

Digitalni blizanac diskretnih proizvodnih sustava

Kranjčec, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:285142>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Patrik Kranjčec

Zagreb, 2025. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Nataša Tošanović, dipl. ing.

Student:

Patrik Kranjčec
0035231535

Zagreb, 2025. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studija i navedenu literaturu.

Naročito se zahvaljujem docentici i mentorici Nataši Tošanović na dostupnosti i danoj pomoći, te također i na pomoći kolege Matije Goleca.

Patrik Kranjčec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Patrik Kranjčec** JMBAG: **0035231535**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Digitalni bliznac diskretnih proizvodnih sustava**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Digital twin of discrete manufacturing systems**

Opis zadatka:

U kontekstu organizacije i upravljanja proizvodnim procesima, digitalne bliznac (eng. Digital twin) je jedna od tehnologija Industrije 4.0 koja predstavlja digitalnu, odnosno virtualnu repliku proizvodnog procesa, a ima za svrhu praćenje, analizu i optimiranje proizvodnih procesa.

Cilj rada je upoznati se sa osnovama tehnologije digitalnog blizanca te dati okvir i prijedlog plana za razvoj digitalnog blizanca Tvornice za učenje koja je smještena u Laboratoriju za proizvodni menadžment na Katedri za upravljanje proizvodnjom.

U radu je potrebno:

1. Definirati i opisati koncept Industrije 4.0
2. Dati pregled alata i tehnologija Industrije 4.0
3. Posebno opisati tehnologiju digitalnog blizanca te istražiti i opisati primjere primjene u diskretnim proizvodnim sustavima
4. Prikazati i opisati mogućnost primjene programa Siemens Tecnomatix (Plant Simulation i Process Simulate) za razvoj digitalnog blizanca
5. Opisati pristup planiranja digitalnog blizanca u pet koraka na temelju podataka za diskretne proizvodne sustave, a prikazanog u literaturi
6. Temeljem navedenog pristupa opisati mogućnost i dati plan izrade digitalnog blizanca Tvornice za učenje smještene u Laboratoriju za proizvodni menadžment na Katedri za upravljanje proizvodnjom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.

2. rok: 10. i 11. 7. 2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.

2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.

3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadala:


Doc. dr. sc. Nataša Tošanović

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	II
SAŽETAK	III
SUMMARY	V
1. UVOD	1
1.1. KONCEPT INDUSTRIJE 4.0	2
1.2. ALATI I TEHNOLOGIJE INDUSTRIJE 4.0.....	2
2. DIGITALNI BLIZANAC	4
2.1. OSNOVNI KONCEPTI I KOMPONENTE DIGITALNOG BLIZANCA	5
2.2. VRSTE DIGITALNIH BLIZANACA.....	6
2.3. PRIMJERI PRIMJENA DIGITALNOG BLIZANCA	7
2.3.1. Primjeri stvarnih kompanija	8
2.3.1.1. Istraživanje kompanije „ Estun Automation“	8
2.3.1.2. Istraživanje kompanije „ Paulaner brewery“	12
2.4. PREDNOSTI I PROBLEMI DIGITALNOG BLIZANCA	14
2.4.1. Prednosti digitalnog blizanca	14
2.4.2. Problemi vezani za digitalne blizance.....	15
3. SIEMENS TECNOMATIX	16
3.1. MOGUĆNOSTI PRIMJENE SIEMENS TECNOMATIX-A ZA RAZVOJ DIGITALNOG BLIZANCA	18
3.1.1. Process simulate (simulacija procesa).....	21
3.1.2. Plant simulation(simulacija pogona)	22
3.2. SIEMENS+NVIDIA.....	23
4. PRISTUP PLANIRANJA DIGITALNOG BLIZANCA U 5 KORAKA	25
4.1. KORAK 1.....	26
4.2. KORAK 2.....	28
4.3. KORAK 3.....	29
4.3.1. Definiranje parametara	29
4.3.2. Razvoj digitalnog modela	32
4.4. KORAK 4.....	33
4.5. KORAK 5.....	35
5. PLAN IZRADE DIGITALNOG BLIZANCA TVORNICE ZA UČENJE	36
5.1. KORAK 1.....	37
5.2. KORAK 2.....	38
5.3. KORAK 3.....	39
5.4. KORACI 4 I 5	40
5.5. PRIKAZ KONVEJERA U SIEMENS TECNOMATIX PLANT SIMULATION-U.....	42
ZAKLJUČAK	47
LITERATURA :	49

Popis slika

Slika 1. – U dodiru sa tehnologijom	2
Slika 2. – Primjer digitalnog blizanca	4
Slika 3. – Prikaz proizvodnje u kompaniji „ESTUN“	9
Slika 4. – Digitalni prikaz automatizirane proizvodnje ESTUN-a	10
Slika 5. – Primjer primjene Tecnomatix-a	20
Slika 6. – Vizualni prikaz Process simulate	21
Slika 7. – Savladavanje problema u proizvodnji uz Process simulate.....	21
Slika 8. – Vizualni prikaz simulacije pogona	22
Slika 9. – Savladavanje problema u proizvodnji Plant simulation	22
Slika 10. – Prikaz Siemens Tecnomatix-a i NVIDIA Omniverse-a.....	24
Slika 11. – 5 koraka planiranja digitalnog blizanca	26
Slika 12. – Prikaz podjele gradivnih blokova u skupine	27
Slika 13. – Prikaz funkcionalnog dijagrama	28
Slika 14. - Dva primjera gradivnih blokova proizvodnje	29
Slika 15. - Primjeri gradivnih blokova logistike.....	30
Slika 16. - Primjeri gradivnih blokova skladišta	31
Slika 17. - Primjer gradivnog bloka kontrole kvalitete.....	32
Slika 18. - Pozicija modela i veze između virtualnog i stvarnog svijeta	33
Slika 19. – Prikaz Tvornice za učenje	36
Slika 20. – Skica i orijentacija Tvornice za učenje.....	36
Slika 21. – Podjela gradivnih blokova Tvornice za učenje.....	37
Slika 22. – Prikaz funkcionalnog dijagrama transporta kutije	38
Slika 23. – Uobičajeni tehnološki skup unutar proizvodnje	40
Slika 24. – Siemens Tecnomatix Plant Simulation	42
Slika 25. – Izrada digitalnog modela konvejera unutar Plant Simulation programa	43
Slika 26. – Izgled digitalnog modela konvejera	43
Slika 27. – Parametri digitalnog modela konvejera.....	44
Slika 28. – Izlazni podaci digitalnog modela.....	44
Slika 29. – Prikaz statistike(idealna) u obliku dijagrama.....	45
Slika 30. – Prikaz statistike(realna) u obliku dijagrama	45
Slika 31. – Prikaz trenutne pozicije u izradi digitalnog blizanca	46

Popis tablica

Tablica 1. - Osnovni koncepti digitalnog blizanca	5
Tablica 2. - Osnovne komponente digitalnog blizanca	6
Tablica 3. – Prikaz unapređenja Estun kompanije uz pomoć digitalnog blizanca	11
Tablica 4. – Prikaz unapređenja Paulner kompanije uz pomoć digitalnog blizanca	13
Tablica 5. – Moguće primjene Siemens Tecnomatix-a za razvoj digitalnog blizanca.....	19

Sažetak

Industrijske revolucije predstavljaju ključne prekretnice u razvoju ljudske civilizacije, oblikujući ekonomije, društva i tehnologije. Svaka revolucija donijela je novu fazu tehnoloških i organizacijskih promjena, označujući prijelaz prema naprednijim i kompleksnijim načinima proizvodnje i organizacije rada. Posljednja industrijska revolucija je donijela, uz mnoge druge tehnologije, novitete i napretke, tehnologiju digitalnog blizanca.

Riječ je o virtualnim modelima fizičkih objekata, procesa ili sustava koji koriste podatke sa senzora i IoT uređaja za simulaciju, praćenje i analizu u stvarnom vremenu, što omogućuje optimizaciju i detaljnu analizu. Digitalni blizanci primjenjuju se u različitim industrijama poput proizvodnje, automobilske industrije, urbanog planiranja i medicine.

Konvergencija novih tehnologija transformira inženjerske proizvode u mnogim industrijama, gdje složenost proizvoda raste kako bi se zadovoljili veći zahtjevi kupaca. Zbog toga mnoge tvrtke usvajaju koncept digitalnog blizanca kako bi ostale konkurentne, koristeći simulacije za razvoj realističnih digitalnih kopija svojih proizvoda. Digitalni blizanci nisu statični modeli, već dinamični entiteti koji se ažuriraju tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda, obogaćeni podacima prikupljenim tijekom njegove uporabe. Jedna od najprestižnijih svjetskih tehnoloških kompanija, Siemens, također je u vrhu vođenja digitalnih blizanaca. Siemens se bavi širokim spektrom industrijskih sektora, uključujući elektroniku, automatizaciju, energetiku, transport, zdravstvo, kao i digitalne tehnologije

U radu su dani primjeri nekoliko kompanija koje su implementirale digitalnog blizanca u svoju proizvodnju te će biti prikazani njihovi rezultati.

Također, u radu je opisan pristup planiranja digitalnog blizanca u pet koraka na temelju literature. Isti koncept planiranja djelomično je primijenjen na kraju ovog rada na primjeru Tvornice za učenje smještene na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu .

Ključne riječi: digitalni blizanci, industrija 4.0, Tvornica za učenje

Summary

Industrial revolutions represent key milestones in the development of human civilization, shaping economies, societies, and technologies. Each revolution brought a new phase of technological and organizational changes, marking the transition to more advanced and complex methods of production and work organization. The latest industrial revolution has brought, among many other technologies, innovations and advancements, the technology of the digital twin.

A digital twin is a virtual model of physical objects, processes, or systems that use data from sensors and IoT devices for simulation, monitoring, and real-time analysis, enabling optimization and detailed analysis. Digital twins are applied in various industries, including manufacturing, automotive, urban planning, and healthcare.

The convergence of new technologies is transforming engineering products in many industries, where the complexity of products is increasing to meet higher customer demands. As a result, many companies are adopting the concept of the digital twin to stay competitive, using simulations to develop realistic digital replicas of their products. Digital twins are not static models but dynamic entities that are updated throughout the product's lifecycle, enriched with data collected during its use.

One of the most prestigious global technology companies, Siemens, is also at the forefront of leading digital twins. Siemens is involved in a wide range of industrial sectors, including electronics, automation, energy, transportation, healthcare, and digital technologies.

The paper provides examples of several companies that have implemented a digital twin in their production, and their results will be presented.

Additionally, the paper describes a five-step approach to planning a digital twin based on the literature. The same planning concept is partially applied at the end of this paper on the example of the Learning Factory located at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb.

Keywords: digital twins, industry 4.0, Learning factory

1. Uvod

Poznato je da se proizvodnja tijekom povijesti mijenjala, poboljšavala i konstantno prilagođavala novim i drugačijim potrebama čovječanstva. Industrijske revolucije predstavljaju ključne prekretnice u razvoju ljudske civilizacije, transformirajući ekonomije, društva i tehnologije na način koji je oblikovao moderni svijet kakvog znamo. Svaka industrijska revolucija donijela je novu fazu tehnoloških i organizacijskih promjena, od kojih svaka označava prijelaz u napredniji i kompleksniji način proizvodnje i organizacije rada.

Krenuvši od prve industrijske revolucije, koja je započela krajem 18. stoljeća, obilježena je uvođenjem parnog stroja i mehanizacije u proizvodnju. Ovaj prijelaz iz agrarnog u industrijski svijet započeo je u Britaniji, gdje su se razvili tekstilna industrija, rudarenje i transport. Parni je stroj omogućio proizvodnju većeg obujma i bržeg tempa.

Zatim, druga industrijska revolucija, koja je nastupila krajem 19. i početkom 20. stoljeća, bila je obilježena masovnom proizvodnjom, uvođenjem novih materijala, poput čelika, a osnovna promjena je bila primjena električne energije. U industriji je to omogućilo rad u još većem obujmu, ubrzanje proizvodnih procesa i stvaranje novih industrijskih sektora poput automobilske i kemijske industrije.

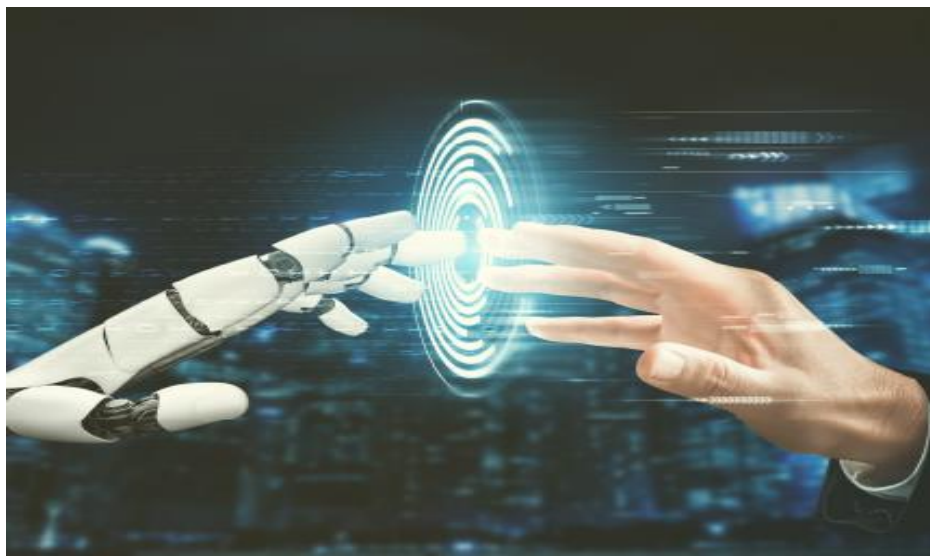
Slijedi je treća industrijska revolucija, koja je započela u drugoj polovici 20. stoljeća. Bila je povezana s pojavom informatičkih tehnologija, računalne automatizacije i digitalizacije. Uvođenjem računala i naprednih komunikacijskih tehnologija, proizvodnja je postala mnogo preciznija, brža i fleksibilnija. Automatizacija proizvodnih linija, uvođenje robotike i razmjena podataka putem interneta počeli su oblikovati globalne lance opskrbe i podizati efikasnost u svim industrijskim sektorima.

Prolazak kroz navedene industrijske revolucije omogućilo je dolazak do današnje faze, industrije 4.0.

Četvrta industrijska revolucija, koja je započela početkom 21. stoljeća, označava integraciju digitalnih, fizičkih i bioloških sustava. Temeljena na naprednim tehnologijama poput umjetne inteligencije (AI), interneta stvari (IoT), big data analize, 3D modeliranja, autonomnih vozila i slično. Industrija 4.0 omogućava stvaranje pametnih tvornica, gdje su proizvodni procesi visoko automatizirani, povezani i optimizirani. Ova revolucija ne samo da mijenja način na koji proizvodimo, nego također duboko utječe na društvo, radna mjesta, ekonomske strukture i način života. [1]

1.1. Koncept industrije 4.0

Industrija 4.0 predstavlja novo poglavlje u tehnološkom napretku. Mjesto gdje se povezuju ljudi, strojevi, procesi i podaci u pametne sustave koji omogućuju prediktivno održavanje, personaliziranu proizvodnju, efikasnije korištenje resursa i održivi rast. Ova revolucija donosi ne samo promjene u proizvodnim industrijama, nego i transformaciju društva, što postavlja izazove i prilike za buduće generacije. [2]



Slika 1. – U dodiru sa tehnologijom

1.2. Alati i tehnologije industrije 4.0

Industrija 4.0 donosi brojne tehnologije i alate koji omogućuju stvaranje "pametnih" proizvodnih sustava, povezivanje objekata i sustava u stvarnom vremenu te optimizaciju svih dijelova proizvodnje. Jedne od glavnih tehnologija i alata koji čine osnovu Industrije 4.0 uključuju:

- IoT (eng. Internet of things) - u središtu industrije 4.0 je Internet stvari. Internet stvari omogućuje povezivanje fizičkih objekata s internetom, čime se omogućava razmjena podataka između uređaja i sustava. U industriji, IoT uređaji mogu pratiti i optimizirati proizvodne procese, prikupljati podatke u stvarnom vremenu te omogućiti daljinsko upravljanje i nadzor.
- *Big data* analiza - s ogromnim količinama podataka generiranim u industrijskim sustavima, Big Data tehnologije omogućuju prikupljanje, pohranu i analizu tih podataka kako bi se izvukli korisni uvidi. Analizom podataka pomaže u predviđanju problema, optimizaciji proizvodnje, povećavanju učinkovitosti i smanjenju troškova.

- AI (artificial intelligence) - umjetna inteligencija i strojno učenje koriste se za analizu velikih količina podataka i donošenje odluka u stvarnom vremenu. AI omogućuje prediktivno održavanje, optimizaciju proizvodnih procesa, personalizaciju proizvoda i automatizaciju složenih zadataka.
- 3D modeliranje – tj. 3D printanje omogućuje brzo stvaranje prototipa, proizvodnju složenih dijelova i čak personaliziranu proizvodnju na zahtjeve kupaca. Ova tehnologija smanjuje troškove proizvodnje, skraćuje vrijeme potrebno za razvoj proizvoda te omogućuje fleksibilnost u dizajnu.
- VR/AR (virtual reality/augmented reality) - Virtualna (VR) i proširena stvarnost (AR) koriste se za obuku radnika, održavanje opreme, projektiranje i simulacije proizvodnih procesa. AR može pružiti radnicima informacije u stvarnom vremenu, kao što su upute za popravak ili vizualizacija podataka u stvarnom okruženju, dok VR omogućuje simulacije i testiranje proizvoda i sustava prije nego što dođe do stvarne proizvodnje.
- Pametne tvornice - pametne tvornice koriste tehnologije poput IoT, AI, robotike i automatizacije kako bi optimizirale proizvodne procese. Ovi sustavi mogu samostalno prepoznavati probleme, optimizirati procese i prilagoditi proizvodnju u stvarnom vremenu, smanjujući potrebu za ljudskim nadzorom i povećavajući efikasnost.
- Robotika/Automatizacija - napredni industrijski roboti, često u kombinaciji s AI, mogu izvoditi složene zadatke u proizvodnji, poput montaže, pakiranja i provjere. Automatizacija smanjuje ljudsku pogrešku, povećava preciznost i efikasnost te omogućuje rad u opasnim ili teškim uvjetima.
- **Digital twins** - digitalni blizanci su digitalne replike fizičkih objekata ili sustava koje omogućuju simulaciju njihovog ponašanja i funkcioniranja u stvarnom vremenu. Ovi modeli pomažu u testiranju novih rješenja, optimizaciji održavanja i smanjenju rizika u proizvodnji. Pošto je ovo glavna tema ovog rada detaljnije slijedi u nastavku.

Sve navedene tehnologije, zajedno s naprednim sustavima za upravljanje proizvodnjom, omogućuju tvrtkama da stvaraju fleksibilnije, efikasnije i održivije proizvodne procese te da brže odgovore na promjene u potražnji i uvjetima tržišta. Industrija 4.0 predstavlja stvaranje potpuno digitaliziranih, povezanih i automatiziranih proizvodnih ekosustava koji imaju potencijal za revolucioniranje globalne industrije.

2. Digitalni blizanac

Ova tehnologija poboljšava performanse povezanih strojeva unutar proizvodnih pogona, omogućujući im da efikasnije koordiniraju i izvršavaju zadatke. Riječ je o virtualnim modelima fizičkih objekata, procesa ili sustava koji omogućuju simulacije, praćenje i analizu u stvarnom vremenu. Korištenjem podataka sa senzora, IoT uređaja i drugih izvora, digitalni blizanac stvara virtualnu sliku stvarnog sustava ili objekta, što omogućuje njegovu detaljnu analizu i optimizaciju. Ova tehnologija nalazi primjenu u različitim industrijama, od proizvodnje i automobilske industrije do urbanog planiranja i medicine. [3]

Konvergencija različitih tehnologija u posljednjim godinama značajno je transformirala inženjerske proizvode u brojnim industrijama. Ako ste uključeni u razvoj novih proizvoda koji zahtijevaju ozbiljan inženjerski rad (poput aviona, strojeva, automobila i slično) sigurno ste svjesni tih promjena. Kupci danas imaju veće zahtjeve, a kako bi im udovoljili, vaši proizvodi i procesi postaju sve složeniji. Ova povećana složenost donosi značajne izazove. Čak i dugovječne tvrtke s bogatim iskustvom u određenim područjima mogu imati poteškoća u primjeni svog znanja u novim, nastajućim tehnologijama. Zbog toga mnoge tvrtke usvajaju koncept digitalnog blizanca kako bi ostale konkurentne, koristeći simulacije i testiranja za razvoj realističnih digitalnih kopija svojih proizvoda. Digitalni blizanci nisu samo statični CAD modeli; oni su dinamična entiteti koji se razvijaju, nadopunjuju i ažuriraju kroz cijeli životni ciklus proizvoda, obogaćeni podacima koji se prikupljaju tijekom njegove uporabe. [4], [5]



Slika 2. – Primjer digitalnog blizanca

2.1. Osnovni koncepti i komponente digitalnog blizanca

U literaturi je opisano pet osnovnih koncepta digitalnog blizanca prikazanih u tablici 1, te četiri osnovne komponente prikazane u tablici 2.

Fizički entitet	Riječ je o stvarnom objektu, sustavu ili procesu koji se modelira. Može biti pogon, proizvodna linija, proizvod, zgrada, vozilo, organ ili čak cijeli grad.
Digitalni model	Virtualna kopija fizičkog entiteta, koja uključuje sve relevantne informacije o njegovim svojstvima, ponašanju i karakteristikama. Taj model može biti jednostavan 3D model, složen simulacijski model ili dinamički model temeljen na podacima sa senzora. Termin digitalni model koristi se za model u kojem ne postoji automatizirana razmjena podataka između fizičkog svijeta i digitalnog svijeta, te u kojem se sva razmjena podataka provodi ručno.
Podaci u stvarnom vremenu	Senzori, IoT uređaji i drugi izvori podataka pružaju kontinuirane informacije o stanju fizičkog entiteta. Ovi podaci mogu uključivati temperaturne promjene, vibracije, brzinu, tlak i mnoge druge varijable.
Analitika i simulacije	Podaci koji se prikupljaju iz stvarnog svijeta se analiziraju kako bi se optimizirao rad fizičkog entiteta. Digitalni blizanc može koristiti simulacije za predviđanje ponašanja sustava, testiranje novih uvjeta, identificiranje mogućih kvarova ili optimiziranje performansa.
Unapređivanje i razvoj	Digitalni blizanc nije statičan. S vremenom, kako fizički objekt stari, koristi se i podvrgava promjenama, tako i digitalni model mora evoluirati. Povratne informacije s terena, uključujući održavanje, popravke i druge operativne podatke, omogućuju prilagodbu i poboljšanje digitalnog modela tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda ili sustava.

Tablica 1. - Osnovni koncepti digitalnog blizanca

IoT i senzori	Senzori prikupljaju podatke u stvarnom vremenu. To mogu biti senzori temperature, tlaka, vibracija, GPS uređaji ili čak kamere za vizualno praćenje.
Povezanost podatak	Prikupljeni podaci se prenose u centralni sustav, obično putem interneta, gdje se obrađuju i analiziraju. <i>Cloud computing</i> i <i>edge computing</i> tehnologije igraju ključnu ulogu u omogućavanju obrade podataka na velikim skalama.
Simulacijski modeli i algoritmi	Temelj digitalnog blizanca je stvaranje preciznog simulacijskog modela stvarnog objekta ili sustava. Ovaj model koristi napredne algoritme za predviđanje ponašanja entiteta u različitim uvjetima.
Vizualizacija	Podaci se često predstavljaju u obliku grafičkih prikaza, 3D modela ili interaktivnih sučelja koja omogućuju korisnicima da bolje razumiju stanje sustava ili objekta.

Tablica 2. - Osnovne komponente digitalnog blizanca

2.2. Vrste digitalnih blizanaca

- **Proizvodni bliznac:** Ovaj tip digitalnog blizanca koristi se za praćenje proizvodnih linija ili pojedinačnih strojeva. Na temelju podataka sa senzora, moguće je analizirati performanse opreme, predvidjeti kvarove i optimizirati proizvodni proces.
- **Bliznac sustava:** Ovaj tip koristi se za kompleksne sustave poput transportnih mreža, energetske mreže, zgrada ili automobila. Digitalni bliznac može simulirati cijeli sustav i analizirati međusobne interakcije između različitih komponenti.
- **Individualni bliznac:** Ovdje se modelira specifičan objekt, poput pojedinačnog automobila, zgrade ili čak ljudskog organa. Ovaj tip digitalnog blizanca omogućuje personalizaciju i precizno praćenje specifičnih varijabli u određenim uvjetima.
- **Uslužni bliznac:** Ovdje se modeliraju procesi u uslužnim industrijama, kao što su maloprodaja, zdravstvo ili financije, kako bi se optimizirali poslovni procesi i poboljšala korisnička iskustva.

2.3. Primjeri primjena digitalnog blizanca

Digitalni se blizanac primjenjuje u raznovrsnim djelatnostima:

- a) **Proizvodnja i industrija:** U industriji, digitalni blizanac se koristi za nadzor strojeva i proizvodnih linija, analizu podataka za optimizaciju proizvodnih procesa, smanjenje troškova i povećanje učinkovitosti. Može biti problematično točno identificirati proizvodne probleme bez informacija u stvarnom vremenu. "Production Digital Twin" pruža vizualizaciju u stvarnom vremenu, strojno učenje i scenarije "što-ako" koji omogućuju kontinuirana poboljšanja u proizvodnji i troškovima. Implementacija nudi jasniji uvid u operacije, minimizira rizik, te smanjuje vrijeme zastoja i vrijeme do tržišta.
- b) **Energetika:** Digitalni blizanac koristi se za praćenje i optimizaciju rada energetske infrastrukture, uključujući vjetroturbine, solarne panele i energetske mreže. Prediktivno održavanje smanjuje zastoje i povećava učinkovitost.
- c) **Medicina:** Kako medicinski uređaji postaju sve složeniji, a prilagođeni proizvodi sve češći, praćenje regulatornih standarda i brzih promjena na tržištu postaje izazovno. Uspješno suočavanje s tim izazovima zahtijeva obnovljeni fokus na operativnu izvrsnost simuliranjem scenarija unaprijed. Primjerice, "Siemens Production Twin" može igrati ključnu ulogu povezivanjem inženjeringa i operacija, stvarajući digitalnu reprezentaciju proizvodnog procesa. U medicini, digitalni blizanac može predstavljati virtualni model pacijenta, temeljen na podacima o njegovom zdravlju. Ovo omogućuje personaliziranu medicinu i bolje praćenje stanja pacijenta.
- d) **Automobilska industrija:** Digitalni blizanac nudi proizvođačima automobila mogućnost simulacije tvornica, postrojenja, procesa radnih stanica i slično. Tvrtke mogu steći sposobnost digitalnog modeliranja svih aspekata svojih proizvodnih operacija radi optimizirane učinkovitosti u virtualnom 3D okruženju. Nadalje, koriste digitalne blizance za simulaciju rada vozila, testiranje različitih uvjeta vožnje i poboljšanje dizajna vozila. Kako je rekao direktor inženjeringa u Rimac automobilima Daniele Giachi: "Želite imati savršenu korelaciju između stvarnog i virtualnog testiranja kako biste minimizirali rizik kada razbijete prototip automobila koji košta milijun eura (*crash test*)". [6]

- e) **Gradovi i infrastruktura:** U urbanom planiranju, digitalni blizanac može predstavljati cijeli grad, uključujući prometnu infrastrukturu, energetske sustave i zgrade. To omogućuje bolju analizu u pogledu prometa, zagađenja i održivosti.
- f) **Zrakoplovstvo:** U zrakoplovstvu, digitalni blizanac se koristi za praćenje stanja aviona, analiziranje performansi letova i predviđanje potrebnih popravaka na temelju podataka sa senzora.

2.3.1. Primjeri stvarnih kompanija

„Omogućujemo najopsežnijeg digitalnog blizanca za predviđanje ponašanja, optimizaciju performansi i validaciju najsloženijih proizvoda. Saznajte kako danas donosimo mogućnosti sutrašnjice našim kupcima.“ [7] - riječi su kompanije Siemens koja je među vrhu vođenja digitalnih blizanaca čiji rad će biti detaljnije opisan u idućem poglavlju. Kompanija Siemens je također napravila nekolicinu istraživanja od kojih su dva izdvojena u nastavku.

2.3.1.1. Istraživanje kompanije „Estun Automation“

Osnovana 1993. godine, Estun Automation Company je pionir u područjima kontrole kretanja, industrijske robotike i kompletnim rješenjima u Kini. S tri desetljeća iskustva u naprednoj robotici i inovacijama, Estun je prepoznat i cijenjen međunarodni brend, koji se drži korporativne



misije da "svatko uživa u automatizaciji". Estun posluje u 64 zemlje i regije, pružajući kupcima neposredne, praktične i potpune poslovne usluge. [8]

Iako je prodaja industrijskih robota i automatiziranih proizvoda glavni fokus, Estun se također usmjerava na druge povoljne industrije. To uključuje litijumske baterije, fotonaponske tehnologije i novu energiju, pružajući specifično automatizirane proizvodne linije za ove vrste proizvodnih tvrtki.

Na primjer, tvrtka pomaže u proizvodnji i implementaciji robota razvijenih za industriju litijumskih baterija. Ovi roboti omogućuju veću učinkovitost tijekom proizvodnje baterija. Međutim, u proizvodnji baterija postoje složene specifičnosti koje kompliciraju proizvodni proces.

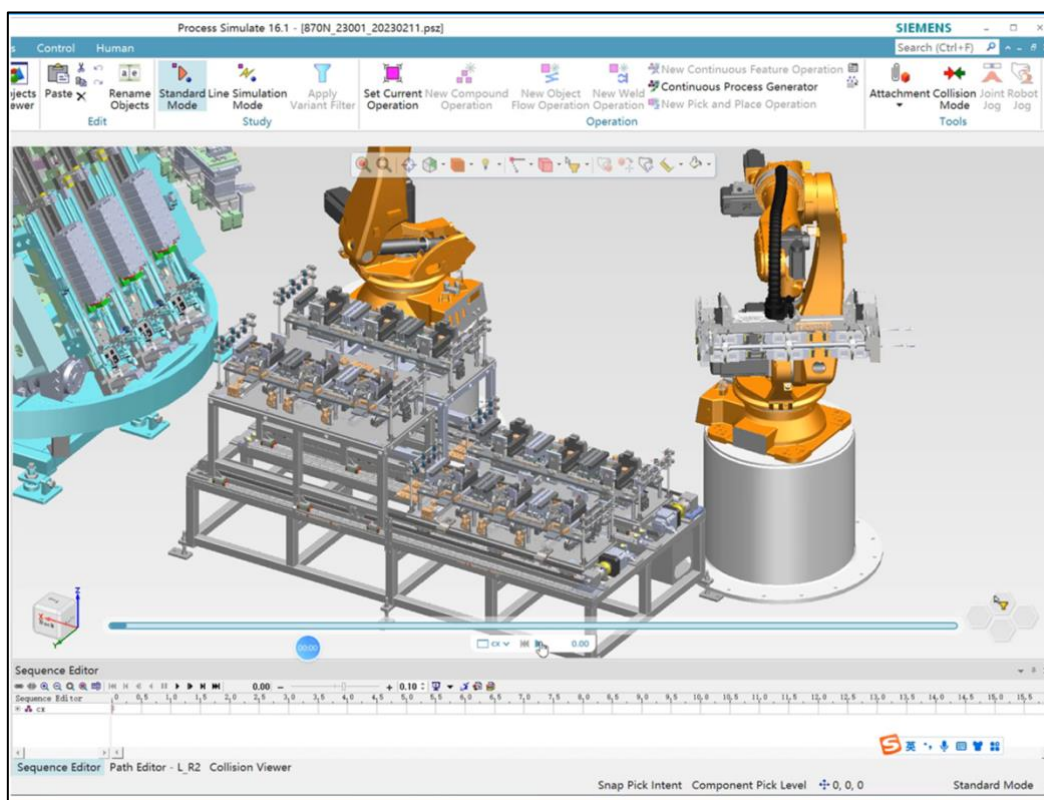
Estun je shvatio da je jedini način za rješavanje tih proizvodnih složenosti korištenje prilagođenog proizvodnog rješenja. Također, potražnja za proizvodima vezanim uz baterije je jako rasla što tradicionalna oprema nije mogla pratiti.

Kako bi prevladao te izazove, Estun se okrenuo “Tecnomatix“, koji je dio “Siemens Digital Industries Software“ kao svom partneru za digitalnu proizvodnju. [9]



Slika 3. – Prikaz proizvodnje u kompaniji „ESTUN“

Estun je počeo koristiti mogućnosti virtualnog puštanja u rad industrijskog simulacijskog softvera Siemens Process Simulate u okviru Tecnomatix-a kako bi unaprijedio transformaciju svog R&D-a. Tvrka koristi Process Simulate za poboljšanje proizvodne učinkovitosti i fleksibilnosti, uz istovremeno održavanje visokih standarda kvalitete.



Slika 4. – Digitalni prikaz automatizirane proizvodnje ESTUN-a u Tecnomatix Process Simulate

Koriste Process Simulate u digitalnom okruženju za dizajniranje, validaciju i optimizaciju mehaničkih, robotskih i automatiziranih sustava za proizvodnju litijumskih baterija i fotonaponske tehnologije.

Korištenjem Siemensove simulacije i tehnologije virtualnog puštanja u rad, Estunovi inženjeri mogu kreirati sveobuhvatnog digitalnog blizanca u Process Simulate za proizvodnu opremu i proizvodne procese. Digitalni blizanc pruža vizualizaciju cijelog procesa, pomažući inženjerima automatski provjeriti mehaničke smetnje i spriječiti više problema tijekom fizičkog implementiranja sustava.

Korištenjem tehnologije offline programiranja, Estun može eliminirati smetnje robota na proizvodnoj liniji, ostvariti učinkovitost i fleksibilnost proizvodne linije te smanjiti rizike od kvarova i gubitaka. Paralelno, korištenjem tehnologije interneta stvari (IoT), tvrtka može postići prikupljanje podataka i analizu, pružajući potporu podacima za daljnju optimizaciju i nadogradnju proizvodne linije.

Estun je iskoristio digitalizaciju kako bi transformirao svoje tradicionalne operacije i skratio ciklus razvoja i ispravljanja pogrešaka na proizvodnoj liniji. Što je još važnije, pomoglo je Estunu da brzo povрати kapital, smanji visoke troškove razvoja i ispravljanja pogrešaka na terenu te postigne neposrednu kontrolu nad proizvodnim procesom. [9]

„Korištenjem Tecnomatix Process Simulate, smanjili smo vrijeme puštanja u rad za 30 posto i ukupne troškove za 20 posto, što našim kupcima donosi kraće proizvodne periode i poboljšanu učinkovitost.“ kaže Jonas Xu, projektni menadžer za digitalno poslovanje u Estunu.

IZAZOVI	KLJUČ USPJEHA	REZULTATI
Smanjiti vrijeme puštanja proizvodne linije u rad na teren i virtualnog ispravljanja pogrešaka	Korištenje Process Simulate za ubrzanje dizajniranja, validacije i implementacije proizvoda	Smanjeno vrijeme puštanja u rad na terenu za 30 posto
Smanjiti troškove osiguravanja kvalitete	Kombiniranje modula za offline programiranje kako bi se uštedjelo vrijeme i smanjili troškovi	Ubrzani procesi osiguravanja kvalitete i smanjeni ukupni troškovi za 20 posto
Implementirati prilagođenu proizvodnu opremu za jedinstvene zahtjeve baterija	Provedba puštanja u rad automatiziranih proizvodnih linija na terenu	Korištenje digitalizacije za poboljšanje procesa planiranja i ispravljanja pogrešaka proizvodne linije

Tablica 3. – Prikaz unapređenja Estun kompanije uz pomoć digitalnog blizanca

„Korištenje Tecnomatix Process Simulate nas pokreće naprijed, oblikujući agilne proizvodne linije koje nadmašuju konkurenciju. U ovoj konkurentnoj industriji, inovacija nije samo izbor; ona je naša strateška prednost.“ - rekao je Xiaolei Chang, General Manager for Digital Business, Estun Automation [9]

2.3.1.2. Istraživanje kompanije „ Paulaner brewery“

Paulaner pivovara osnovana je 1634. godine u Münchenu, Njemačka. Danas Paulaner proizvodi oko 2,4 milijuna bačvi ili 280 milijuna litara piva godišnje šaljući ih u 70 zemalja. To je jedna od šest pivovara koje opskrbljuju pivo za Oktoberfest, njemački festival piva koji datira iz 1810. godine. [10]

Postoji niz faktora koje je potrebno uzeti u obzir prilikom projektiranja pivovare, uključujući sezonsku potražnju, promet proizvoda te kvalitetu i svježinu. Za učinkovito upravljanje tim faktorima potrebna je visoko automatizirana i



sofisticirana tehnologija, stoga je osobito važno osigurati da procesi mogu zadovoljiti trenutne i buduće zahtjeve.

Korištenjem simulacije proizvođač piva može odrediti troškovno najučinkovitija i dugoročna održiva rješenja planiranja, te se također lako mogu prepoznati uska grla i isplanirati najbolje strategije za profitabilno zadovoljenje potražnje kupaca.

Na trenutnoj lokaciji proizvodnje Paulanera nema prostora za proširenje, a čak i da postoji, bliske prometne veze nisu dovoljne da bi se omogućio veći volumen proizvoda. Kako bi omogućili rast tvrtke, Paulaner je započeo planiranje nove pivovare na periferiji Münchena.

Kako bi olakšali izgradnju najmodernije pivovare, Paulaner je dobio rješenje za industriju pića koristeći “Plant Simulation iz Tecnomatix-a” tvrtke “Siemens Digital Industries Software“. Rješenje uključuje pivovarske specifične objekte, poput kuća za kuhanje, fermentacijskih spremnika, filtera, linija za punjenje i skladišta. Korištenjem ovih objekata lako je istražiti proizvodni proces i procijeniti različite strategije i scenarije planiranja.

Nakon uvoza u Plant Simulation, komponente modela generiraju se i automatski konfiguriraju prema ulaznim podacima (npr. potražnja kupaca i karakteristike procesnih koraka (pivovara, fermentacija, filter, BBT, punjenje, skladište)). To se rješenje čini jednostavnim za korištenje i stvara priliku za učinkovito istraživanje mnogih različitih scenarija u kratkom vremenskom razdoblju. Rješenje pruža mnoge različite ključne pokazatelje izvedbe za procjenu učinkovitosti pivovare. [11]

Paulanerovi ciljevi za ovaj projekt bili su nastavak poboljšanja ključnih pokazatelja izvedbe, uključujući potrošnju energije, potrošnju vode i gubitke ekstrakta, implementacija ekološki prihvatljivih energetske koncepta te osiguravanje da su procesi, radni tokovi i kapaciteti uravnoteženi i optimizirani.

Korištenjem “Plant Simulation“, Paulaner je bio u mogućnosti riješiti nekoliko ključnih problema. To je uključivalo određivanje postojećih uskih grla, razvijanje najboljih strategija (kao što su čišćenje, zamjene...), razumijevanje granica nove planirane pivovare u pogledu očekivanih budućih proizvoda i potražnje, utvrđivanje najboljeg pristupa za usklađivanje potražnje kupaca, veličina serija, te razumijevanje izvedbe različitih strategija raspoređivanja u funkciji mješavine proizvoda i količine.

U složenim sustavima s velikim međusobnim ovisnostima, kao što su postrojenja za proizvodnju piva, gotovo je nemoguće ručno procijeniti kako će sustav funkcionirati. Korištenje tehnologije Plant Simulation čini učinkovito upravljanje takvim međusobnim ovisnostima stvarnošću. Nakon što je dokazao svoju vrijednost, Paulaner smatra Plant Simulation ključnim alatom za planiranje svog trenutnog i budućeg uspjeha. [11]

IZAZOVI	KLJUČ USPJEHA	REZULTATI
Odrediti odgovarajuće dimenzije komponenti za pivovaru	Osigurati kvalitetu proizvoda sa stabilnim i usklađenim proizvodnim tokom	Razvijene optimalne strategije za ispunjavanje potražnje kupaca
Ulagati u odgovarajuću opremu	Usporediti alternativne strategije održavanja	Shvaćene posljedice različitih strategija sekvenciranja
Razviti izvedive i robusne proizvodne planove	Identificirati i ukloniti uska grla	Prepoznata ograničenja planirane pivovare za buduće proizvode i zahtjeve Osigurana kvaliteta proizvoda

Tablica 4. – Prikaz unapređenja Paulner kompanije uz pomoć digitalnog blizanca

2.4. Prednosti i problemi digitalnog blizanca

Iako povećana povezanost, računalna snaga, napredni alati za simulaciju više fizikalnih sustava, IoT i novi nivoi automatizacije omogućuju ostvarenje cjelovitog digitalnog blizanca u proizvodnji, tvrtke i dalje imaju poteškoća zbog složene prirode kompleksnih sustava, nedostatka dosljednog okvira i precizne razine integracije između fizičkog i digitalnog svijeta te razmjene podataka.

2.4.1. Prednosti digitalnog blizanca

Prednosti digitalnog blizanca bi se mogle kategorizirati na sljedeći način:

1. **Optimizacija performansi:** Digitalni blizanc omogućuje stalno praćenje i analizu objekta ili sustava, što omogućuje optimizaciju performansi i smanjenje troškova.
2. **Preventivno održavanje:** Korištenjem prediktivnih modela i podataka u stvarnom vremenu, moguće je predvidjeti kada će doći do kvara ili smanjenja učinkovitosti, što omogućuje planiranje preventivnog održavanja.
3. **Brža inovacija:** Digitalni blizanc omogućuje testiranje novih ideja i rješenja u virtualnom okruženju prije nego što se implementiraju u stvarnom svijetu, čime se smanjuje rizik i vrijeme potrebno za razvoj novih proizvoda ili usluga.
4. **Poboljšanje dizajna i razvoja:** Korištenjem digitalnih blizanca moguće je iterativno poboljšavati dizajn proizvoda ili sustava u stvarnom vremenu, na temelju podataka i simulacija.
5. **Povećanje sigurnosti:** U industrijama poput automobilske i zrakoplovne, digitalni blizanci omogućuju simulaciju sigurnosnih uvjeta i testiranje različitih scenarija kako bi se povećala sigurnost.

2.4.2. Problemi vezani za digitalne blizance

Problemi digitalnog blizanca su sljedeći:

1. **Integracija podataka:** Potrebno je učinkovito integrirati podatke sa različitih izvora, uključujući senzore, IoT uređaje, povijesne podatke i simulacijske modele.
2. **Sigurnost podataka:** Korištenje velikih količina osjetljivih podataka može predstavljati sigurnosne prijetnje, što zahtijeva snažnu zaštitu podataka.
3. **Kompleksnost modeliranja:** Kreiranje preciznih digitalnih blizanaca zahtijeva složene simulacije i modele, što može biti skupo i vremenski zahtjevno.
4. **Skalabilnost:** Primjena digitalnih blizanaca na velikim sustavima, poput gradova ili industrijskih kompleksa, zahtijeva velike računalne resurse i naprednu infrastrukturu.

3. Siemens Tecnomatix

Već je prethodno spomenuto da je kompanija Siemens među vodećim tehnološkim kompanijama svijeta sa sjedištem u Njemačkoj. Osnovana je 1847. godine u Berlinu, a osnivač kompanije bio je Werner von Siemens. Siemens se bavi širokim spektrom industrijskih sektora, uključujući elektroniku, automatizaciju, energetiku, transport, zdravstvo, kao i digitalne tehnologije. Kod nas u Hrvatskoj najpoznatiji su po kućanskim aparatima i telekomunikacijskim uređajima. Uz sve navedeno, Siemens razvija i Siemens Tecnomatix.

Siemens Tecnomatix je Siemensov softverski paket za industrijsku automatizaciju i digitalnu proizvodnju. Ovaj paket je dio šireg portfelja kompanije Siemens Digital Industries i koristi se za unapređenje i optimizaciju proizvodnih procesa, od dizajniranja proizvoda do njihovog finalnog sklapanja. Tecnomatix je ključni alat u kontekstu Industrije 4.0 jer omogućava integraciju digitalnih tehnologija u proizvodne procese i omogućava tvornice da postanu "pametne" i potpuno povezane. [12], [13]

Glavne funkcionalnosti Siemens Tecnomatix-a:

1. **Digitalna proizvodnja** (Digital manufacturing): Tecnomatix pomaže u simulaciji, analizi i optimizaciji proizvodnih procesa prije nego što proizvodnja zapravo počne. Korištenjem digitalnih blizanaca (eng. digital twins), omogućava se precizno modeliranje proizvoda i proizvodnih linija, čime se smanjuje rizik od grešaka i poboljšava efikasnost.
2. **Simulacija proizvodnih procesa**: Ovaj softver omogućava simulaciju i analizu različitih proizvodnih procesa, uključujući montažu, obradnu proizvodnju i logistiku. Korištenjem simulacija, inženjeri mogu predvidjeti moguće probleme u proizvodnji, optimizirati tokove rada i smanjiti vrijeme proizvodnje.
3. **Automatizacija proizvodnih sustava**: Tecnomatix se koristi za automatizaciju različitih aspekata proizvodnje, uključujući planiranje proizvodnje, raspoređivanje resursa, koordinaciju robota i drugih automatiziranih sustava.
4. **Inženjering u proizvodnji**: Tecnomatix pruža alate za inženjering koji omogućuju kreiranje preciznih digitalnih modela proizvodnih sustava, kao i optimizaciju opreme, alata i radnih stanica. Ovo pomaže u postizanju visoke proizvodne efikasnosti i smanjenju vremena postavljanja proizvodnih linija.

5. **Fleksibilnost planiranja proizvodnje i upravljanje resursima:** Softver omogućava detaljno planiranje proizvodnje, uključujući resurse kao što su ljudi, strojevi i materijali. Ovaj alat pomaže u optimizaciji rasporeda rada, smanjuje zastoje i poboljšava ukupnu efikasnost proizvodnog procesa.
6. **Tehnologija za upravljanje kvalitetom** (eng. Quality Management): Tecnomatix nudi alate za upravljanje kvalitetom kroz cijeli proizvodni proces. Pomaže u praćenju i kontroli kvalitete proizvoda, omogućujući prepoznavanje problema u ranim fazama proizvodnje i smanjenje broja neispravnih proizvoda.
7. **Inovacija uz umjetničku inteligenciju i analizu podataka:** Siemens Tecnomatix integrira napredne analitičke alate i tehnologije temeljene na umjetnoj inteligenciji za prediktivno održavanje i analizu proizvodnih podataka. Ovo omogućava bolju predikciju potencijalnih kvarova i neefikasnosti, bržu reakciju na bilo kakve smetnje u proizvodnji kao i nova inovativna rješenja.

[14], [15]

Siemens Tecnomatix se sastoji od nekoliko komponenti, odnosno modula, a glavni moduli su:

1. Process Simulate: Simulacija i optimizacija proizvodnih linija i procesa.
2. Plant Simulation: Simulacija proizvodnih sustava i analize protoka materijala.
 - *Sankey Diagram* jedan je od alata koji omogućuje inženjerima postrojenja (eng. plant designers) brzi pregled toka materijala čime se mogu sniziti troškovi ugradnje montažnih linija, smanjiti broj traženih viličara, kao i smanjenje investicija u postrojenje čak i do 30%. [13]
3. Robot Expert: Specijalizirani za simulaciju robota i automatiziranih sustava.
4. Teamcenter: Rješenje za upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM), povezivanje inženjeringa, proizvodnje i operacija.
5. Tecnomatix Manufacturing Apps: Aplikacije za planiranje i optimizaciju specifičnih proizvodnih operacija, poput montaže, pakiranja i ispitivanja.

[13], [15]

3.1. Mogućnosti primjene Siemens Tecnomatix-a za razvoj digitalnog blizanca

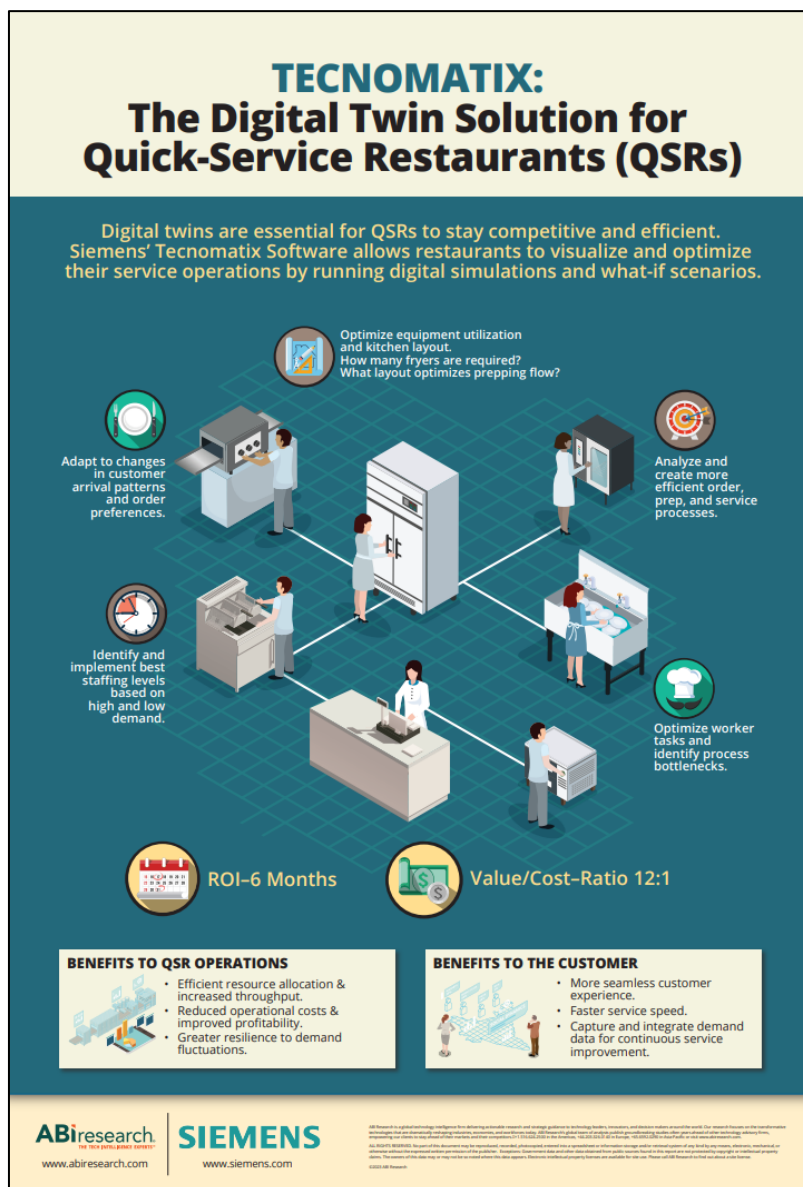
Kao što je već spomenuto, Siemens Tecnomatix je vrlo svestran softverski alat koji nudi širok spektar mogućnosti za optimizaciju i digitalizaciju proizvodnih procesa. Može se primijeniti u različitim industrijama i fazama proizvodnog ciklusa, od planiranja i dizajniranja do samog izvođenja proizvodnje i post-proizvodnih operacija. Siemens Tecnomatix nudi niz mogućnosti za razvoj i primjenu digitalnih blizanaca u industrijskim i proizvodnim procesima.

Neke od ključnih mogućnosti primjene Siemens Tecnomatix-a za razvoj digitalnih blizanaca prikazani su u tablici ispod:

1. Kreiranje digitalnih blizanaca proizvodnih linija	Siemens Tecnomatix omogućava stvaranje digitalnog blizanca proizvodnih linija, uključujući sve elemente proizvodnog sustava, od strojeva, opreme, radnih stanica do protoka materijala i radnih procesa. Ovi digitalni modeli omogućuju simulaciju i optimizaciju proizvodnje u virtualnom svijetu prije implementacije u stvarni svijet.
2. Simulacija i optimizacija proizvodnih procesa	Korištenjem digitalnog blizanca proizvodne linije ili montažnog procesa, Tecnomatix omogućava simulaciju različitih scenarija i optimizaciju proizvodnje. Virtualni modeli daju mogućnost testiranja promjena u proizvodnom procesu, analizu toka materijala, operacija i način rada, bez potrebe za fizičkim preseljenjem ili prekidom proizvodnje.
3. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda	Mogućnost korištenja Tecnomatix-a za razvoj digitalnog blizanca proizvoda, gdje se stvara virtualni model proizvoda kroz njegov cijeli životni ciklus, od dizajniranja, razvoja i testiranja, do proizvodnje i post-produkcije. Ovaj model omogućava stalno praćenje performansi proizvoda i predviđanje mogućih problema u kasnijim fazama.

4. Integracija sa IoT uređajima i praćenje u stvarnom vremenu	Korištenjem <i>Internet of Things</i> (IoT) uređaja, Siemens Tecnomatix omogućava praćenje fizičkog proizvoda ili proizvodnog sustava u stvarnom vremenu. Digitalni bliznac je u stalnoj interakciji s stvarnim sustavom, prikupljajući podatke o performansama, stanju opreme i produktivnosti. Ovi podaci se zatim koriste za optimizaciju procesa ili prediktivno održavanje.
5. Obuka i simulacija za zaposlenike	Digitalni blizanci mogu se koristiti kao alat za obuku radnika na proizvodnim linijama. Umjesto fizičkog pristupa opremi, radnici mogu koristiti simulirane modele proizvodnih sustava i opreme za obuku, što smanjuje rizik od nesreća i grešaka u stvarnoj proizvodnji.
6. Prediktivno održavanje	Korištenjem digitalnog blizanca za praćenje stanja opreme i sustava, Tecnomatix omogućava prediktivno održavanje, gdje se kvarovi mogu predvidjeti prije nego što se dogode. To uključuje analizu podataka sa senzora, praćenje performansi i otkrivanje abnormalnosti u stvarnom vremenu.

Tablica 5. – Moguće primjene Siemens Tecnomatix-a za razvoj digitalnog blizanca



Slika 5. – Primjer primjene Tecnomatix-a

U prethodnom smo se poglavlju upoznali sa dva primjera iz stvarnog života gdje su kompanije „Estun automation“ i „Paulaner brewery“ načinili digitalne blizance svojih procesa i pogona. U ta dva primjera bili su korišteni neki od glavnih modula Siemens Tecnomatixa. U slučaju „Estun automation“ bio je korišten modul Process simulate, dok se u slučaju „Paulaner brewery“ koristio Plant simulation.

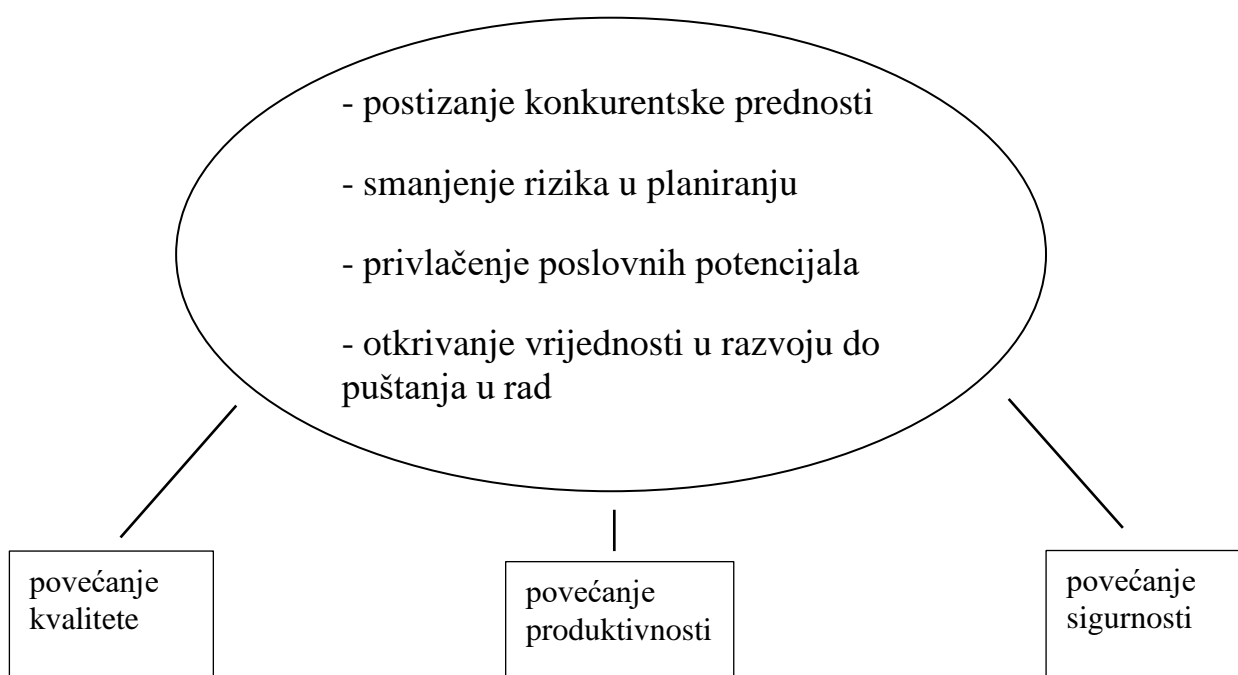
3.1.1. Process simulate (simulacija procesa)

Siemens Process Simulate je snažan alat koji omogućava simulaciju i optimizaciju proizvodnih procesa prije nego što dođe do stvarne proizvodnje. Pomoću simulacija, analize vremena ciklusa, optimizacije robotike i upravljanja resursima, Process Simulate pomaže u smanjenju troškova, povećanju efikasnosti i poboljšanju kvalitete. Ovaj alat je ključan za tvrtke koje žele implementirati principe Industrije 4.0, digitalizirati svoje proizvodne procese i unaprijediti konkurentnost.



Slika 6. – Vizualni prikaz Process simulate

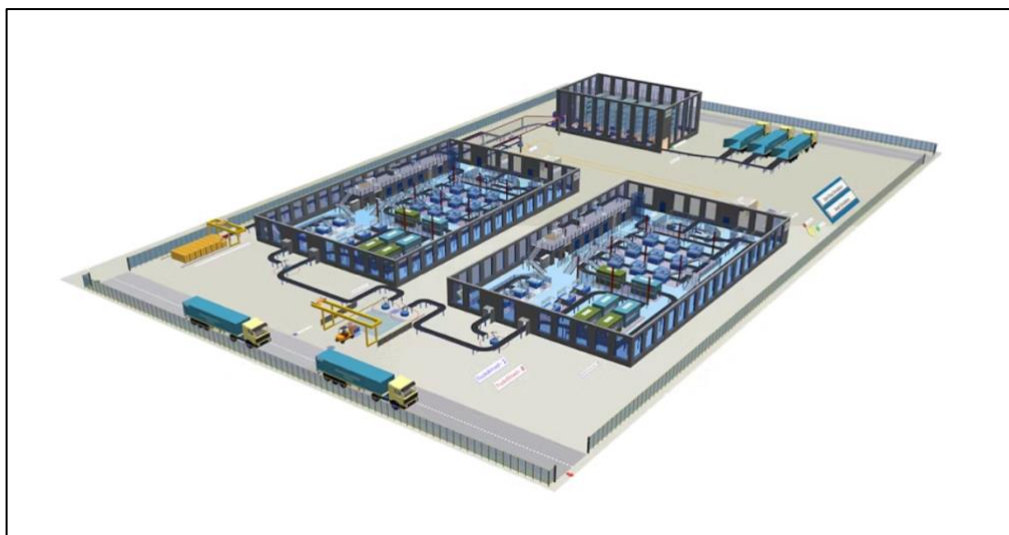
[16]Koristeći Process simulate dobivamo sljedeće:



Slika 7. – Savladavanje problema u proizvodnji uz Process simulate

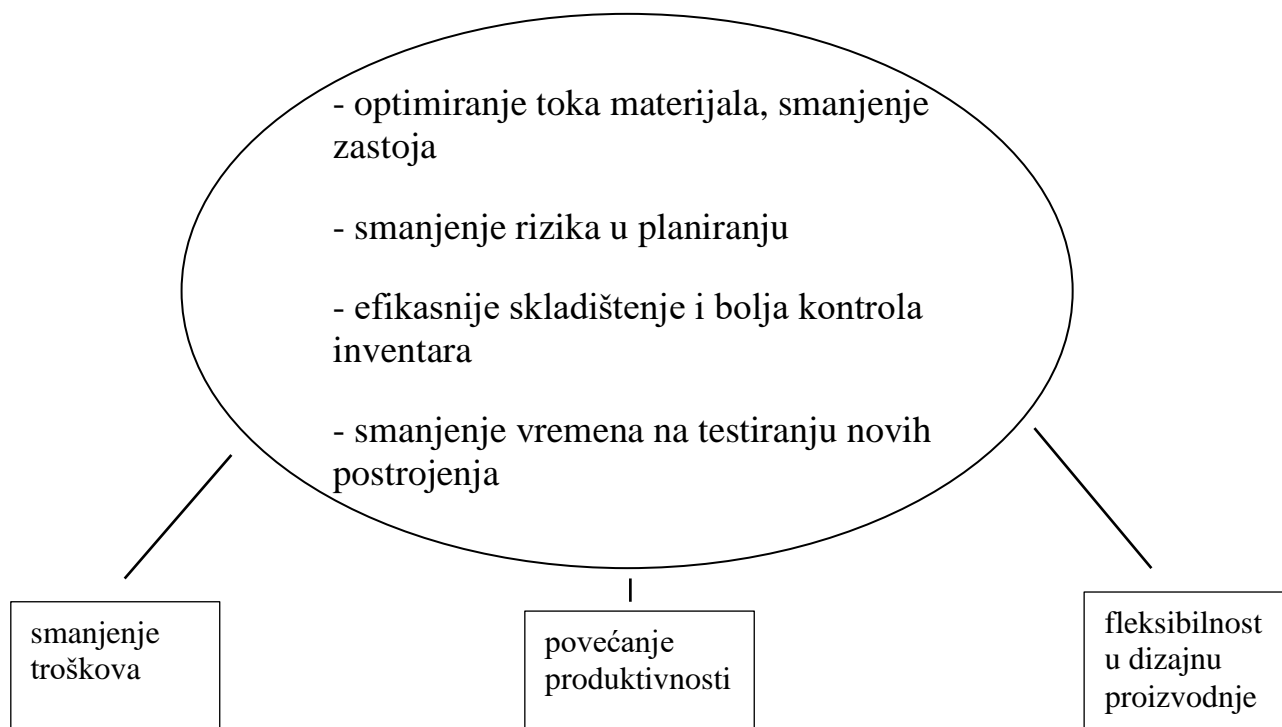
3.1.2. Plant simulation(simulacija pogona)

Plant Simulation je napredni softverski alat za simulaciju proizvodnih sustava i optimizaciju proizvodnih procesa. Razvijen od strane Siemens Digital Industries Software, ovaj alat omogućuje inženjerima i menadžerima da stvore digitalne modele proizvodnih linija, skladišta, distribucijskih sustava i drugih industrijskih okruženja, te da simuliraju, analiziraju i optimiziraju performanse tih sustava.



Slika 8. – Vizualni prikaz simulacije pogona

[13], [17] Koristeći Plant Simulation dobivamo sljedeće:



Slika 9. – Savladavanje problema u proizvodnji Plant simulation

3.2. Siemens+Nvidia



Ovo poglavlje je dodano iz razloga što je veoma zanimljivo vidjeti spoj dvije velike tehnološke kompanije.

"Rad u industrijskom metaverzumu" - Siemens i NVIDIA unapređuju usvajanje i razvoj industrijskih digitalnih blizanaca unutar industrijskog metaverzuma.

NVIDIA je američka tehnološka kompanija koja je najpoznatija po razvoju grafičkih procesorskih jedinica (GPU), koje se koriste u računalnim igrama, profesionalnoj grafici, umjetnoj inteligenciji (AI), računalnim simulacijama i drugim područjima koja zahtijevaju veliku računalsku moć.

NVIDIA i Siemens rade na tome da industrijski metaverzum postane realnost kroz inovacije koje omogućavaju lakšu integraciju digitalnih blizanaca u proizvodne sisteme, čime se povećava efikasnost i omogućava bolja kontrola i optimizacija procesa.

Ovaj trend omogućava firmama da bolje analiziraju performanse opreme, planiraju održavanje, optimiziraju proizvodnju i uoče potencijalne probleme prije nego nastanu i to sve u virtualnom okruženju koje simulira stvarni svijet.

Povezivanjem NVIDIA Omniverse-a i Siemens Xcelerator Ecosystem-a povećat će brzinu i učinkovitost dizajna proizvodnje, samih proizvodnih procesa kao i pomoći u savladavanju prepreka.

A to omogućuje upravo spoj Siemensovog sveobuhvatnog digitalnog blizanca ,uključujući jedan od najboljih softvera za virtualnu proizvodnju, kolaboraciju, dizajn, operacije, i NVIDIA Omnivers-a baziranog na USD (eng. universal scene description) koji spaja široki krug softverskih alata i korisnika uz AI, fizičku preciznu vizualizaciju te realistično fizikalno praćenje koraka uz *ray tracing* tehnologije (tehnika za simulaciju ponašanja svjetlosti u 3D prostoru kako bi se postigao realističniji prikaz scena u video igrama, filmovima, simulacijama i drugim vizualnim aplikacijama podržan NVIDIA RTX grafičkim karticama). [18]

Siemens se bavi razvojem industrijskih rješenja, a NVIDIA svojim GPU-ima omogućuje vrhunske performanse za renderiranje i simulacije u visokoj kvaliteti.



Slika 10. – Prikaz Siemens Tecnomatix-a i NVIDIA Omniverse-a

Siemens i NVIDIA su prepoznali da zajedno mogu stvoriti moćnu platformu koja ujedinjuje industrijski *know-how* Siemens-a s naprednim računalnim AI tehnologijama NVIDIA-e. Kroz Omniverse omogućuju bolju suradnju, bržu optimizaciju te simulacije u realnom vremenu koje industrijama mogu pomoći da postanu efikasnije, održivije i inovativnije.

4. Pristup planiranja digitalnog blizanca u 5 koraka

U ovome poglavlju bit će razjašnjen koncept pristupa planiranja digitalnog blizanca u pet koraka prikazanog u radu znanstvenika sa Fakulteta strojarstva iz Ljubljane [14]. U radu je početno dana distinkcija između pojmova digitalnog modela, digitalne sjene i digitalnog blizanca, a kao takvi pojmovi će se koristiti i u ovom radu. U nastavku slijedi definiranje ova tri pojma kako je opisano u spomenutom radu.

- Digitalni model -

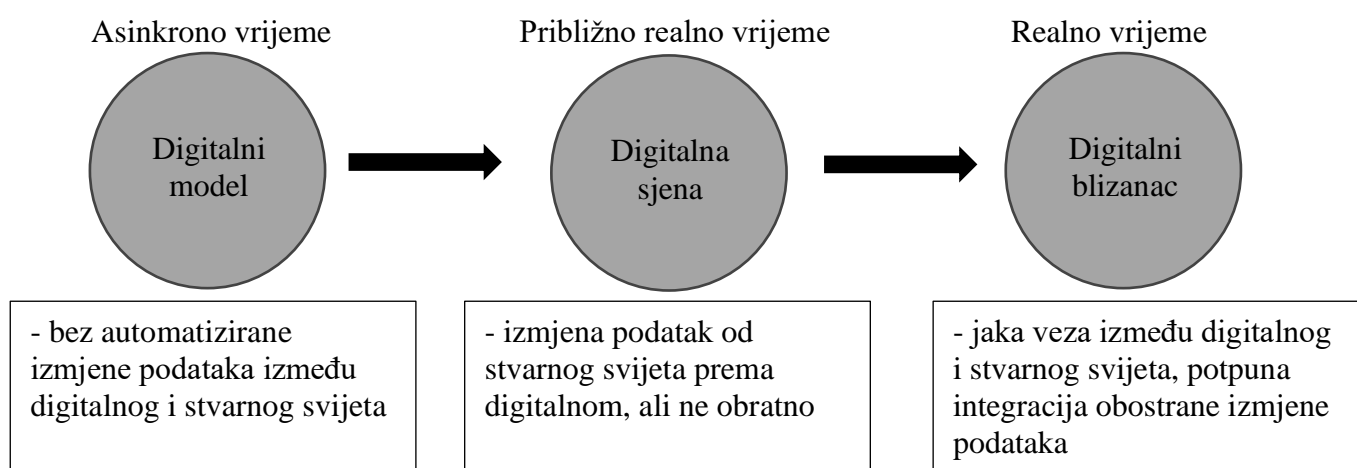
virtualna je kopija stvarnog objekta ili sustava bez automatizirane izmjene podataka u realnom vremenu sa stvarnim objektom ili sustavom. Koristi se za simulaciju i analizu ponašanja stvarnog objekta ili sustava, ali ne u realnom vremenu. Njegovu izradu uključuju prije već definirani parametri te uz pomoć veza sa stvarnim objektom ili sustavom omogućava se izrada digitalnog blizanca

- Digitalna sjena -

virtualni je prikaz stvarnog objekta ili sustava koji je manje kompleksan od digitalnog blizanca, ali za razliku od digitalnog modela, prikuplja podatke u realnom vremenu stvarnog objekta ili sustava ali bez punog simulirajućeg modela. Pasivna je refleksija stvarnog entiteta.

- Digitalni blizanc -

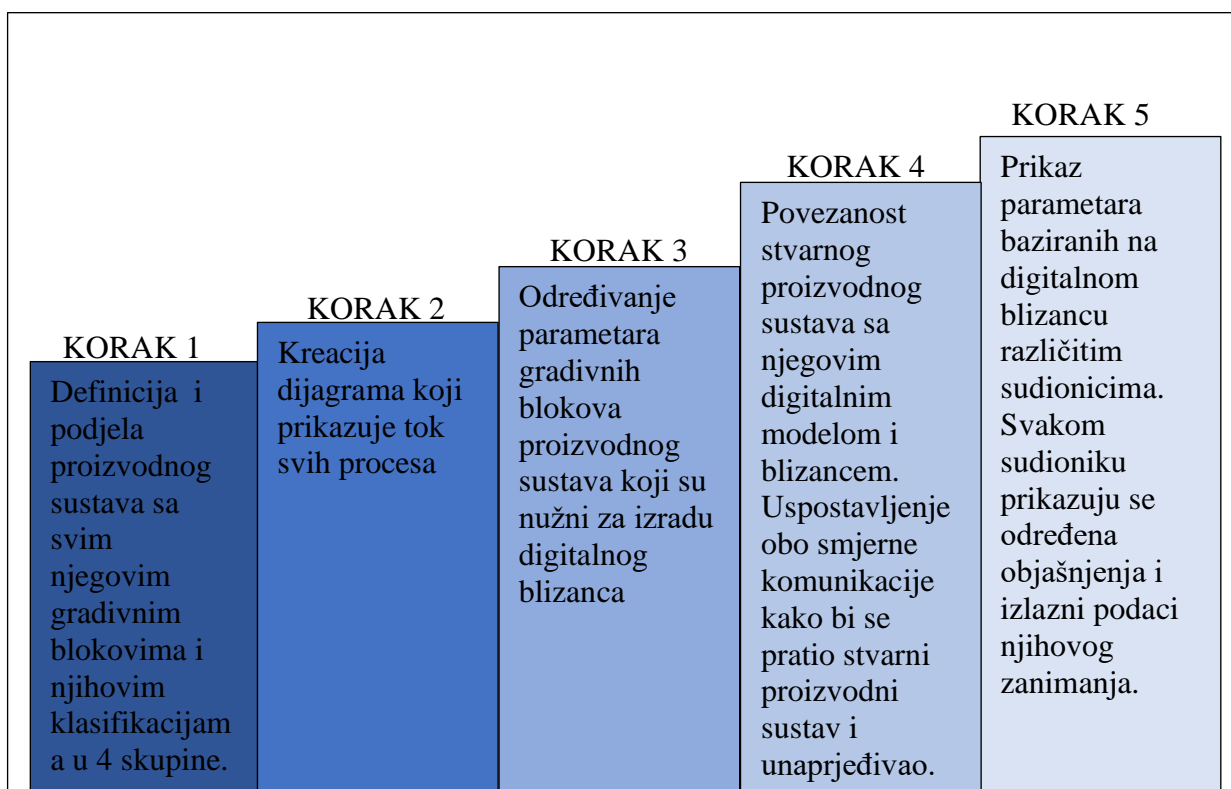
najkompleksniji je od navedenih pojmova i predstavlja virtualnu kopiju stvarnog objekta ili sustava, koji se koriste za simulaciju, analizu i optimizaciju u realnom vremenu. Aktivno koristi podatke iz stvarnog svijeta (sa senzora, IoT uređaja...) da se stalno ažurira i omogućava prediktivne analize.



Zbog ovih razlika, digitalni blizanci obično nalaze primjenu u situacijama gdje je potrebno prediktivno održavanje, optimizacija ili detaljna simulacija u stvarnom vremenu, dok digitalni modeli i sjene služe za specifičnije ili manje dinamične analize.

Na slici 11. prikazan je model planiranja digitalnog blizanca u pet koraka. Prednost ovog pristupa je što daje jasnu strukturu pristupu izrade digitalnog blizanca naročito kroz klasifikaciju gradivnih blokova u njihovu kategorizaciju u skupine koja se može primijeniti na bilo koju vrstu i veličinu diskretnog proizvodnog sustava.

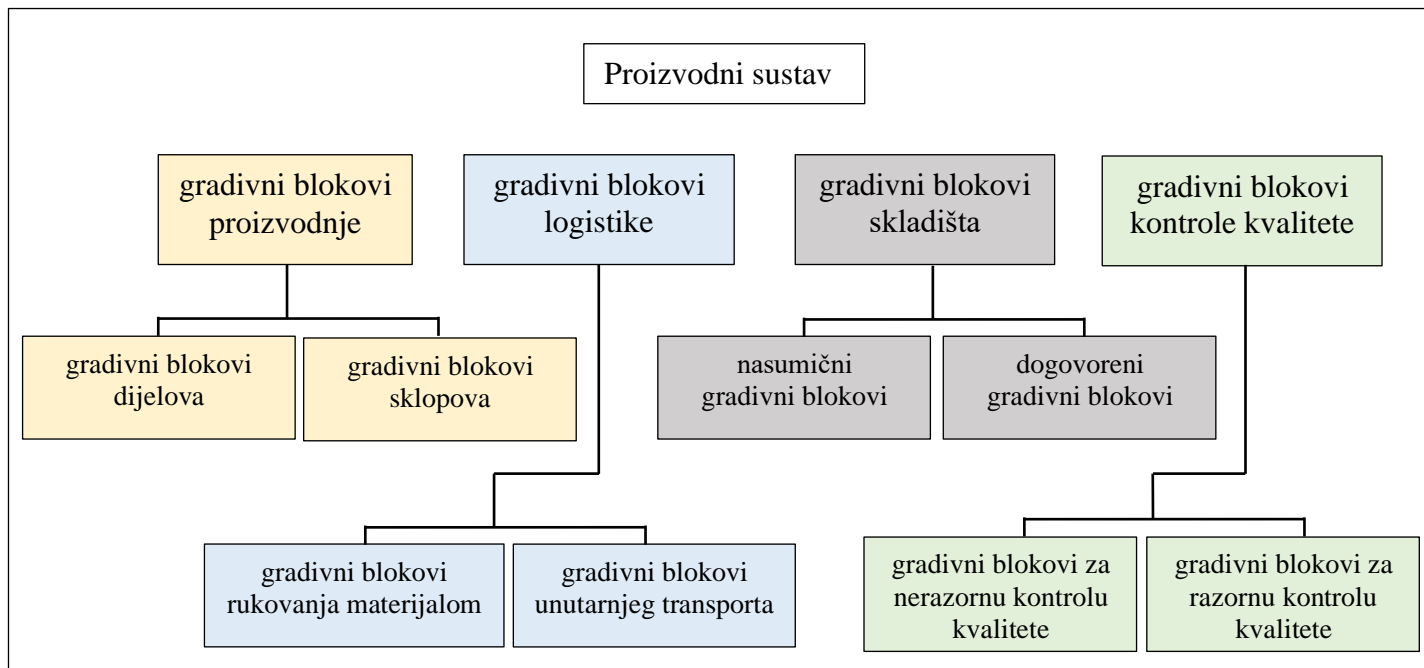
Predstavljen je pristup na sljedeći način:



Slika 11. – 5 koraka planiranja digitalnog blizanca

4.1. KORAK 1

U prvom koraku potrebno je definirati sam proizvodni sustav i njegove gradivne blokove te iste klasificirati u nekoliko grupa. U nastavku je prikaz podijele u četiri glavne grupe i njihove podgrupe.



Slika 12. – Prikaz podjele gradivnih blokova u skupine

[13]

Razlog podjele proizvodnog sustava u četiri skupine je taj što svaka skupina ima specifične parametre i svoj način kreiranja digitalnog blizanca te se takvom klasifikacijom gradivni blokovi mogu smjestiti u pripadajuće skupine.

U prvu skupinu spadaju gradivni blokovi za procese proizvodnje. Ovu skupinu karakterizira sljedeće: lokacija proizvoda ostaje nepromijenjena (tokom određene operacije ne mijenja lokaciju), generira se nova geometrija proizvoda (ili promjene u strukturi materijala, npr. toplinska obrada) i prikupljaju se nove informacije. Skupina se dijeli na dvije podgrupe, na gradivne blokove dijelova, ako je u procesu jedan dio (operacije glodanja, savijanja i slično) i sklopova, ako je u procesu više dijelova (operacije montaže, zavarivanja i slično).

U drugu skupinu spadaju gradivni blokovi za logističke procese te je karakterizira sljedeće: lokacija proizvoda se mijenja, količina informacija i geometrija/struktura materijala proizvoda ostaje ista. Ovisno o stroju ili osobi zaduženoj za logističke procese gradivni blokovi dodjeljuju se ili u gradivne blokove rukovanja materijalom, oni imaju fiksnu poziciju ali se položaj proizvoda mijenja (npr. kolaborativni roboti, konvejeri...), ili u gradivne blokove unutarnjeg transporta koji se kreću zajedno sa proizvodom (npr. viličari).

Treća skupina je skupina gradivnih blokova skladišta koju karakterizira sljedeće: lokacija i geometrija/struktura materijala proizvoda ostaju nepromijenjeni kao i količina informacija. Unutar skupine gradivni blokovi dodjeljuju se ili u nasumične gradivne blokove gdje proizvodi

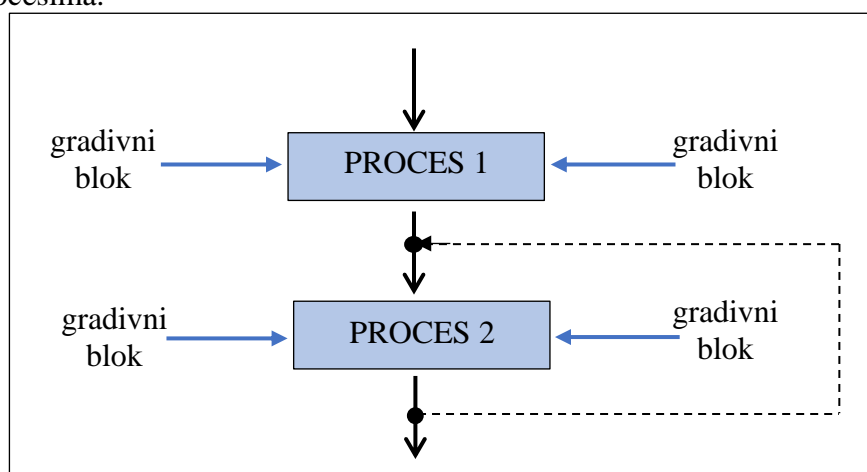
nisu orijentirani ili postavljeni u određeni redoslijed (npr. kutije, stolovi) ili dogovorene gdje su proizvodi orijentirani ili postavljeni u redoslijed (npr. palete, skladište).

Posljednja skupina jesu gradivni blokovi za kontrolu kvalitete koju karakterizira sljedeće: lokacija proizvoda ostaje nepromijenjena dok se dodaju informacije – ispravan ili neispravan proizvod. Skupina se dijeli na: gradivne blokove nerazorne kontrole kvalitete gdje struktura i geometrija proizvoda ostaju nepromijenjeni (npr. blokovi za ultrazvučne metode mjerenja, optičke kontrole, itd.) i gradivne blokove razorne kontrole kvalitete gdje se struktura i geometrija proizvoda mijenjaju (npr. ispitivanje tvrdoće, ispitivanje na pritisak, razvlačenje i sl.) te kao rezultat proizvod obično bude uništen i neupotrebljiv za daljnju obradu. [14]

4.2. KORAK 2

Kako bi se razvio digitalni model i kasnije digitalni blizanac, potrebno je detaljno definirati proizvodni sustav kao i njegove sve procese i njihov slijed. To će se prikazati uz pomoć funkcionalnog dijagrama koji se bazira na prethodnoj podijeli gradivnih blokova u četiri skupine. [14]

Dijagrama započinje definiranjem prvog procesa proizvodnog sustava, potom slijedi niz drugih procesa koje izvide gradivni blokovi. Dijagram sadrži informacije gradivnih blokova koji sudjeluju u procesima.



Slika 13. – Prikaz funkcionalnog dijagrama

Strelice prikazuju protok procesa. Informacije se karakteriziraju na sljedeći način:

- Ulazi uključuju informacije o sastavnim dijelovima koji se koriste za izvođenje procesa te također informacije o materijalu i dijelovima potrebnim za proces.
- Izlazi jesu izlazne informacije npr. izlazni proizvod ili poluproizvod, izlazna informacija o procesu (vrijeme, protočnost, produktivnost isl.). [14]

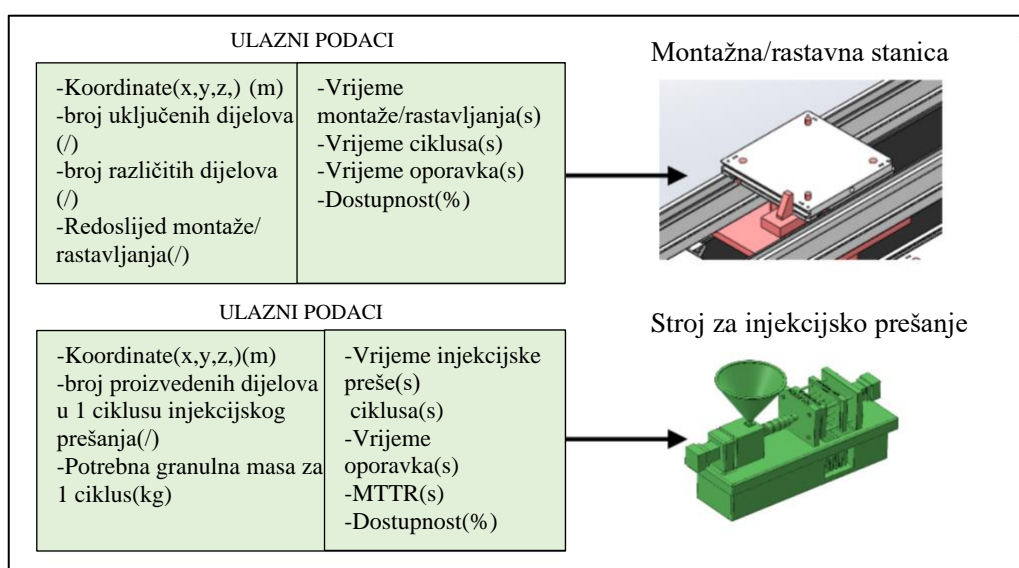
4.3. KORAK 3

Treći korak predstavlja sam razvoj digitalnog modela kojemu prethodi jasno definiranje svih parametara samog sustava potrebnih za izradu modela. Razvoj digitalnog modela kao i definirani parametri su isti bez obzira u kojem softveru se simulacija odvija. Potrebno je definirati specifične parametre gradivnih blokova koji omogućuju točnu i efikasnu izvedbu operacija digitalnog modela što u produžetku predstavlja bazu digitalnog blizanca primajući povratne informacije iz kontrolnog kruga stvarnog sustava.

4.3.1. Definiranje parametara

Parametri sustava moraju biti pažljivo definirani, inače sustav postaje nepregledan i neizvodljiv. Radi toga, parametri gradivnih blokova su definirani na osnovi klasifikacija proizvodnog sustava (slika 12.) uzimajući u obzir njihova ograničenja.

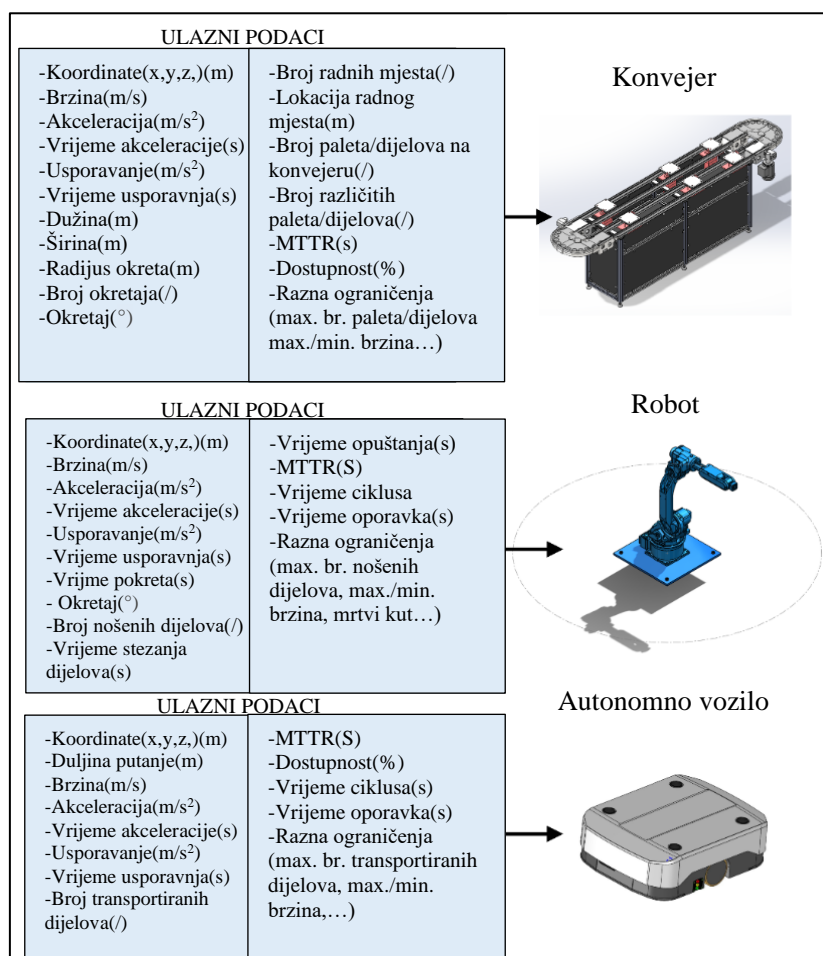
Fokus ovog istraživanja je razvoj digitalnog modela za logistiku (tj. protok materijala), stoga je potrebno uključiti parametre koji izravno utječu na logističke procese a to su vremenski intervali operacija (npr. montaža, glodanje, injekcijsko oblikovanje...). Gradivni blokovi proizvodnje zahtijevaju informacije o MTTR-u (eng. mean time to repair - glavno vrijeme popravka), koje je definirano kao prosječno vrijeme potrebno za popravak neispravnog gradivnog bloka. Iako je mnogo gradivnih blokova za proizvodnju u stvarnim proizvodnim sustavima, ovdje se definirani parametri za neke od njih koji su često uključeni u linearne montažne linije. [14]



Slika 14. - Dva primjera gradivnih blokova proizvodnje

Važni parametri za gradivne blokove rukovanja materijalom su koordinate, koje određuju lokaciju i orijentaciju gradivnog bloka u proizvodnom sustavu. Ostali parametri uključuju brzinu, ubrzanje i usporavanje s vremenom, dimenzije, broj dijelova uključenih u proces, različite vremenske parametre, kao i razna ograničenja (npr. brzina, ubrzanje, usporavanje, maksimalni broj dijelova obrađenih u ciklusu, mrtvi kut za robote). Za razvoj digitalnog modela nužno je uzeti u obzir dostupnost i trenutni status gradivnih blokova, a u slučaju transporta dijelova pomoću stroja, MTTR također mora biti definiran. [14]

Gradivni blokovi unutarnjeg transporta zahtijevaju parametre koji definiraju putanju (za određivanje puta), duljinu puta, brzinu, ubrzanje i usporavanje s vremenom te vrijeme ciklusa. Drugi skup parametara uključuje broj transportiranih dijelova u ciklusu i razna ograničenja koja se moraju uzeti u obzir tijekom razvoja digitalnog modela (npr. maksimalna/minimalna brzina, maksimalno/minimalno ubrzanje i usporavanje). Slika 15. prikazuje neke primjere gradivnih blokova logistike. [14]

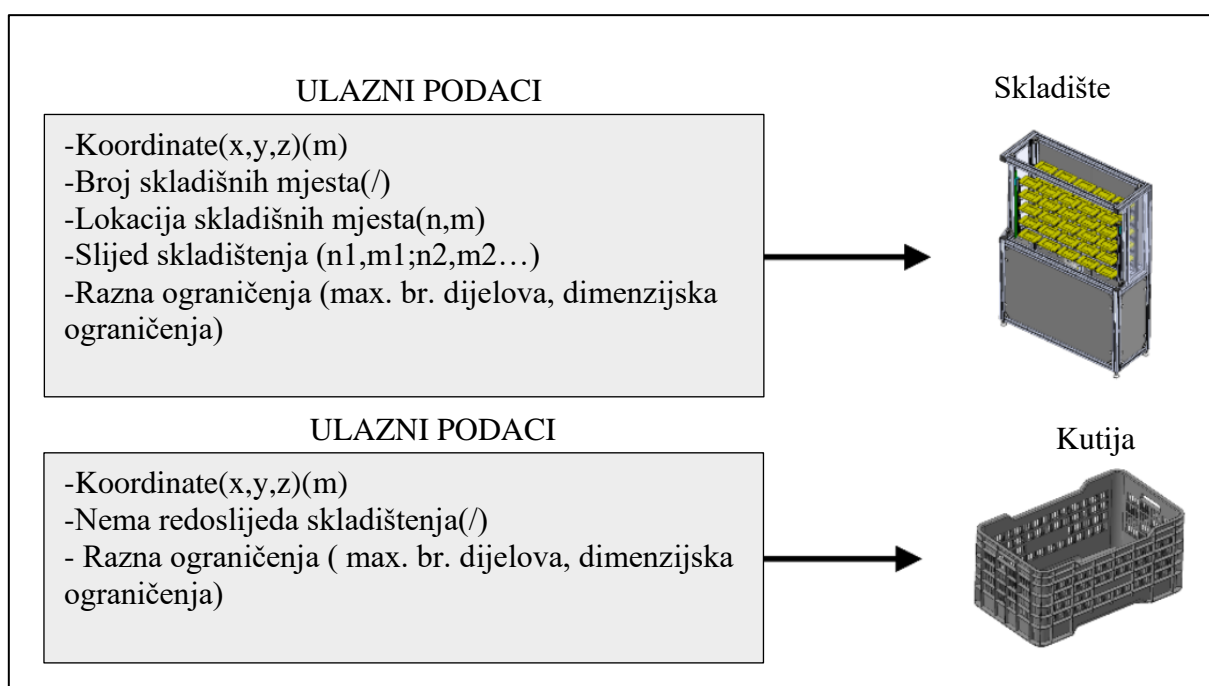


Slika 15. - Primjere gradivnih blokova logistike

Karakteristika dogovorenog gradivnog bloka je redoslijed u kojem se dijelovi utovaraju i istovaraju. Digitalni model zahtijeva informacije o raspoloživim lokacijama i o tome gdje bi sljedeći dio trebao biti pohranjen. "Dogovoreni" gradivni blokovi ograničeni su brojem lokacija i veličinom dijelova.

"Nasumični" gradivni blokovi karakterizirani su time što utovarivanje i istovarivanje nemaju dogovoreni redoslijed, a dijelovi nemaju unaprijed definiranu lokaciju. Ograničenja su volumen "nasumičnog" gradivnog bloka ili maksimalna dopuštena težina cijelog gradivnog bloka. Ove informacije su potrebne, na primjer, za određivanje vremena istovara pohranjenih dijelova.

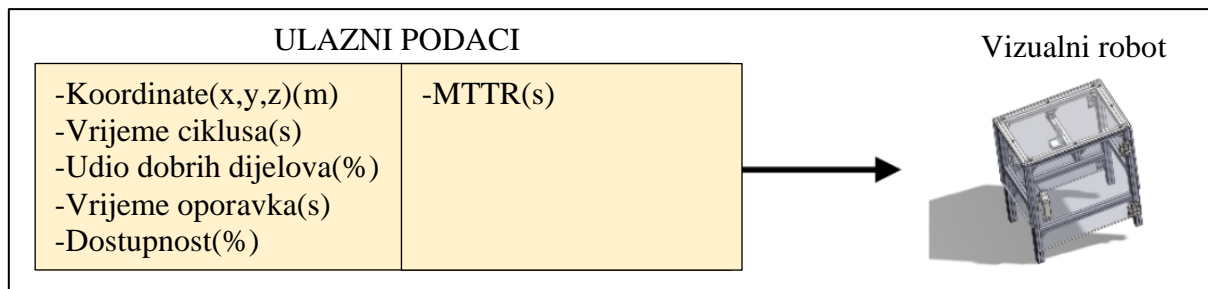
Slika 16. prikazuje parametre za dogovoreni i nasumični gradivni blok. [14]



[14]

Slika 16. - Primjeri gradivnih blokova skladišta

Grupa gradivnih blokova kontrole kvalitete zahtijeva informacije o trajanju procesa kontrole (tj. vrijeme ciklusa) i procijenjeni postotak ispravnih dijelova. Ako se za kontrolu koristi uređaj (npr. kamera, uređaj za testiranje čvrstoće...), također je potrebno definirati dostupnost uređaja i MTTR. Ova dva parametra nisu potrebna ako kontrolu provodi operator. Slika 17. prikazuje parametre za vizualnog robota.



[14]

Slika 17. - Primjer gradivnog bloka kontrole kvalitete

Digitalni model svih međusobno povezanih gradivnih blokova zahtijeva opće informacije za svoje funkcioniranje. Te informacije odnose se na količinu sirovina ili dijelova, narudžbe kupaca, raspored proizvodnje i resurse. Raspored uključuje broj smjena, vrijeme trajanja smjena, pauze, vrijeme početka smjene i vrijeme završetka smjene. [14]

4.3.2. Razvoj digitalnog modela

Ovdje će bit naglašeni najbitniji dijelovi postupka razvoja digitalnog modela. Postupak je vrlo sličan bez obzira koji softverski alati se koriste (*Siemens Tenomatix Plant Simulation, Visual Components, Delmia*, itd.).

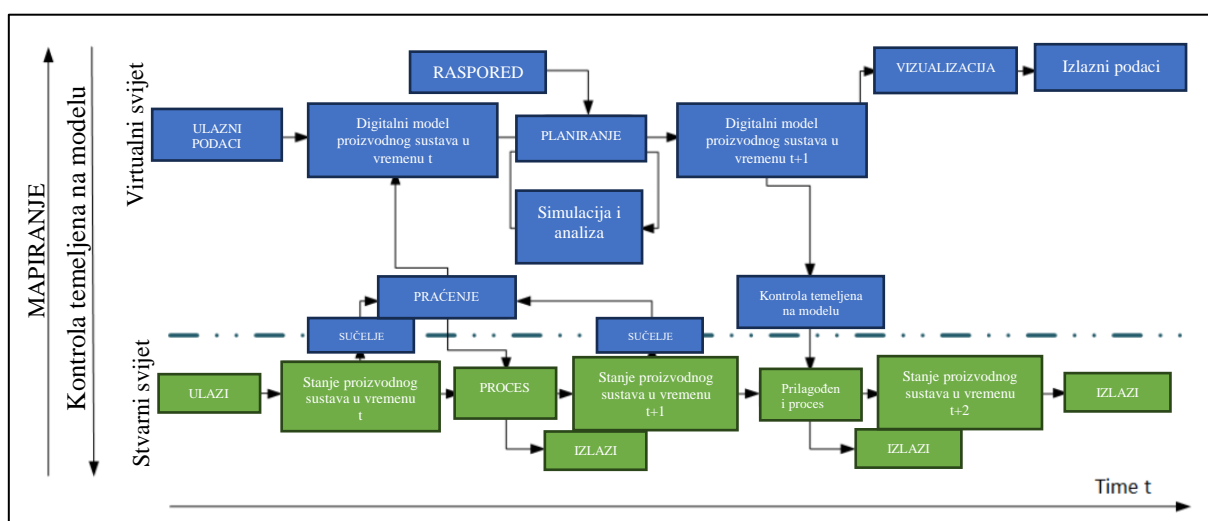
Razvoj digitalnog modela započinje definiranjem plana proizvodnog sustava za koji želimo razviti digitalni model. Plan uključuje dimenzije, vrste gradivnih blokova te lokaciju i orijentaciju gradivnih blokova u sustavu. Za sve gradivne blokove proizvodnog sustava potrebno je odrediti parametre definirane u prethodnom odjeljku 4.3.1. Ovisno o korištenom softverskom alatu za simulaciju, određene vrijednosti parametara mogu se unijeti u grafičkim sučeljima za gradivne blokove u programskoj biblioteci, za druge nestandardne gradivne blokove (koji nisu uključeni u biblioteku i obično su složeniji), potrebno je generirati programski kod.

Nakon što su parametri uneseni, gradivni blokovi su povezani u redoslijedu definiranom u KORAK 2. Kao i s parametrima, određene jednostavne ovisnosti izvršavaju se pomoću grafičkih sučelja, a za složenije ovisnosti potrebno je generirati programski kod s matematičkim funkcijama. Nakon što je razvoj digitalnog modela završen, slijedi verifikacija i validacija digitalnog modela. Ovo se mora učiniti kako bi se osiguralo da digitalni model radi točno kao i stvarni proizvodni sustav. [14]

4.4. KORAK 4

U ovom koraku prikazana je veza između digitalnog modela i stvarnog sustava. Digitalni model prikuplja i analizira podatke sa senzora instaliranih u stvarnom proizvodnom sustavu te izvodi simulaciju, na primjer, optimizira slijed narudžbi u proizvodnji. Rezultati simulacije zatim se vraćaju u stvarni sustav putem petlje povratne veze u obliku kontrolnih sekvenci. Stvarni sustav se prilagođava, dok digitalni model ponovno prikuplja i analizira podatke sa senzora i, ako je potrebno, ispravlja ulazne parametre simulacije. Takvom povezanošću stvara se digitalni bliznac.

Slika 18. prikazuje ideju veze između fizičkog i digitalnog svijeta. Fizički svijet prikazuje evoluciju proizvodnog sustava kroz vrijeme, jer se njegovo stanje mijenja kroz proces od *stanje proizvodnog sustava u vremenu t* do *stanje proizvodnog sustava u vremenu $t + 1$* . Praćenje tih stanja omogućuje razvoj *digitalni model proizvodnog sustava u vremenu t* . Zbog stalnih promjena u stvarnom sustavu, praćenje mora biti moguće u stvarnom vremenu. Na taj način model uvijek odražava stvarno stanje stvarnog sustava. Kako bi to bilo moguće, simulacije se izvode kontinuirano. Rezultat simulacije i analize je *digitalni model proizvodnog sustava u vremenu $t + 1$* . To osigurava prilagodbu procesa postojećeg stvarnog proizvodnog sustava *stanje proizvodnog sustava u vremenu $t + 1$* na novi oblik *stanje proizvodnog sustava u vremenu $t + 2$* . Na kraju, uključuju se odgovarajuća sučelja za povezivanje digitalnog i fizičkog svijeta. [14]



Slika 18. - Pozicija modela i veze između virtualnog i stvarnog svijeta

Jednostavne logičke ovisnosti procesa nabrajaju se pomoću ugrađenih funkcija softverskog alata, dok se za složenije logičke ovisnosti (matematičke algoritme) koriste digitalni agenti. Svaki digitalni agent obavlja specifičan zadatak i radi s lokalnim podacima. Digitalni agenti nadograđuju i obogaćuju digitalnog blizanca te povećavaju performanse korištenjem lokalnih podataka. Digitalni agenti primaju podatke iz digitalnog blizanca i predlažu najbolje rješenje na temelju primljenih podataka. Slijedi popis digitalnih agenata koji su razvijeni za nadogradnju digitalnog modela u digitalnog blizanca (agenti su detaljno opisani u doktorskoj disertaciji [19]):

- **Digitalni agent početnog stanja** (D.A.I.) je digitalni agent koji postavlja ispravno početno stanje proizvodnog sustava u digitalnom blizancu (npr. skladište ima 20 lokacija za osnovne dijelove i 25 lokacija za gotove proizvode; u skladištu se na određenim lokacijama nalaze 3 osnovna dijela i 7 gotovih proizvoda).
- **Digitalni agent narudžbi** (D.A.O.) je digitalni agent koji određuje koje narudžbe mogu biti proizvedene na temelju provjera trenutnog stanja sustava.
- **Digitalni agent proizvodnje** (D.A.M.) je digitalni agent koji određuje optimalni plan proizvodnje, tj. redoslijed montažnih operacija za svaku narudžbu i koji građevni blokovi će izvršavati montažne operacije.
- **Digitalni agent zadataka** (D.A.J.) je digitalni agent koji generira sve zadatke za robote i koordinira redoslijed tih zadataka.
- **Digitalni agent smetnji** (D.A.D.) je digitalni agent odgovoran za provjeru i rješavanje neplaniranih smetnji; agent detektira smetnju, provjerava moguće rješenja i, ako je moguće, nudi rješenje za njezino rješavanje.
- **Digitalni agent inteligentnog algoritma** (D.A.A.) je digitalni agent s ekspert sustavom dizajniranim za optimizaciju rasporeda pomoću inteligentnog algoritma.
- **Globalni digitalni agent** (G.D.A.) je globalni digitalni agent koji koordinira i prati rad svih digitalnih agenata te osigurava ispravan protok komunikacije. [20]

Značajna prednost povezivanja stvarnog i virtualnog svijeta je stalna razmjena informacija i prilagodba stvarnog sustava na temelju digitalnog blizanca. Kako bi se postigla takva povezanost, potrebno je instalirati različite senzore u stvarni proizvodni sustav. Tip senzora ovisi o parametrima koji se moraju razmjenjivati. Lokacije senzora variraju; u stvarnom proizvodnom sustavu obično se instaliraju ispred i iza građevnog bloka. Takvom instalacijom

senzora, relevantni podaci o proizvodnji dobivaju se iz stvarnog sustava prije ulaska u proces i nakon što proces bude dovršen.

Prednost kombiniranja fizičkog i digitalnog svijeta, osim kontrole stvarnog proizvodnog sustava, jest digitalna praćenost proizvoda. Digitalna praćenost omogućava praćenje lokacije proizvoda kada nije moguće primijeniti barkod ili RFID oznaku zbog ograničenja (npr. geometrija, veličina). [14]

4.5. KORAK 5

Digitalni blizanac omogućuje prikaz različitih informacija za različite sudionike (npr. operatere, developere, osoblje za održavanje, planere, kupce, menadžere) u proizvodnom sustavu. Digitalni blizanac je isti za sve sudionike, a razlika je u načinu prikaza parametara. Svakom sudioniku potrebna je različita podrška i izlazni podaci kako bi radio učinkovito. Neki su zainteresirani za kvalitetu i količinu proizvoda, uska grla, vrijeme održavanja, ukupnu učinkovitost opreme (OEE), dok su drugi zainteresirani za dimenzije proizvodne linije, broj robota itd. Na primjer, menadžmentu su potrebne informacije o troškovima procesa, dok developeri trebaju detaljnije informacije o proizvodnim procesima i sustavima.

Digitalni blizanac pomaže operaterima da predviđaju kada će sirovina biti učitana u međuspremnik, kao i druge aktivnosti. Radno vrijeme pojedinih strojeva važno je za operatere jer im omogućuje da uklone pune palete bez inspekcije. Osim toga, mogu pregledati proizvode, npr. na kraju proizvodnog procesa.

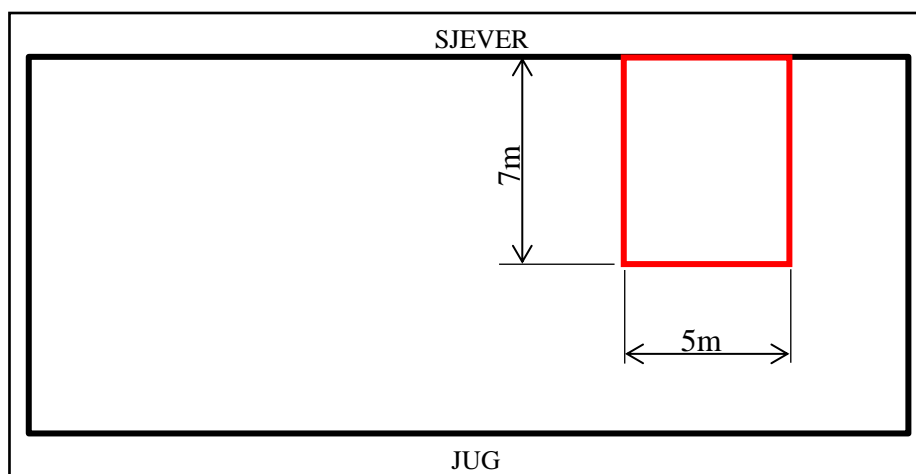
Planeri trebaju informacije i statistiku o svim strojevima i procesima u proizvodnoj liniji. Za nesmetan proces, planeri koriste digitalnog blizanca proizvodnih linija kao podršku. Uz pomoć digitalnog blizanca, mogu dobiti informacije o strojevima, odrediti zauzetost uređaja i radnika, moguće kvarove, broj proizvedenih dijelova, vrijeme čekanja, blokirano vrijeme itd. Druga prednost je izrada radnog rasporeda za sljedeći dan, tjedan ili dulji period unaprijed u virtualnom okruženju. Ovisno o zauzetosti operatera, planeri mogu rasporediti njihov rad.

5. Plan izrade digitalnog blizanca Tvornice za učenje

U ovome će poglavlju bit izveden plan izrade digitalnog blizanca jednog od elemenata Tvornice za učenje smještene u Laboratoriju za proizvodni menadžment na Katedri za upravljanje proizvodnjom. Na slici 19. prikazana je Tvornica za učenje u stvarnosti. Nalazi se u sjevernoj zgradi Fakulteta strojarstva i brodogradnje na 2. katu. Na Slici 20. je skica i orijentacija Tvornice. Ideja ovog poglavlja je primijeniti postupak planiranja digitalnog blizanca u pet koraka na primjeru iz stvarnog života. Stoga, plan digitalnog blizanca nije u detalje razrađena do kraja, već dovoljno kako bi se koncept planiranja digitalnog blizanca u pet koraka bolje shvatio.



Slika 19. – Prikaz Tvornice za učenje

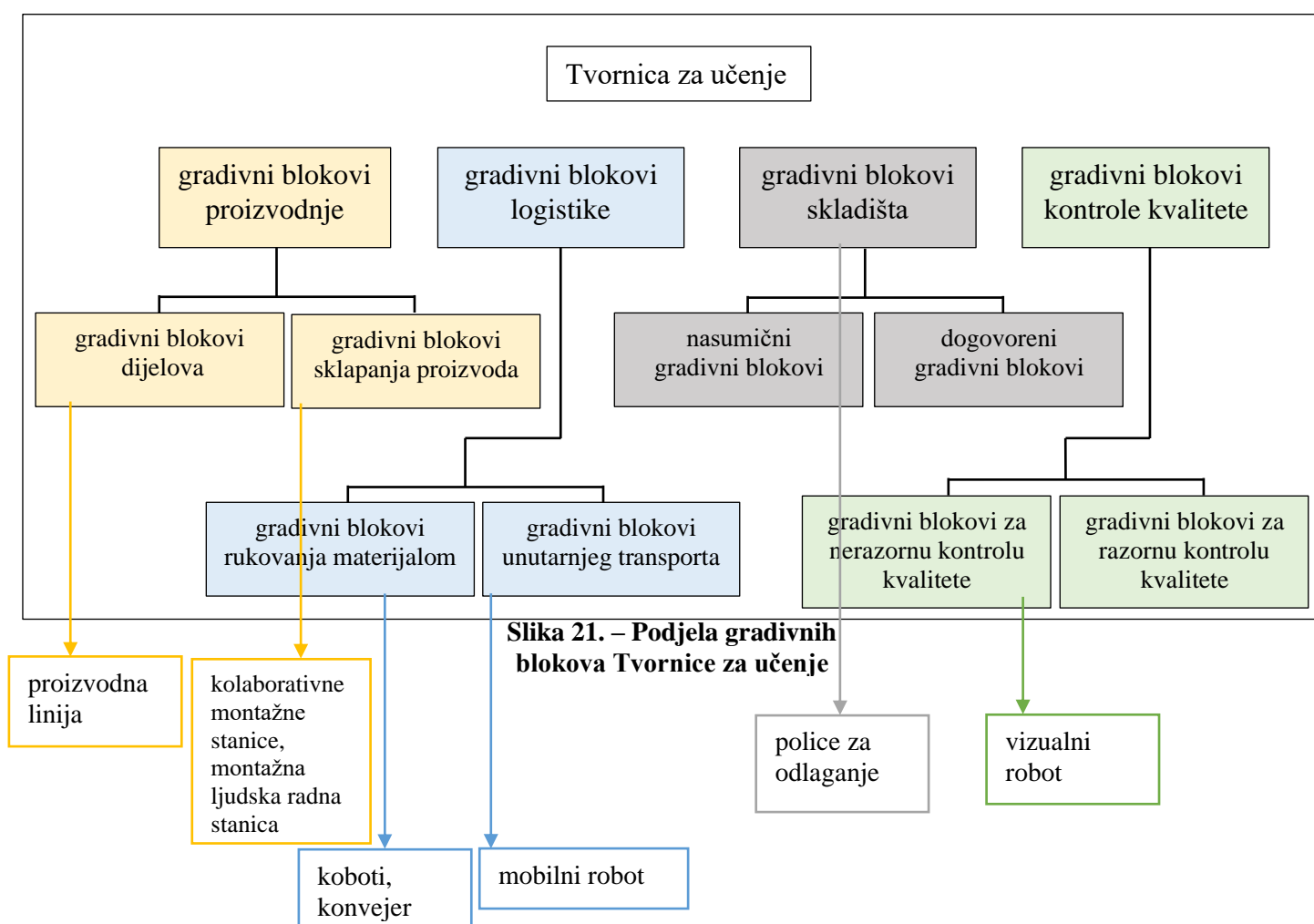


Slika 20. – Skica i orijentacija Tvornice za učenje

5.1. KORAK 1

Kao što je već opisano u 4. poglavlju, u prvome koraku biti će definiran plan Tvornice. Na slici 21. prikazani su gradivni blokovi. Ovdje će biti izdvojeni bitniji gradivni blokovi koji će kasnije biti raspoređeni u skupine kao i u poglavlju 4.1.

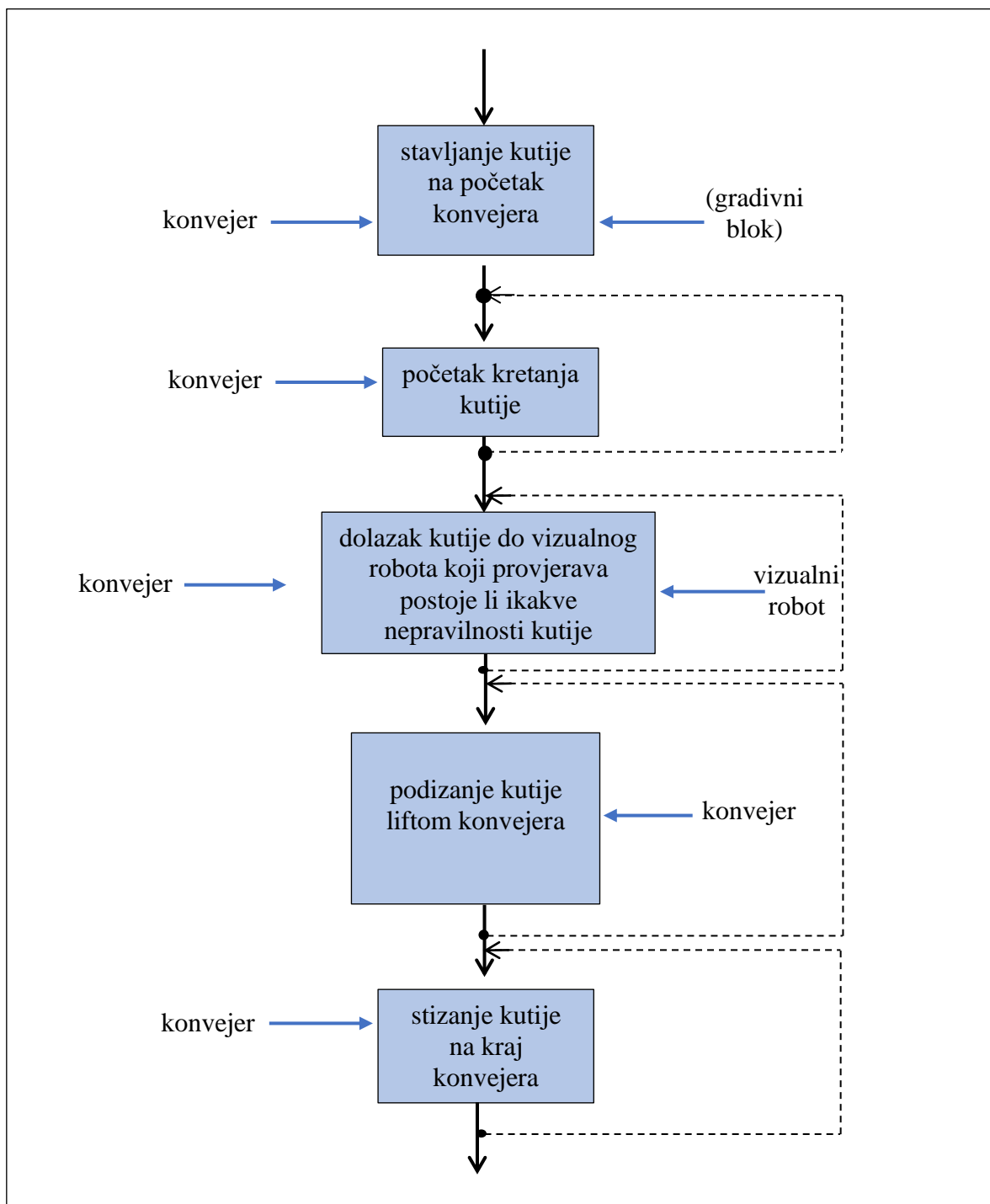
- Gradivni blokovi Tvornice:
- 2 kolaborativne montažne radne stanice
 - 1 kutni konvejer sa vizualnim robotom (eng. vision machine)
 - proizvodna linija
 - 1 montažna ljudska radna stanica
 - police za odlaganje
 - mobilni robot[21]



5.2. KORAK 2

U drugome koraku definira se proizvodni sustav kao i njegovi svi procesi i njihov slijed.

Radi složenosti i raznolikosti mogućih izvedbi u tvornici, u ovome slučaju izdvojit ćemo transport kutije uz pomoć konvejera.



Slika 22. – Prikaz funkcionalnog dijagrama transporta kutije

5.3. KORAK 3

Na početku ovoga poglavlja već je spomenuto da će biti odabran jedan od elemenata Tvornice. U trećem koraku su definirani parametri gradivnog bloka logistike, konvejera koji spada u podskupinu gradivnih blokova rukovanja materijalom iz razloga što se pozicija proizvoda mijenja dok je pozicija gradivnog bloka(konvejera) fiksna.

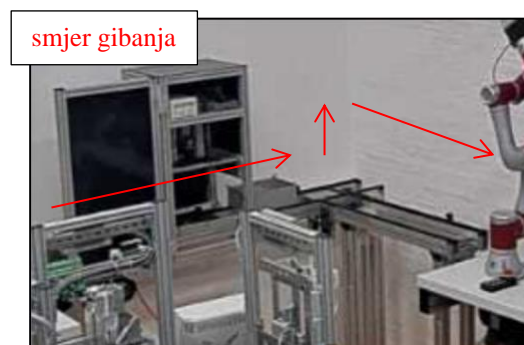
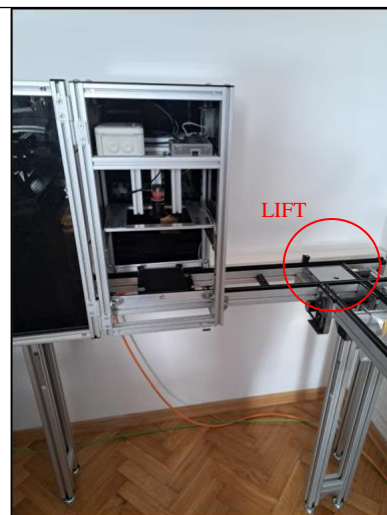
Ključni parametri za "rukovođene" gradivne blokove uključuju koordinate koje određuju njihovu lokaciju i orijentaciju unutar proizvodnog sustava. Ostali važni parametri obuhvaćaju brzinu, dimenzije, broj dijelova uključenih u proces, različite vremenske parametre, te specifična ograničenja poput maksimalne mase tereta, maksimalnog broja dijelova obrađenih u ciklusu i mrtvih kutova za robote. Pri razvoju digitalnog modela, važno je uzeti u obzir dostupnost i trenutni status gradivnih blokova.

KONVEJER:

- koordinate (X,Y,Z) [mm]
- brzina[m/min]: 0;6;9;12;15;18
- duljina jednog kraka[mm]:250....5000
- širina palete[mm]: 160
- duljina palete[mm]: 160
- visina palete[mm]: 13
- širina konvejera[mm]: 175
- visina konvejera[mm]: 66
- max. masa[kg]: 30

LIFT KONVEJERA:

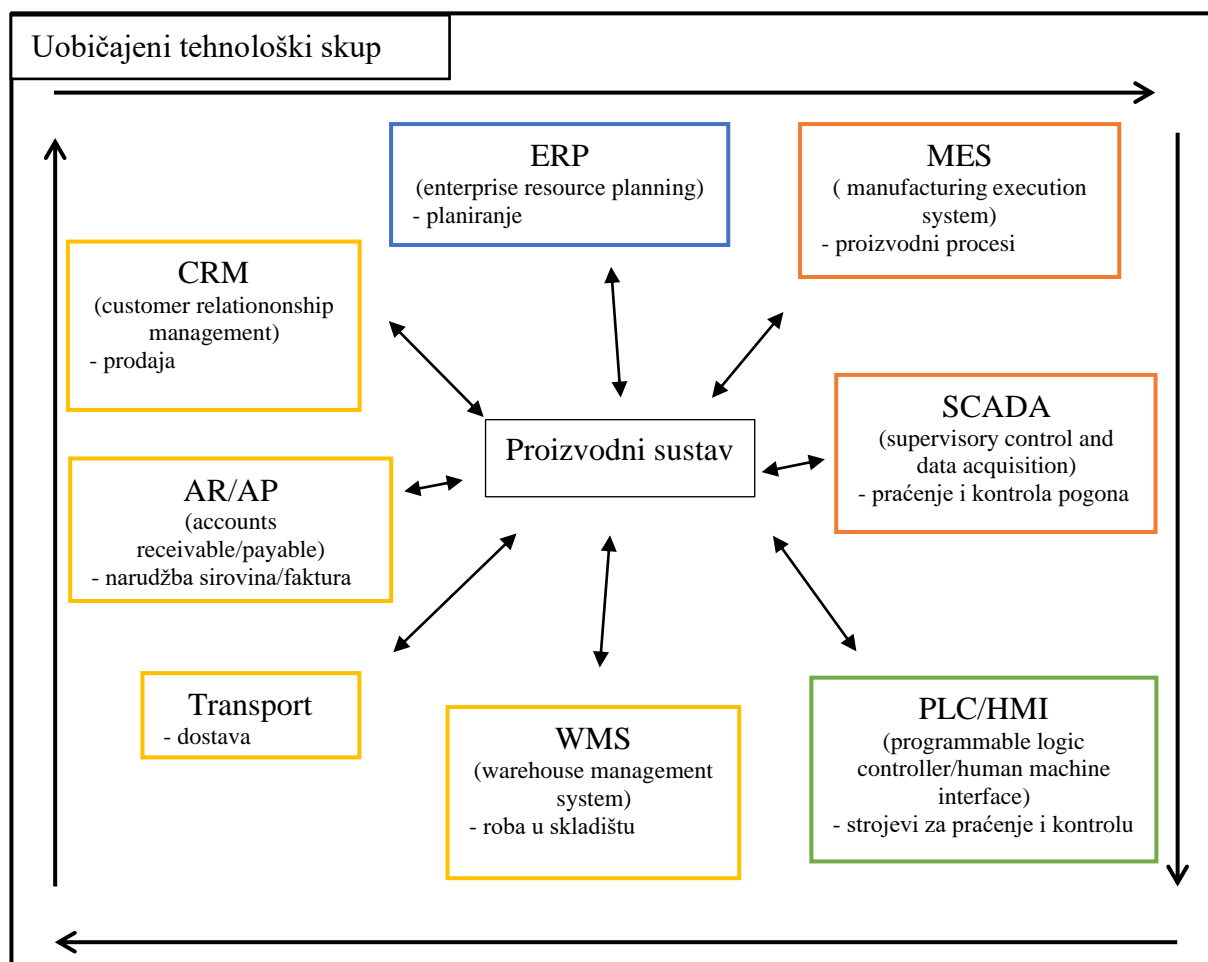
- max. masa(kg) : 3
- ukupni hod[mm]: 13
- brzina[m/min]: 0;6;9;12;15;18
- visina od dna motora do vrha postolja(pri spuštenom liftu) [mm]: 358,9
- promjer kućišta motora[mm]: 121
- širina trake na postolju lista[mm]: 80;120;160 [21]



Uz pomoć ovih parametara, kasnije u radu bit će prikazan izrađeni digitalni model konvejera u Siemens Tecnomatix programu. Svi navedeni parametri predstavljaju ključ efikasnog i pravilnog funkcioniranja kako i samog konvejera tako i cjelokupnog proizvodnog sustava Tvornice za učenje.

5.4. KORACI 4 I 5

Trenutno, u Tvornici za učenje nije osposobljena veza između robota i stanica, ali bi bilo moguće povezati ih preko MES-a (eng. manufacturing execution system) što bi predstavljalo nužan korak pri izradi digitalnog blizanca. U nastavku je prikazana mapa uobičajenih tehnoloških aktivnosti u proizvodnji, te je također vidljivo gdje je MES smješten. Od same prodaje proizvoda, planu njihove proizvodnje i izvršenja iste, pa do njihova skladištenja i transporta. [24]



Slika 23. – Uobičajeni tehnološki skup unutar proizvodnje

[24]

MES označava sistem za upravljanje proizvodnjom. To je softverski sistem koji se koristi za upravljanje i praćenje proizvodnih procesa u industrijama. MES služi kao most između sistema za planiranje resursa poduzeća (ERP, eng. enterprise resource planning) i stvarnog proizvodnog okruženja, pomažući proizvođačima optimizaciju i kontrolu proizvodnje u stvarnom vremenu.

Svaki gradivni blok sustava bio bi prikazan u MES-u na računalu kao određeni izvor. Tako bi primjerice u izvoru nazvan konvejer, bili prikazani podaci o vremenskom trajanju, njegovoj brzini, koliko je odrađeno narudžbi do sad i ostalo ovisno što je potrebno upraviteljima proizvodnje. Unutar MES-a mogu se naći i radni nalozi, mogućnost izrade i praćenje rasporeda procesa, OEE (eng. overall equipment effectvness), kao i vremensko praćenje. [22]

Što se tiče veza između digitalnog blizanca i stvarnog sustava moguće je ostvariti uživo praćenje podataka preko lokalne mreže uz pomoć već postavljenih senzora.[19] Trenutni senzori na konvejeru su induktivni senzori. Induktivni senzori omogućavaju praćenje na sljedeći način: jedan od senzora nalazi se kod vizualnog robota (koji provjerava ispravnost proizvoda) na konvejeru kako bi se znala informacija da je paleta stigla do vizualnog robota te da proizvod na njoj može biti skeniran, zatim jedan senzor je na sredini konvejera kod samog lifta kako bi se proizvod mogao podići i nastaviti put te na kraju konvejera je treći senzor koji daje informaciju da je operacija završena i iduća može početi.

Svaki robot ima svoju upravljačku kutiju u koju se pohranjuju sve informacije vezano uz određenog robota te su iste informacije zajedno sa ostalima povezane u bazi na kompjuteru uz pomoć kojih bi se ostvarivala komunikacija sa digitalnim blizancem. [21]

U budućnosti, kod povezivanja digitalnog i fizičkog modela Tvornice za učenje biti će potrebno isplanirati, nabaviti i dodatne senzore i uređaje za prikupljanje i prijenos.

U posljednjoj fazi izrade plana digitalnog blizanca, koraku pet prema [14] bilo bi potrebno definirati sve informacije odnosno parametre koji bi se generirali i pratili pomoću digitalnog blizanca te na koji način bi se ti parametri eventualno mogli vizualno prikazivati. No, za početak, u ovom koraku, važno je definirati sve zainteresirane dionike, odnosno korisnike digitalnog blizanca, te ih možemo podijeliti u tri skupine:

1. Studenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje, posebno studenti koji slušaju kolegije na Zavodu za industrijsko inženjerstvo u sklopu kojih bi se kroz laboratorijske vježbe ili kroz izradu seminarskih, završnih i diplomskih radova koristio digitalni blizanc.
2. Znanstvena zajednica i istraživači koji bi se bavili različitim nišama istraživanja iz područja Industrijskog inženjerstva a u čiju svrhu bi mogli koristiti Tvornicu za učenje i digitalnog blizanca.
3. Zainteresirane strane iz gospodarstva – Tvornica za učenje i digitalni blizanc bi se mogao koristiti u svrhu različitih edukacija, različitih profila stručnjaka iz područja proizvodnje i upravljanja proizvodnjom.

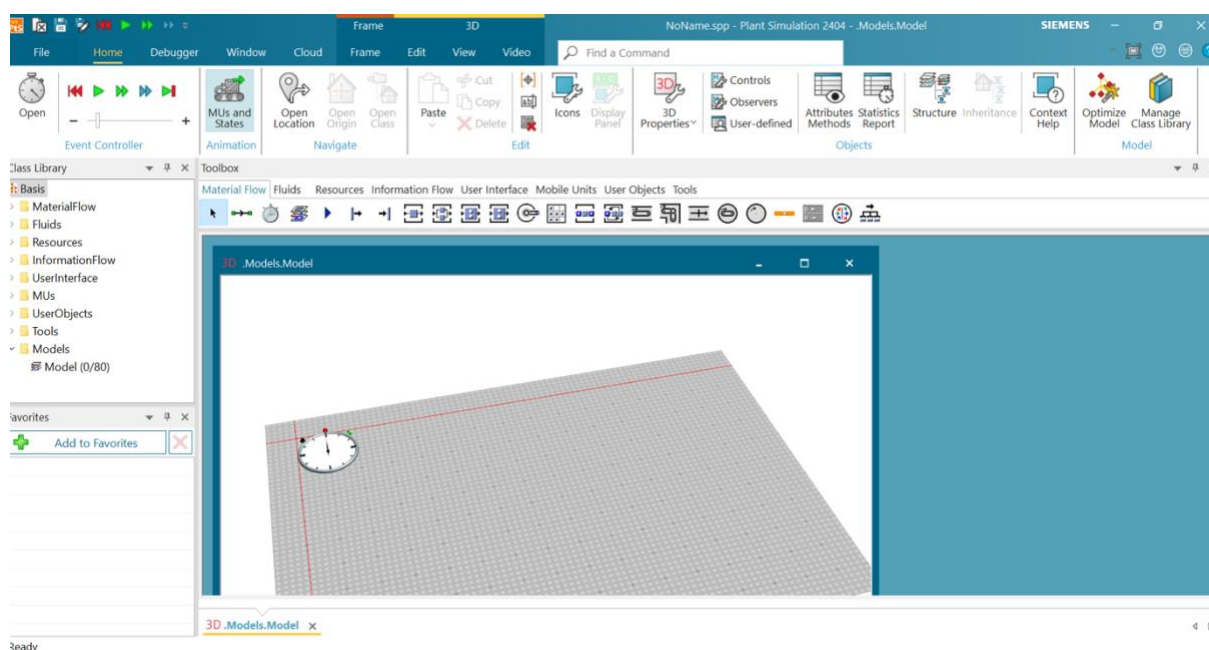
5.5. Prikaz Konvejera u Siemens Tecnomatix Plant Simulation-u

Na slici 24. prikazan je izgled Siemens Tecnomatix Plant Simulation programa.

Odmah iznad radne mreže prikazano je sučelje sa elementima sustava(slijed , vrijeme, izvor...)

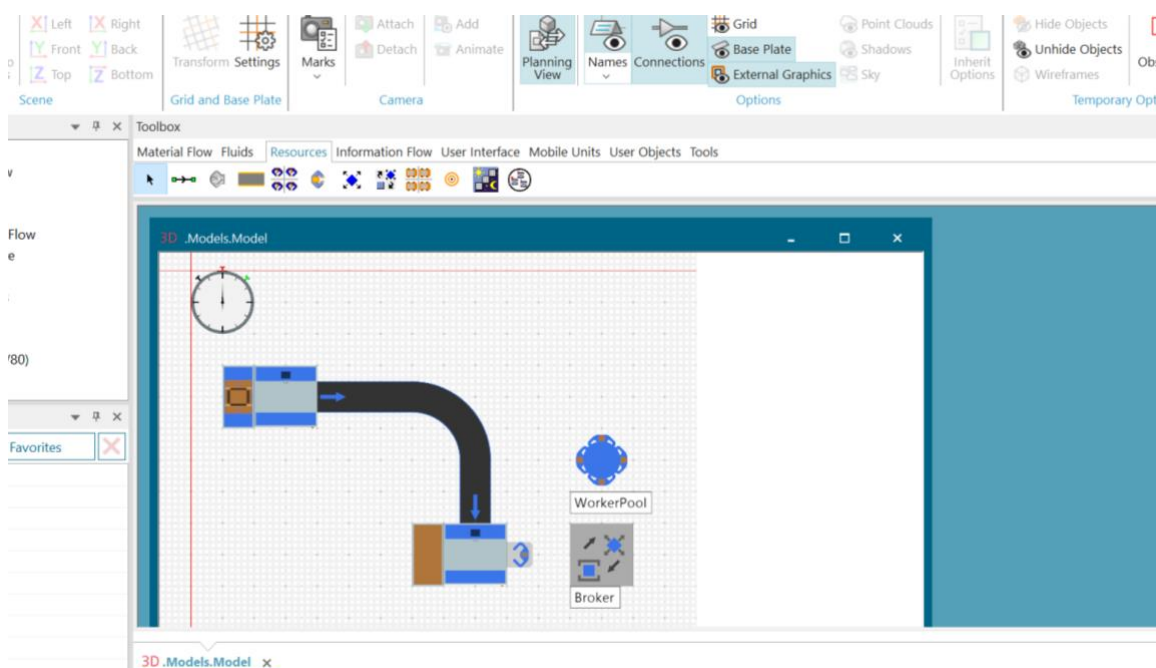
U nastavku je prikazan i opisan jedan od elemenata Tvornice za učenje, konvejer.

Prikazana je digitalna replika konvejera sa dodatnim elementima sustava najbliže elementu u stvarnosti što je moguće pošto je ipak rađeno u studentskoj verziji programa što podrazumijeva neka ograničenja i nemogućnost uporabe određenih alata za detaljniji i točniji prikaz elementa.



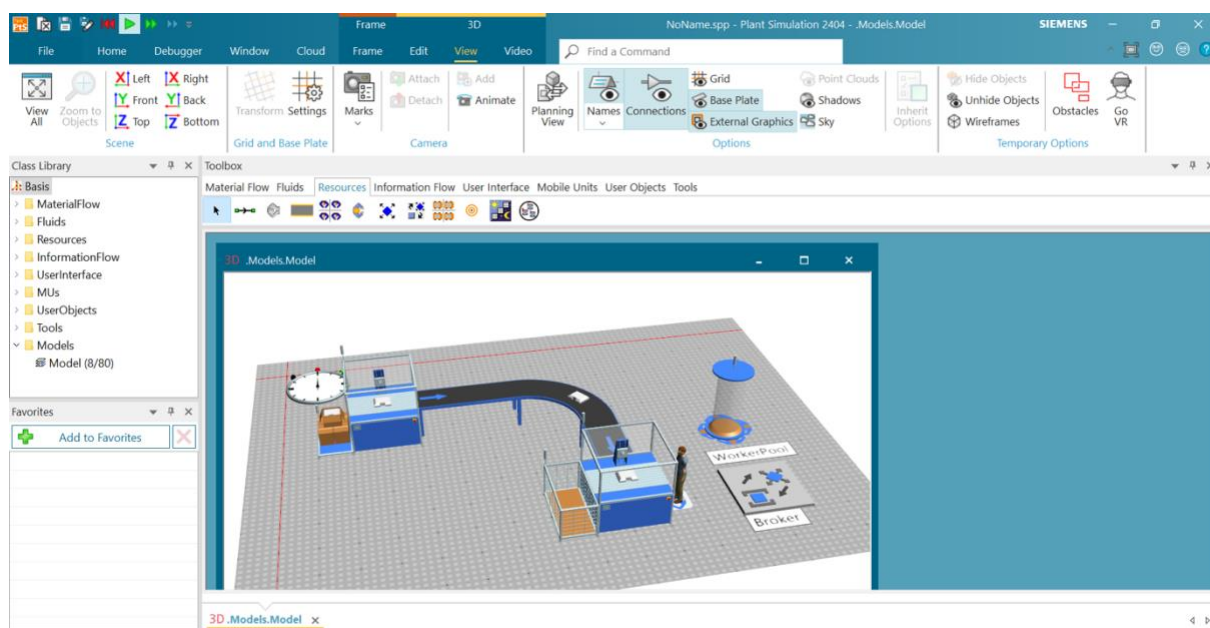
Slika 24. – Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Na slici u nastavku izrađen je konvejer. Prikaz na slici 25. je u 2D-u radi lakšeg konstruiranja. Skroz lijevi element predstavlja izvor proizvoda, potom slijedi konvejer i na kraju *box* za skladištenje proizvoda(eng. drain'). *WorkerPool* predstavlja mjesto gdje radnici mogu predahnuti tijekom stanke dok element "Broker" predstavlja funkciju raspoređivanja zadataka radnicima.



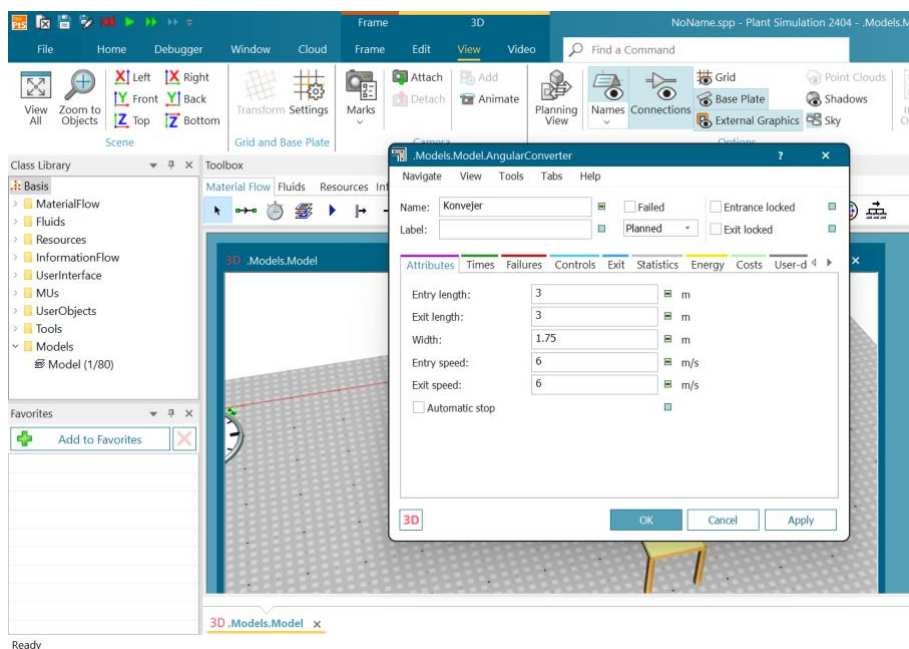
Slika 25. – Izrada digitalnog modela konvejera unutar Plant Simulation programa

Na slici 26. prikazan je konvejer sa ostalim elementima sustava što uključuje i radnika koji na završnoj postaji provjerava da li se proces odvija pravilno. Prethodno spomenuti vizualni robot nije dostupan u ovoj verziji programa te iz tog razloga nije dodan na konvejer.



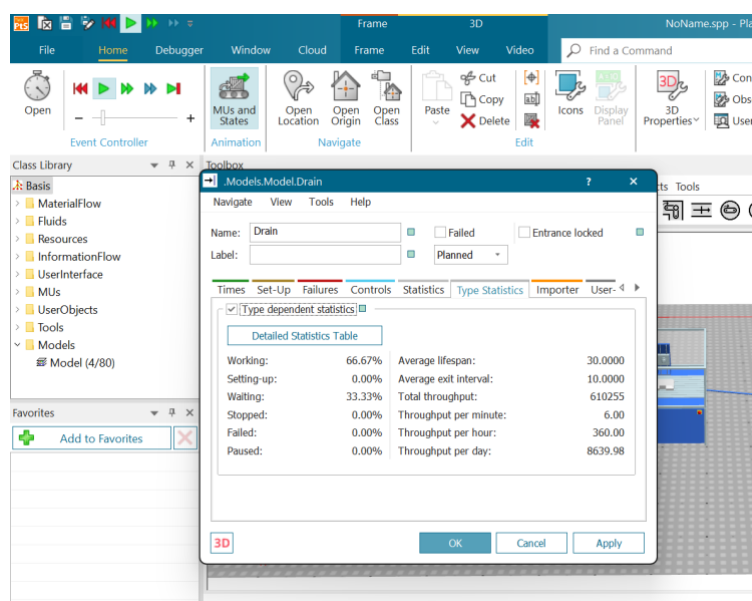
Slika 26. – Izgled digitalnog modela konvejera

Duplim klikom na jedan od elemenata sustava, u ovom slučaju konvejer, otvara se prozor sa njegovim karakteristikama i parametrima koje je moguće prilagođavati (slika 27.). Tako je iz prikazanog prozora moguće očitati duljinu konvejera, širinu, brzinu kao i druge parametre koji su prikazani u alatnoj traci, kao na primjer vrijeme operacije, na kojoj radnoj stanici se vrši izlaz iz trake i drugo.



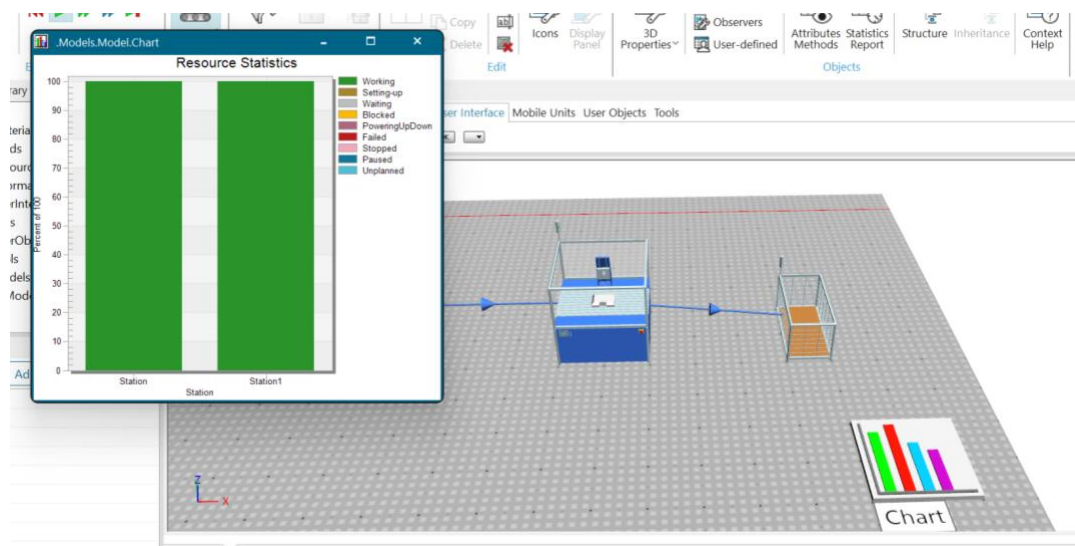
Slika 27. – Parametri digitalnog modela konvejera

U prozoru (slika 28.) opisa *Drain* tj, *box-a* za skladištenje proizvoda nakon operacije. Moguće je dobiti informacije poput ukupnog protoka proizvoda, broj neispravnih proizvoda i slično.

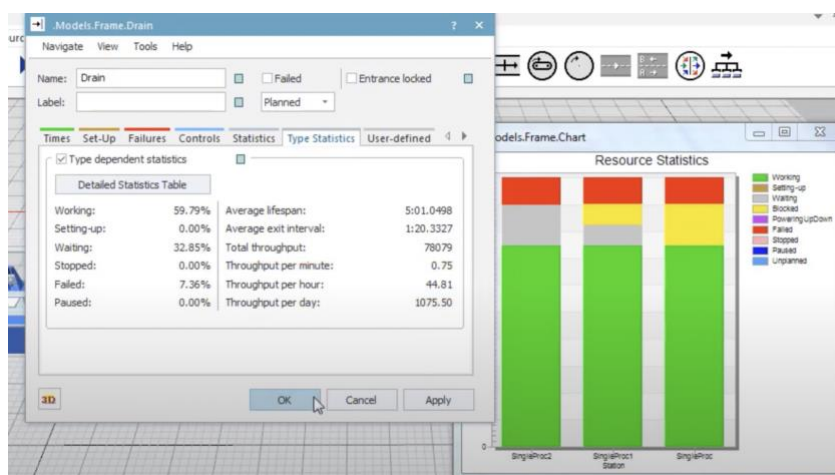


Slika 28. – Izlazni podaci digitalnog modela

Također je moguće prikazati statistiku proizvodnje u obliku dijagrama. Prikazani dijagram (slika 29.) odnosi se na "idealnu proizvodnju" odnosno proizvodnju pri idealnim radnim uvjetima i bez ikakvih poteškoća, što je u stvarnosti nemoguće. No, moguće je promijeniti postavke te primjerice dodati neke poteškoće, promijeniti dostupnost rada strojeva i slično, kao što je prikazano na slici 30. Na slici dijagrama su vidljivi podaci poput radnog vremena, pripreme pogona, vrijeme čekanja i drugog.



Slika 29. – Prikaz statistike(idealna) u obliku dijagrama



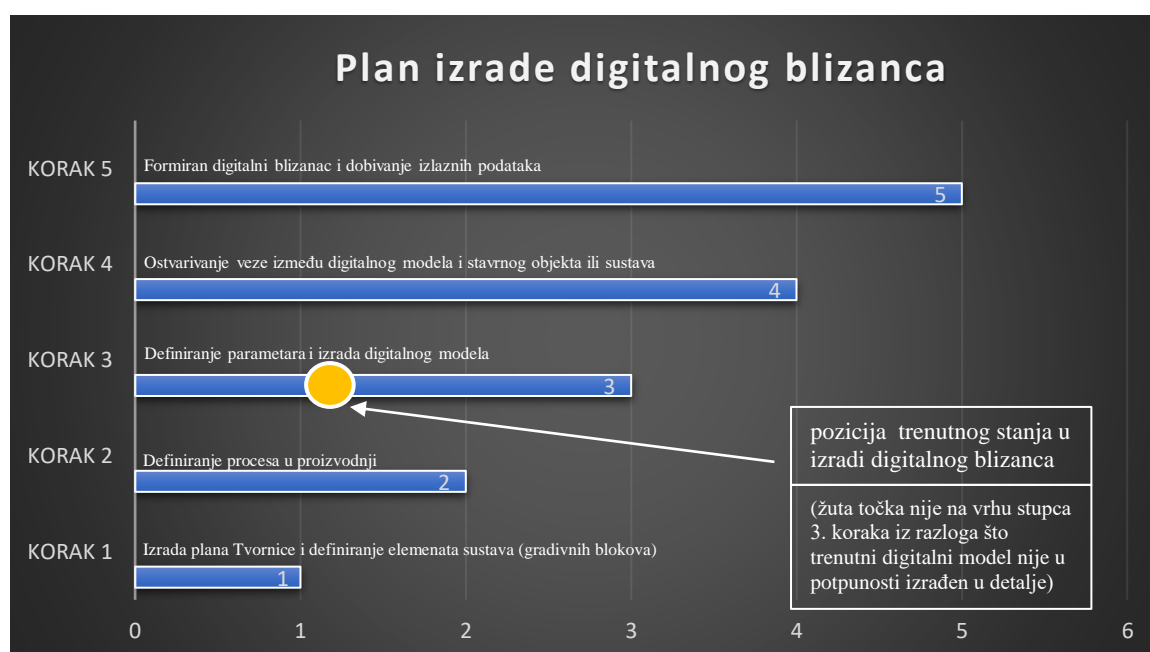
Slika 30. – Prikaz statistike(realna) u obliku dijagrama

Kao što je već spomenuto, ovaj model napravljen je u studentskoj verziji programa, ali bezobzira služi kao dobro upoznavanje sa Plant Simulation programom kao i dostupnim alatima unutar samog programa. Uz pomoć ovog digitalnog modela formirao bi se digitalni blizanac koji bi dobivao *real-time* podatke uz pomoć već ugrađenih senzora opisanih u 5.4. poglavlju.

Završno, digitalni blizanac sastoji se od tri ključne komponente: stvarnog fizičkog objekta/sustava, digitalnog modela te veze između njih. Digitalni blizanac bi se kreirao korištenjem različitih izvora podataka, kao što su senzori, IoT uređaji, te povijesni podaci. Također bi odražavao karakteristike, performanse i ponašanje fizičkog konvejera, omogućujući njegovo praćenje, analizu i optimizaciju u stvarnom vremenu. Primarna svrha digitalnog blizanca je omogućiti bolje razumijevanje, praćenje i kontrolu fizičkog konvejera. To je moćan alat za vizualizaciju, analizu, simulaciju i predviđanje, te se koristi u različite svrhe, poput edukacije, upravljanja proizvodnjom i donošenja odluka.

Razvijenim digitalnim modelom konvejera Tvornice za učenje omogućilo bi se studentima i polaznicima testiranje zadataka u simulaciji prije nego što ih primijene u stvarnom okruženju. Na primjer mogli bi testirati veći protok proizvoda, da li bi bilo moguće kada bi izlazni broj proizvoda iznosio za tri više od prethodnog, kolika bi brzina konvejera trebala iznositi te kasnije to primijeniti i u stvarnom okruženju. Ovaj alat se pokazao vrlo korisnim, te bi također pri izradi digitalnog blizanca pomogao u učenju o sustavima poput MES-a i SCADA-e, kao i programiranju kolaborativnih robota. [23] Nadalje, optimizacijski slučajevi mogu se postaviti brže i jednostavnije. Već spomenuto, trenutna Tvornica nema osposobljenu komunikativnu vezu, ali integracijama sustava MES-a, SCADA-e, kao i senzora davalo bi mogućnost izradbe detaljnog digitalnog blizanca cjelokupne Tvornice za učenje. To će studentima povećati obrazovnu vrijednost i omogućiti stjecanje iskustva s raznim industrijskim procesima i tehnologijama.

Na slici 31. dan je prikaz napravljenih koraka u sklopu ovog rada.



Slika 31. – Prikaz trenutne pozicije u izradi digitalnog blizanca

Zaključak

Tehnologija digitalnih blizanaca predstavlja ključni korak prema unapređenju industrijskih procesa, optimizaciji resursa i povećanju efikasnosti u različitim sektorima. Korištenjem virtualnih modela fizičkih objekata, sustava i procesa, digitalni blizanci omogućuju stvaranje preciznih simulacija koje omogućuju bolje praćenje, analizu i predviđanje ponašanja u stvarnom vremenu.

Primjena ove tehnologije u industrijama poput proizvodnje, automobilske industrije, urbanog planiranja i zdravstva donosi značajne prednosti, uključujući smanjenje troškova, ubrzanje razvoja proizvoda i bolju koordinaciju između timova. Stalnim prikupljanjem i analiziranjem podataka, digitalni blizanci omogućuju kontinuiranu optimizaciju i prilagodbu tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda ili sustava.

Bitno je naglasiti da unatoč velikim prednostima, implementacija digitalnih blizanaca također nosi izazove, uključujući visoke početne troškove, potrebu za naprednim infrastrukturnim rješenjima i sigurnosna pitanja vezana uz prikupljanje i pohranu podataka. Ipak, budućnost ove tehnologije izgleda obećavajuće, a njezina primjena u industrijama koje zahtijevaju visoku preciznost i optimizaciju bit će ključna za daljnji razvoj i konkurentnost tvrtki.

Iz istraživanja je vidljivo da primjena digitalnih blizanaca značajno poboljšava efikasnost u proizvodnim procesima. Tvrtke koje su implementirale ovu tehnologiju bilježe bržu optimizaciju resursa i smanjenje troškova. Koncept digitalnog blizanca kompanije Siemens Tecnomatix omogućio je ovom radu bolji i detaljniji pogled na koji način se ova tehnologija može iskoristiti u samoj proizvodnji, od samih simuliranja operacija, izrade digitalnih blizanaca robota i drugih elementa pa do cijelog pogonskog sustava.

Također, treba spomenuti kako se u partnerstvu Siemensa i NVIDIA-e odvijaju daljnja istraživanja u integraciji digitalnih blizanaca sa sustavima umjetne inteligencije, IoT, kako bi se unaprijedila automatizacija i prediktivno održavanje.

Uz to, u radu je istražen mogući pristup izrade plana digitalnog blizanca u pet koraka, opisanog u četvrtom poglavlju, gdje su prikazani glavni koraci pri izradi digitalnog blizanca, koji uključuju definiranje sustava za koji se izrađuje digitalni blizanac, definiranje gradivnih blokovi kao elemenata sustava, njihov način razvrstavanja, definiranje parametara i procesa te svih ostalih detalja, poput postavljanja senzora, koje je potrebno obuhvatiti kako bi digitalni model, a kasnije i digitalni blizanac, mogao funkcionirati. Nakon toga pokazane su mogućnosti

softvera Siemens Tecnomatix za izradu digitalnog modela, na primjeru konvejera Tvornice za učenje koja sa nalazi na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Na kraju, ovaj završni rad naglašava važnosti i prednosti digitalnog blizanca kao i ostalih tehnologija s kojima se svijet susreće sve više iz dana u dan.

Literatura :

- [1] Highleap Electron – Pojava industrije 4.0: revolucioniranje proizvodnje:
<https://hilelectronic.com/hr/industry-4-0/> , pristupljeno 12.2024.
- [2] Diaz, C.J.L.; Ocampo-Martinez, C.(2019.) - Energy efficiency in discrete-manufacturing systems: Insight, trends, and control strategies. J. Manuf. Syst. pristupljeno 12.2024.
- [3] Siemens, Webinar – Concept to realization: Digital twins in manufacturing:
<https://tinyurl.com/yc88yhtj> , pristupljeno 11.2024.
- [4] Siemens – Role of simulation and test in creating realistic digital twin:
<https://tinyurl.com/ycxsm4v8> , pristupljeno 11.2024.
- [5] Vrabic̃, R.; Erkoyuncu, J.A.; Butala, P.; Roy, R. (2018.) -Digital twins: Understanding the added value of integrated models for through-life engineering services. Procedia Manuf. pristupljeno 12.2024
- [6] Cadcam group – Digitalni blizanac:
<https://tinyurl.com/5c5by73t> , pristupljeno 12.2024.
- [7] Siemens – Digital twin:
<https://www.sw.siemens.com/en-US/digital-twin/> , pristupljeno 11.2024.
- [8] Estun Automation: https://en.estun.com/?about_57/ , pristupljeno 12.2024.
- [9] Siemens, Tecnomatix – Case study: Estun automation:
<https://tinyurl.com/3cvn3u7v> , pristupljeno 12.2024.
- [10] Paulaner Brewery: <https://www.paulaner.com/> , pristupljeno 12.2024.
- [11] Siemens, Tecnomatix – Case study: Paulaner brewery:
<https://tinyurl.com/yxmhjs49> , pristupljeno 12.2024.

- [12] Siemens, Tecnomatix: <https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/> , pristupljeno 12.2024
- [13] Siemens software: Introduction to Siemens PLM software, Tecnomatix Plant Simulation software:
https://www.youtube.com/watch?v=3P_u1yjofzY , pristupljeno 1.2025.
- [14] Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana: Matevz Resman, Jernej Protner, Marko Simic and Niko Herakovic(2021.) - A Five-Step Approach to Planning Data-Driven Digital Twins for Discrete Manufacturing Systems , pristupljeno 1.2025.
- [15] Tecnomatix: Digital manufacturing software:
<https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/> , pristupljeno 12.2024.
- [16] Siemens,Tecnomatix: Process Simulate - video: Saving the day with Process Simulate:
<https://tinyurl.com/48fd5hdy> pristupljeno 12.2024.
- [17] Siemens,Tecnomatix: Plant Simulation:
<https://tinyurl.com/bdex2jrd> , pristupljeno 12.2024.
- [18] Siemens Tecnomatix, NVIDIA, video: Operate in the industrial metaverse:
<https://tinyurl.com/4utyu9kx> , pristupljeno 1.2025.
- [19] University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia, Zupan, H.(2019.)- Intelligent Algorithm for the Optimization of Assembly and Handling Systems and Processes for In-Line Production. Ph.D. Thesis, pristupljeno 1.2025.
- [20] Herakovic, N.; Zupan, H.; Pipan, M.; Protner, J.; Šimic, M.(2019.) – Distributed manufacturing systems with digital agents. J. Mech. Eng. pristupljeno 1.2025.
- [21] Matija Golec, mag.ing.mec.(2024.): Mapa materijala za završne i diplomske radove:
<https://tinyurl.com/mufdxked>, pristupljeno 1.2025.
- [22] SAP: MES: <https://www.sap.com/products/scm/execution-mes/what-is-mes.html>
pristupljeno 1.2025.

[23] Kelvin Sparra, Philipp Steurera, Damian Drexela, Ralph Hocha(2023.) - Using Digital Twins in Learning Factories for Simulation and Optimization, pristupljeno 1.2025.

[24] 4.0 Solutions, video: Manufacturing execution system:
<https://www.youtube.com/watch?v=Lq9F8fWTIjI&t=95s> , pristupljeno 1.2025.

[Slika 1.] - [Internet], <raspoloživo na:
<https://www.happiestminds.com/insights/digital-twins/> , pristupljeno 12.2024.

[Slika 2.] - [Internet], <raspoloživo na:
<https://sybridge.com/digital-twin-technology/> , pristupljeno 12.2024.

[Slika 5.] - [Internet], <raspoloživo na:
<https://sqa.softwaretrends.com/landing-pages/297718251/> , pristupljeno 12.2024.

[Estun automation ikona] - [Internet], <raspoloživo na:
<https://www.estuneurope.eu/> , pristupljeno 12.2024.

[Paulaner brewery ikona] - [Internet], <raspoloživo na:
<https://www.paulaner.com/> , pristupljeno 12.2024.