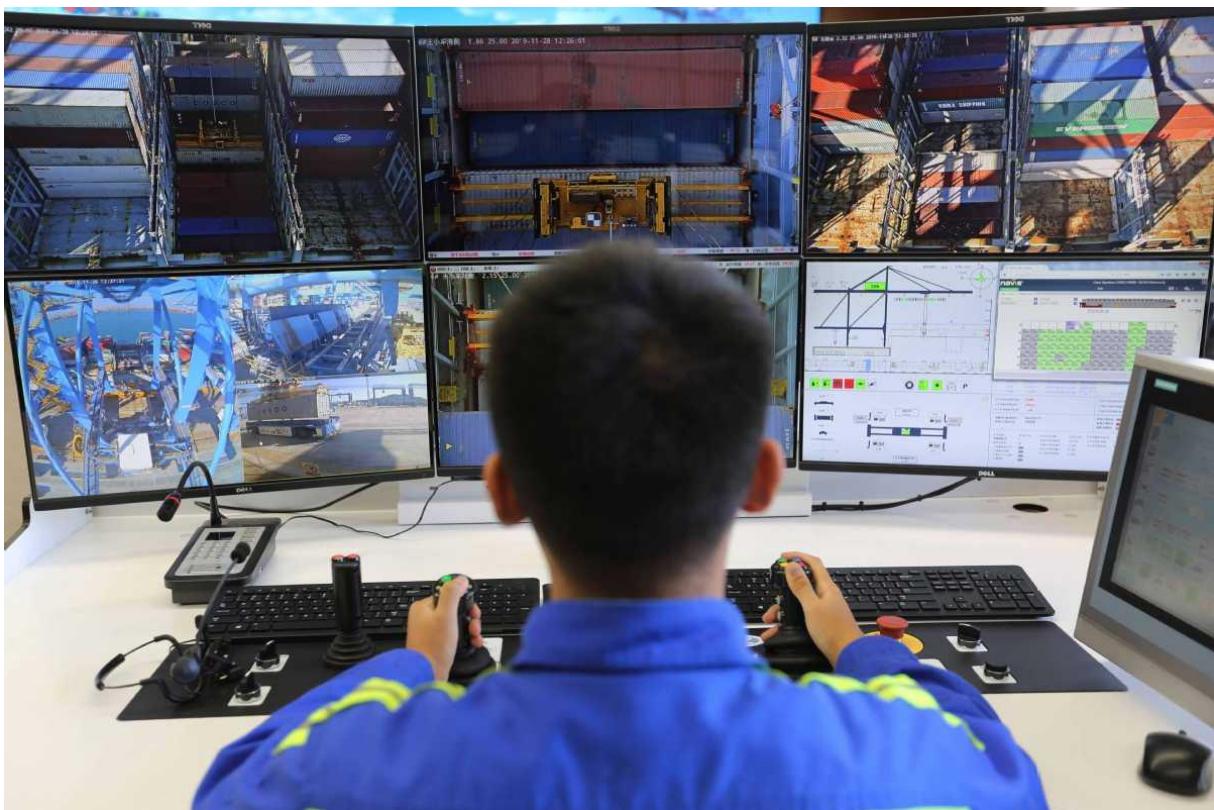
Poboljšanja izvedbe operacija je osnovni poticaj za automatiziranje terminala. Automatizirani terminali su produktivniji, povećavaju korisnost pristanišnih dizalica i dvorišnu gustoću, što rezultira povoljnijom upotrebom raspoloživog prostora i povećanog kapaciteta objekta. [8]



#### 4.4. Implementacija principa Industrije 4.0 u lučkim kontejnerskim terminalima

Razvojem robotike proširila se primjena robota i automatizacije procesa iz proizvodnje na djelatnosti poput logistike. Temeljni primjer toga postoji u procesima slaganja kontejnera u PCT-ima gdje su uz poluautomatizaciju i potpunu automatizaciju roboti unaprijedili procese i zamijenili dio ljudske radne snage.

Korisnost ljudske radne snage još uvijek se može primijetiti u sektorima poput nadziranja, kontrole i simuliranja što je upravo jedan od temeljnih principa Industrije 4.0 - virtualizacija.



*Slika 16: Prijemjer virtualizacije*

Izvor: <https://img2.chinadaily.com.cn/images/201912/18/5df98d12a310cf3e97ac337e.jpeg>, 15.09.2022

Horizontalna integracija odnosno integracija IT sustava primjenjuje se kako bi se optimizirao protok dobara kroz cijeli lanac vrijednosti od istovara broda, prijenos kontejnera od pristaništa do skladišta, slaganja kontejnera na skladište, predaje kontejnera iz skladišta na kopneni prijevoz do ponovnog utovara broda. Interoperabilnosti se provodi u aspektu povezivanja procesa, komunikacije, razmjene

podataka i koordiniranja, robota i ljudi sa kontrolnim centrom gdje se vrši nadziranje i samim time se omogućuje virtualizacija.

Stalnim unaprjeđenjem tehnologije omogućena je implementacija robotike i automatizacije osim u proizvodnji i u drugim granama industrije poput logistike te se već može vidjeti kako se temeljni principi Industrije 4.0 provode kako bi se optimizirala implementacija te ispravno integrirale tehnologije temeljne za Industriju 4.0. Kod izgradnje novih lučkih kontejnerskih terminala u zadnjih 10 godina trend je potpuna automatizacija procesa što je dovoljan znak enormnoj prednosti i boljitku koja rezultira u ispravnoj implementaciji Industrije 4.0.

## 5. ZAKLJUČAK

Tehnološki razvoj unosi radikalne promjene u način života ljudi naročito sa pojavom novih industrijskih revolucija. Četvrta industrijska revolucija ili Industrija 4.0 je spoj tehnologija poput pametnih senzora koji služe za prikupljanje i širenje informacija, računarstva u oblaku koje omogućuje skladištenje i pristup informacijama bilo gdje se nalazili, analitike velikih podataka uz koje smo sposobni otkrivati nove trendove i precizno odrediti želje i potrebe potrošača, aditivne proizvodnje koja omogućuje masovnu prilagodljivost, robota i automatizacije koja omogućuje ubrzani proizvodni proces bez velikih odstupanja u kvaliteti i Interneta stvari koji sjedinjuje sve tehnologije kako bi složno djelovale i provodile komunikaciju. Kod primjene tehnologija Industrije 4.0 iznimno je bitno pravilno provođenje principa I4.0 kako bi postigli optimalnu efikasnost tehnologija i zadovoljavajući napredak koji bi opravdao veliki kapital potreban za ulaganje pri tranziciji. Temeljni nedostatak I4.0 nalazi se u početnom ulogu i nezadovoljstvu radnika pri otpuštanju velikog broja radne snage niže stručne spreme kod tranzicije u I4.0 zbog veće efikasnosti robota. Pojavom robota otvaraju se nove pozicije za zapošljavanje kod npr. održavanja i popravka robota no one mijenjaju kriterije za zapošljavanje i potrebne vještine za izvođenje posla.

Rezultati istraživanja na primjeru lučkih kontejnerskih terminala pokazali su kako je uz ispravnu implementaciju principa i tehnologije Industrije 4.0 moguće poboljšati procese. Stoga se zaključuje da je u logistici kao gospodarskoj grani, a osobito kod lučkih kontejnerskih terminala tranzicija u Industriju 4.0 ključ uspjeha kako bi se ostvarila konkurentnost sa vodećim terminalima po pitanju prometa dobara.

## LITERATURA

- [1] Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, 158, 107379.
- [2] Qian, L., Luo, Z., Du, Y., & Guo, L. (2009, December). Cloud computing: An overview. In *IEEE international conference on cloud computing* (pp. 626-631). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [3] Segovia, D., Mendoza, M., Mendoza, E., & González, E. (2015). Augmented reality as a tool for production and quality monitoring. *Procedia Computer Science*, 75, 291-300.
- [4] Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545-554.
- [5] Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *International scholarly research notices*, 2012.
- [6] Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. *The internet society (ISOC)*, 80, 1-50.
- [7] de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
- [8] Martín-Soberón, A. M., Monfort, A., Sapiña, R., Monterde, N., & Calduch, D. (2014). Automation in port container terminals. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 160, 195-204.
- [9] Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal teknologi*, 78(6-13).
- [10] Goel, R., & Gupta, P. (2020). Robotics and industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 157-169). Springer, Cham.



Internetski izvori:

- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Revolution) (10.7.2022.)
- [12] [https://en.wikipedia.org/wiki/Second\\_Industrial\\_Revolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Industrial_Revolution) (10.7.2022.)
- [13] <https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor> (12.7.2022.)
- [14] <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>  
(2.8.2022.)
- [15] <https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/definition/big-data-analytics>  
(1.8.2022.)
- [16] <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles> (23.8.2022.)
- [17] <https://downloads.hindawi.com/archive/2012/208760.pdf> (15.7.2022.)
- [18] <https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-3dp-binder-jetting/> (4.8.2022.)
- [19] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:399/preview> (9.8.2022.)
- [20] <https://core.ac.uk/download/pdf/198071462.pdf> (9.8.2022.)
- [21] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/ffzg%3A634/datastream/PDF/view> (9.8.2022.)
- [22] <https://courses.minnalearn.com/hr/courses/emerging-technologies/robotics-and-automation/introduction-to-robotics-and-automation/> (16.8.2022.)
- [23] <https://www.container-xchange.com/blog/container-terminals/> (29.8.2022.)
- [24] <https://btg-positioning-systems.com/products/transponder-rft060gl-sil>  
(30.8.2022.)

## POPIS SLIKA

Slika 1: Parni stroj.....	2
Slika 2: Prikaz pokretne linije u tvornici Ford .....	3
Slika 3: Prikaz modernog MOSFET-a.....	4
Slika 4: Glavne tehnologije u Industriji 4.0.....	5
Slika 5: Klasifikacije računalnih oblaka .....	8
Slika 6: Primjena robota u automobilnoj industriji .....	9
Slika 7: Prikaz funkcionalnosti AR. ....	10
Slika 8: Primjer uređaj na uređaj komunikacije .....	12
Slika 9: Device-to-Cloud model .....	13
Slika 10: Prikaz Device-to-gateway modela.....	13
Slika 11: Prikaz kontejnerskog broda MARY MAERSK .....	16
Slika 12: Prikaz ECT Delta Terminal luke u Rotterdamu .....	17
Slika 13: Automatizirana dizalica za slaganje (ASC) .....	18
Slika 14: Pozicijski senzor .....	19
Slika 15: Primopredajnik za upotrebu sa AGV .....	19
Slika 16: Prijemjer virtualizacije .....	21