

Razvoj okruženja za unaprjeđenje procesa proizvodnje

Horvat, Nino

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:235:646719>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Nino Horvat

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Doc.dr.sc. Miro Hegedić

Dr.sc. Mihael Gudlin

Student:

Nino Horvat

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Srdačno se zahvaljujem se svome mentoru, doc. dr. sc. Miri Hegediću na pruženoj stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada te također kolegama Matiji Golecu za pomoć prilikom 3D printanja i Dr.sc. Mihaelu Gudlinu za vrlo bitne i korisne savjete tijekom pisanja rada.

Posebno i veliko hvala mojoj obitelji, roditeljima Vesni i Damiru, bratu Marku i djevojci Andrei za veliku podršku i pomoć tijekom godina studija i pisanju ovog diplomskog rada.

Nino Horvat



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
 mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Nino Horvat** JMBAG: 0035211997

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Razvoj okruženja za unaprjeđenje procesa proizvodnje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of an environment for improving manufacturing processes**

Opis zadatka:

S obzirom na stalnu potrebu industrije za unaprjeđenjem proizvodnje, stvaranje odgovarajućeg okruženja za analizu, evaluaciju i optimizaciju procesa postaje ključna komponenta konkurentske prednosti. Takvo okruženje može obuhvaćati različite alate, metodologije i koncepte kao što su lean menadžment, industrija 4.0 a koje doprinose efikasnijem radu, smanjenju grešaka i povećanju produktivnosti.

U radu je potrebno:

1. Definirati pojmove lean menadžmenta i industrije 4.0 te izdvojiti neke od alata i tehnologija i dodatno ih opisati.
2. Analizirati trenutne trendove i metodologije u razvoju okruženja za unaprjeđenje proizvodnje: Proučiti kako tehnološke inovacije, kao što su IoT, AI, 3D printanje, digitalni blizanci (*engl. digital twins*), mogu biti integrirane u ovakva okruženja.
3. Proučiti i usporediti postojeće platforme i softverska rješenja koja služe za unaprjeđenje proizvodnih procesa: fokusirati se na njihove mogućnosti, prednosti i nedostatke.
4. Razviti primjer okruženja: na temelju analize potreba određenog proizvodnog pogona ili industrije, predstaviti konceptualni model ili prototip okruženja za unaprjeđenje proizvodnje.
5. Evaluirati predloženo okruženje: na osnovi stvarnog ili hipotetičkog primjera proizvodnog procesa, testirati kako predloženo okruženje doprinosi unaprjeđenju proizvodnje, identificirati potencijalne izazove i predložiti moguća rješenja.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

28. rujna 2023.

30. studenoga 2023.

4. – 8. prosinca 2023.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. *Miro Hegedić*
 Miro Hegedić

Dr. sc. Mihael Gudlin

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. *Ivica Garašić*
 Ivica Garašić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	9
2. LEAN MENADŽMENT	10
2.1. Povijest i razvoj Leana.....	10
2.1.1. Pokretna linija u automobilskoj tvrci Ford	10
2.1.2. Toyotin sistem proizvodnje.....	13
2.2. Principi Lean metodologije.....	15
2.3. Definicije vrijednosti i gubitaka u sklopu Lean razmišljanja	18
2.4. Alati Lean Menadžmenta	20
2.4.1. Kaizen	21
2.4.2. 5S	24
2.4.3. Kanban	27
2.4.4. Mapiranje toka vrijednosti	30
2.4.5. Poka Yoke.....	31
3. INDUSTRIJA 4.0	33
3.1. Internet of things (IOT).....	35
3.2. Umjetna Inteligencija u proizvodnji	38
3.2.1. Što je umjetna inteligencija?	38
3.2.2. Umjetna inteligencija u proizvodnim procesima	39
3.2.3. Glavni segmenti upotrebe AI u proizvodnji.....	40
3.3. 3D printanje i aditivna proizvodnja	42
3.4. Digitalni blizanci (Digital Twins).....	43
4. PLATFORME I SOFTWARESKA RJEŠENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROIZVODNJE	45
4.1. ERP sustavi	45
4.2. MES sustavi	46
4.3. PLM sustavi	48
4.4. CAD/CAM sustavi.....	49
5. PRIMJER IZRADE OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROCESA PROIZVODNJE	51
5.1. Opis robotskog vozila Joy-Car.....	52
5.2. Proces sklapanja robota.....	54
5.3. Tok procesa – plan montaže.....	65
5.4. Analiza uskih grla procesa te postavljanje ciljeva	65
6. IZRADA OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROCESA PROIZVODNJE	67
6.1. Poboljšanja u dizajnu proizvoda (Design for Assembly).....	67
6.1.1. Konceptualna faza.....	68
6.1.2. Faza analiziranja	72
6.1.3. Redizajn	74
6.1.4. Zaključci	77
6.2. Upotreba 3D printanja za unaprjeđenje procesa	78
6.3. Implementacija Lean alata u proces	79
6.3.1. Implementacija 5S-a u proces	80
6.3.2. Implementacija standardiziranog rada (radne upute).....	81
6.4. Testiranje i validacija	83

6.5. Edukacija operatera.....	84
6.6. Integracija tehnologija i automatizacije	84
6.6.1. Implementacija IoT u proces montaže	85
6.6.2. Intergracija umjetne inteligencije u proces montaže.....	86
6.6.3. Korištenje digitalnih blizanaca	87
7. TESTIRANJE I VALIDANCIJA OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROIZVODNJE	88
8. USPOREDBA PROCESA	99
8.1. Učinkovitost i produktivnost.....	99
8.2. Smanjenje grešaka (defektnih dijelova).....	100
8.3. Analiza troškova	101
8.4. Integracija tehnologije.....	102
9. ZAKLJUČAK.....	103

POPIS SLIKA

Slika 1. Henry Ford i Fordov model T iz 1908. godine [3] [4]	11
Slika 2. Pokretna linija za automobil Ford T [5]	12
Slika 3. Sakichi Toyoda - otac Lean metodologije[8].....	14
Slika 4. Kuća Leana (Lean House) koncept [1]	15
Slika 5. Aktivnosti u lancu vrijednosti[10]	16
Slika 6. Principi Lean proizvodnje [10]	17
Slika 7. Gubitci Lean menadžmenta[10].....	18
Slika 8. Lean alati [10]	20
Slika 9. Značenje pojma Kaizen [11]	21
Slika 10. Demingov PDCA krug [13]	23
Slika 11. Koncept 5S [12]	25
Slika 12. Ilustrirani prikaz rezultata implementacije 5S-a[14]	27
Slika 13. Prikaz Kanban ploče u uredu[15].....	29
Slika 14. kanban kartice u proizvodnom procesu[10].....	29
Slika 15. Primjer dijagrama toka vrijednosti [19]	30
Slika 16. Primjer Poka Yoke utičnice [18].....	31
Slika 17. Industrijske revolucije kroz povijest [20]	34
Slika 18. Shematski prikaz Interneta stvari u poduzeću[22]	35
Slika 19. Automatizirani proces zavarivanja uporabom robota[25]	41
Slika 20. Proces izrade dijela korištenjem 3D printera [28]	43
Slika 21. Primjer digitalnih blizanaca u automobilske industriji [27]	43
Slika 22. Prikaz modela u CAD programu [31]	50
Slika 23. Joy Car autonomno robot vozilo [30]	52
Slika 24. Montiranje distancera.....	55
Slika 25. Montiranje nosača ultrazvučnog senzora i nosača baterije	56
Slika 26. Montiranje kugličnih ležajeva na podnožje	57
Slika 27. Predsklapanje kotača i ugradnja u glavni sklop	58
Slika 28. Ugradnja svjetala.....	59
Slika 29. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija.....	60
Slika 30. Ugradnja ultrasoničnog senzora.....	61
Slika 31. Sklapanje druge glavne ploče	62
Slika 32. Ugradnja ožičenja u sklop.....	63
Slika 33. Spajanje gornje ploče i ugradnja mikrokontrolera	64
Slika 34. Dijelovi šasije robotskog vozila[30]	69
Slika 35. Sensorika u robotu [30].....	70
Slika 36. Glavna (matična) ploča [30]	70
Slika 37. Pogonske komponente sklopa[30]	71
Slika 38. Mikrokontroler [30]	71
Slika 39. Glavne ploče – šasija.....	72
Slika 40. Pomoćne komponente šasije	72
Slika 41. Podsklop kotača i motora.....	73
Slika 42. Podsklop gornje ploče	73
Slika 43. Ugrađeni senzori na sklop.....	74
Slika 44. JoyCar završni CAD assembly	74
Slika 45. Donja glavna ploča redizajn.....	75
Slika 46. gornja glavna ploča redizajn	76
Slika 47. Promjene u dizajnu 1.....	76
Slika 48. Promjene u dizajnu 2.....	76

Slika 49. Promjene u dizajnu 3.....	77
Slika 50. Promjene u dizajnu 4.....	77
Slika 51. Prikaz modela u Prusa Slicer programu	79
Slika 52. prikaz 3D printanih komponenti	79
Slika 53. Sortiranje komponenti i alata korištenjem 5S-a.....	81
Slika 54. Prikaz testiranja elektronskih komponenti	83
Slika 55. Montiranje distancera.....	88
Slika 56. instalacija kotača sa kuglama	89
Slika 57. Instalacija pogonskih sklopova	90
Slika 58. Ugradanja svjetala.....	91
Slika 59. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija.....	92
Slika 60. Ugradnja ultrasoničnog senzora	93
Slika 61. Sklapanje druge glavne ploče	94
Slika 62. Ugradnja ožičenja u sklop.....	95
Slika 63. Spajanje glavnih ploča i završetak sklopa.....	96
Slika 64. Kontrola kvalitete (električna i mehanička inspekcija).....	97

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci IoT-a.....	38
Tablica 2. Plan montaže prvotnog procesa.....	65
Tablica 3. Tablice za spajanje ožičenja.....	82
Tablica 4. . Integracija umjetne inteligencije - koraci.....	87
Tablica 5. Plan montaže poboljšanog procesa	98
Tablica 6. Usporedba procesa	99

SAŽETAK

Diplomski rad istražuje razvoj okruženja za unaprjeđenje procesa proizvodnje s naglaskom na ključnim konceptima poput lean menadžmenta, industrije 4.0 te primjene tehnoloških inovacija kao što su IoT, AI, 3D printanje i digitalni blizanci. U sklopu analize, istražuju se trenutni trendovi, metodologije i softverska rješenja koja služe za unaprjeđenje proizvodnih procesa. Rad uključuje i razvoj konceptualnog modela ili prototipa okruženja za unaprjeđenje proizvodnje te evaluaciju predloženog okruženja kroz testiranje na stvarnom ili hipotetičkom primjeru proizvodnog procesa.

Praktični dio rada fokusira se na primjeru autonomnog edukacijskog robotskog vozila Joy-Car. Joy-Car je autonomni edukativni robot temeljen na BBC micro:bit mikrokontroleru s bogatom senzorskom opremom, uključujući ultrazvučni senzor za orijentaciju, adresabilne LED-ove za individualno osvjetljenje te funkcije poput autonomne vožnje i upravljanja putem Bluetootha. Pruža sveobuhvatnu platformu za učenje robotike, elektronike i programiranja, s detaljnim priručnikom na engleskom i njemačkom jeziku, koristeći MakeCode ili MicroPython za programiranje, a već se uspješno koristi u obrazovnom kontekstu.

U radu će biti predstavljen primjer kreiranja okruženja za sklapanje toga robotskog automobila. Kroz implementaciju tehnologija poput 3D printanja, lean alata i standardiziranog rada, postignuti su poboljšani rezultati u procesu sklapanja. Dodan je korak inspekcije kao kontrola kvalitete, što doprinosi osiguranju visokih standarda proizvodnje. Nadalje, rad predstavlja prijedloge za buduća unaprjeđenja korištenjem umjetne inteligencije, robotizacije i tehnologije strojnog vida. Ove inovacije imaju potencijal značajno optimizirati procese, povećati učinkovitost te osigurati visoku razinu kvalitete proizvoda.

SUMMARY

The master's thesis explores the development of an environment for improving manufacturing processes with a focus on key concepts such as lean management, Industry 4.0, and the application of technological innovations such as IoT, AI, 3D printing, and digital twins. In the course of the analysis, current trends, methodologies, and software solutions aimed at enhancing manufacturing processes are investigated. The thesis includes the development of a conceptual model or prototype of an environment for improving production and the evaluation of the proposed environment through testing on a real or hypothetical example of a production process.

The practical part of the thesis focuses on the example of the autonomous educational robot vehicle, Joy-Car. Joy-Car is an autonomous educational robot based on the BBC micro:bit microcontroller with rich sensor equipment, including an ultrasonic sensor for orientation, addressable LEDs for individual lighting, and features such as autonomous driving and Bluetooth control. It provides a comprehensive platform for learning robotics, electronics, and programming, with a detailed manual in English and German, using MakeCode or MicroPython for programming, and has already been successfully used in an educational context.

The thesis will present an example of creating an assembly environment for this robotic vehicle. Through the implementation of technologies such as 3D printing, lean tools, and standardized work, improved assembly process results have been achieved. An inspection step has been added as a quality control measure, contributing to ensuring high production standards. Furthermore, the thesis proposes future enhancements using artificial intelligence, robotics, and machine vision technology. These innovations have the potential to significantly optimize processes, increase efficiency, and ensure a high level of product quality.

1. UVOD

U današnjem dinamičnom poslovnom okruženju, gdje tehnološki napredak neprestano postavlja nove izazove, optimizacija procesa proizvodnje postaje ključna komponenta održavanja konkurentske prednosti poduzeća. Stvaranje adekvatnog okruženja za analizu, evaluaciju i optimizaciju procesa postaje imperativ, istovremeno omogućavajući adaptaciju novim tehnologijama koje mijenjaju temeljne paradigme industrijskog poslovanja. Unutar ovog konteksta, ovo istraživanje usmjerava se na razvoj takvog okruženja koje će integrirati najnovije koncepte i tehnologije, unaprijeđujući radne procese, smanjujući pogreške te potičući inovacije. Ovaj rad ima za cilj detaljno istražiti ključne koncepte poput lean menadžmenta i industrije 4.0, stvarajući temelj za potpuno razumijevanje suvremenih smjernica u upravljanju proizvodnjom. Kroz analizu trenutačnih trendova i metodologija, rad će identificirati ključne tehnološke inovacije kao što su Internet stvari (IoT), umjetna inteligencija (AI), 3D printanje i digitalni blizanci. Dodatno, istraživanje će istražiti načine njihove integracije u proizvodne procese, naglašavajući potencijalne prednosti za povećanje efikasnosti, smanjenje troškova te poboljšanje ukupne kvalitete.

Ovim istraživanjem želi se odgovoriti na imperativ industrije za stalnim poboljšanjem i inovacijama u proizvodnom sektoru. Kroz dubinsku analizu i praktične primjene, cilj istraživanja nije samo razumjeti, već i aktivno oblikovati budućnost proizvodnje kako bi se osigurala održiva konkurentska prednost poduzeća u ubrzanom ritmu tehnološkog razvoja.

Proaktivni pristup identificiranju i implementaciji suvremenih tehnologija, zajedno s integracijom principa lean menadžmenta, pružit će temelj za postizanje operativne izvrsnosti. Analiza trenutnog stanja i usporedna evaluacija sa suvremenim najboljim praksama omogućit će konkretno razumijevanje potreba poduzeća te pružiti smjernice za daljnje poboljšanje.

Ovo istraživanje ima ambiciozan cilj postavljanja standarda za budući razvoj proizvodnje u kontekstu sve bržeg tehnološkog napretka. Usredotočujući se na integraciju najnovijih tehnologija i upravljačkih koncepta, težeći održivosti i konkurentske prednosti, očekujemo da će rezultati pridonijeti ne samo teorijskom razumijevanju, već i praktičnoj primjeni inovacija u stvarnom poslovnom okruženju.

2. LEAN MENADŽMENT

Lean (vitki) menadžment je ključni suvremeni poslovno-organizacijski koncept, primarno korišten u proizvodnji, koji se temelji na kontinuiranom poboljšanju poslovnog sustava, u malim koracima te fokusiranom k odstranjivanju rasipanja (gubitaka) u procesu. Ovaj način poslovanja je postao globalni standard u poboljšanju učinkovitosti, smanjenju otpada i postizanju izvrsnosti u gotovo svim industrijama.

Sam pojam „Lean“ proizvodnje ima korijene u Japanu tijekom sredine 20. stoljeća gdje su se u proizvodnim pogonima automobilske tvrtke Toyota, prvi puta počela razvijati ova filozofija i način funkcioniranja poslovne organizacije. Toyota je razvila ovu filozofiju kako bi poboljšala svoje proizvodne procese i postigla visoku razinu učinkovitosti, kvalitete i konkurentske prednosti.

Lean menadžment nije samo niz alata i tehnika, već cjelokupni, duboko ukorijenjen način razmišljanja kome je glavni cilj i naglasak na stvaranje vrijednosti za klijente, eliminaciju bespotrebnog otpada i neprestano poboljšanje procesa.

S vremenom je filozofija Lean menadžmenta prešla iz proizvodnje i u druge sektore poput javnih službi, zdravstva, IT sektor te mnoge ostale industrije. Danas se Lean koristi širom svijeta kao pristup sredstvo neizbježne konkurentske prednosti, a kao pristup pomaže organizacijama postići veću učinkovitost, smanjenje troškova te povećanje zadovoljstva klijenta, a sve temeljeno na principima razvijenim i testiranim u Toyotinim proizvodnim pogonima.

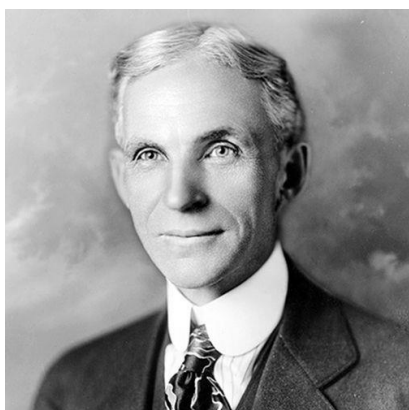
2.1. Povijest i razvoj Leana

2.1.1. Pokretna linija u automobilskoj tvrci Ford

Kako bi se u potpunosti razumio pojam Lean (vitke) proizvodnje, potrebno se vratiti u same početke masovne proizvodnje čiji je začetnik Henry Ford. On je uveo prvi potpuno integrirani proizvodni sustav masovne proizvodnje koji izbacuje velike količine standardiziranih proizvoda. Jedan od najbitnijih čimbenika takvog sustava nazivao se „flow production“ koji se bazirao na kontinuiranom, neprekidnom protoku elemenata kroz proizvodni proces. Takav način proizvodnje se pokazao kao izrazito uspješan te je uspio smanjiti neke procese sklapanja komponenata automobila sa prijašnjih nekoliko sati ili dana, na nekoliko minuta.

Ovaj proces bio je vrlo uspješan i omogućio je tvrtki Ford Motor Company da između 1908. i 1927. proizvede preko 15 milijuna automobila Model T [1]. Tijekom Drugog svjetskog rata, američka vojska usvojila je Fordov sustav masovne proizvodnje. Neke od glavnih osobina Fordove proizvodne linije bile su:

- Standardizacija
- Montažna linija
- Serijska proizvodnja
- Kontinuirani protok
- Mogućnost zamjena komponenti
- Smanjenje vrmeena proizvodnje
- Povećana produktivnost radnika
- Niži troškovi



Slika 1. Henry Ford i Fordov model T iz 1908. godine [3] [4]

Nakon mnogo pokušaja i pogrešaka, 1913. godine Henry Ford i njegovi zaposlenici uspješno su počeli koristiti inovaciju u montažnoj liniji u svojoj tvornici u Highland Parku. Ključna novost bila je pokretna montažna linija, koja je omogućila da se posao donese radnicima umjesto da radnici moraju kretati oko vozila. Vozilo je povlačeno niz liniju i izrađivano korak po korak, prvo uz pomoć užeta, a kasnije pomoću lančanog mehanizma. Ovaj novi proces dramatično je smanjio vrijeme potrebno za izradu Modela T, s nekoliko dana na samo 90 minuta [2].

Međutim, iako je montaža automobila postala jednostavnija, radnici su počeli napuštati Ford Motor Company i prelaziti u konkurenciju. Razlog je bio što su radnici smatrali svoj posao na montažnoj liniji dosadnim jer su obavljali samo jedan ili dva zadatka umjesto da rade na cijelom vozilu. Također su se žalili na strogi tajming koji je pokretna montažna linija zahtijevala, što je često rezultiralo propuštanjem dijelova ili sudarima među radnicima.

Da bi zadržao radnike, Henry Ford je uveo inovaciju u obliku dnevnice od 5 dolara, koja je uključivala dijeljenje dobiti i više nego udvostručila dnevnu plaću radnika. Taj potez nije doveo do bankrota, kako se očekivalo, već je privukao veliki broj radnika zbog visokih plaća. Osim povećanja plaća, Ford je smanjio radno vrijeme radnika, stvarajući tako treću smjenu i zapošljavajući više radnika, čime je omogućio tvornici Ford Motor Company da radi 24 sata dnevno. [2].

Osim što je povećao plaće zaposlenika i smanjio radne sate, Ford je smanjio cijenu Modela T, čineći ga pristupačnijim širokim masama. To je također potaknulo širenje "Fordizma", koncepta masovne proizvodnje s visokim plaćama, na druge industrije. Fordov pionirski pristup promijenio je poslovni i proizvodni svijet, potičući radnike da traže poslove s boljim plaćama i kraćim radnim vremenom. [2].



Slika 2. Pokretna linija za automobil Ford T [5]

Sve ove značajke činile su Fordov sustav masovne proizvodnje Modela T revolucionarnim u automobilskoj industriji i postavile temelje za daljnji razvoj proizvodnih procesa.

Međutim, problem ovakvog sustava su se počeli javljati zbog nedostatka raznolikosti. Model T nije bio ograničen samo na jednu boju; također je bio ograničen na jednu specifikaciju, tako da su svi okviri Modela T bili većinom identični do kraja proizvodnje 1926. godine.

Kad je svijet tražio raznolikost, uključujući i modele s kraćim životnim ciklusima od 19 godina koliko je trajao Model T, činilo se da je Ford izgubio pravac. Drugi proizvođači automobila odgovorili su na potrebu za mnogo modela, svaki s brojnim opcijama, ali s proizvodnim sustavima čiji su koraci dizajna i izrade napredovali prema procesnim područjima s mnogo dužim vremenima proizvodnje. Tijekom vremena, njihovi pogoni za izradu postajali su opremljeniji sve većim strojevima koji su radili brže i brže, smanjujući troškove po koraku, ali istovremeno povećavajući vrijeme obrtaja i inventare, osim u rijetkim slučajevima poput linija za obradu motora gdje su svi koraci procesa mogli biti povezani i automatizirani. Još gore, vremenski odmori između koraka procesa i kompleksne rute dijelova zahtijevali su sve sofisticiranije informacijske sustave za upravljanje, kulminirajući u računaliziranim sustavima za planiranje potreba za materijalima (MRP) [6].

2.1.2. Toyotin sistem proizvodnje

Korijeni Lean pristupa mogu se pronaći u japanskoj kompaniji Toyota. Povijest sustava Toyota Production System datira iz početka dvadesetog stoljeća. Očevi ovog sustava bili su Sakichi Toyoda, njegovi sinovi Kiichiro Toyoda i Eiji Toyoda, te inženjer za proizvodnju Taiichi Ohno. Sakichi Toyoda, koji je tada radio u tekstilnoj industriji, izumio je motorni tkalački stan s posebnim mehanizmom koji je zaustavljao stroj u slučaju pucanja niti. Taj mehanizam kasnije je postao temelj za Jidoka (automatizacija uz ljudsku proizvodnju), jedan od dva glavna stupa na kojima je izgrađen Toyota Production System. Primjenom senzora za otkrivanje grešaka smanjeni su nedostaci uzrokovani ljudskim nesavršenostima, a povećana je kapaciteta proizvodnje.

Sakichi Toyoda posjetio je Sjedinjene Američke Države prvi put i shvatio da započinje nova era u automobilskoj industriji 1910. godine. Međutim, obitelji Toyoda trebalo je 20 godina da ostvare svoje planove. 1929. godine Kiichiro Toyoda stigao je u SAD kako bi istražio lokalne kompanije u automobilskoj industriji. Posebno ga je fascinirao Fordov proizvodni sustav, koji je 1913. godine uveo serijsku proizvodnju svojih automobila (Model T). Stoga je, kada je Toyota Motor Company započela s proizvodnjom, Kiichiro odlučio implementirati neke od rješenja koje je vidio u SAD-u.



Slika 3. Sakichi Toyoda - otac Lean metodologije[8]

Tada je Japan patio od smanjene potražnje, stoga su različiti automobili morali biti proizvedeni u manjim serijama na istim montažnim linijama. Kako bi konkurirala u industriji masovne proizvodnje automobila, koja je već bila uvedena u europskim i američkim kompanijama, Toyota je morala promijeniti metode proizvodnje. Kiichiro Toyoda potpuno je shvatio da je obavezno stvoriti brz i fleksibilan proizvodni proces kako bi klijenti dobili željene, visokokvalitetne i razumne automobile. Kiichiro je započeo pripremne radnje za proizvodnju u sustavu Just-in-time. Cilj je bio povećati kapacitet proizvodnje i smanjiti otpad.

1950-ih je sin Sakichija, Eiji Toyoda, posjetio Fordovu kompaniju. Čini se da je zahvaljujući tom posjetu Toyoda zajedno s Taiichi Ohnom bili u mogućnosti stvoriti sustav koji povezuje dva stupa TPS-a (Jidoka i Just-in-time) s Fordovom montažnom linijom.

Nakon prethodnog poboljšanja, Taiichi Ohno je razvio još jedan koncept nazvan "pull-flow production", staru praksu u američkim supermarketima. Ova metoda omogućila je proizvodnju onoliko proizvoda koliko je moglo biti iskorišteno u sljedećem procesu, olakšavajući smanjenje prekomjerne proizvodnje [7].

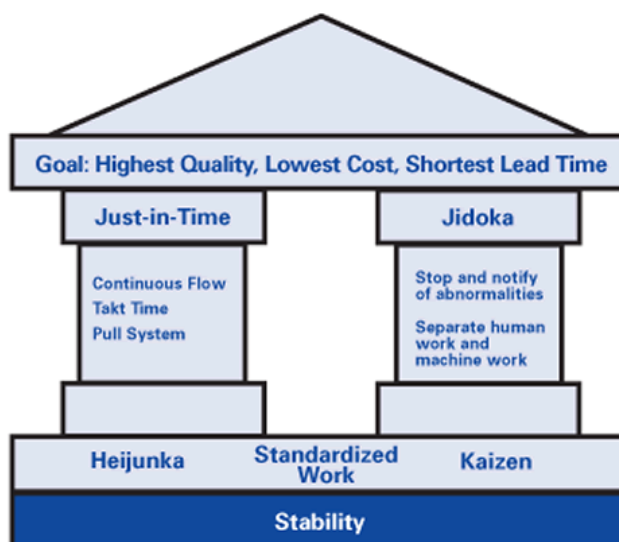
Toyota Production System nije izazvao interes japanskih i američkih kompanija do 1973. godine. Tek kada je proizvodnja morala biti smanjena, japanski i američki menadžeri primijetili su značajne rezultate koje je postigla Toyota. Kao rezultat toga, sustav je izazvao velik interes.

Toyotin sistem proizvodnje (Toyota Production System) je baziran na dva koncepta:

- **Jidoka** – ovaj koncept bi se mogao prevesti kao „automatizacija s ljudskim dodirom“, što znači da čim se pojavi neki problem u proizvodnji, strojevi ili oprema trenutno prestaju s radom kako bi spriječili proizvodnju neispravnih dijelova (škarta). Taj problem se zatim trenutno otklanja te se istražuje i otklanja uzrok samog problema.

Uvođenje ovakvog pristupa u proizvodne procese bio je iznimno koristan, pošto eliminira potrebu da operateri neprestano nadziru strojeve i rezultira velikim dobitima u produktivnosti jer jedan operater može upravljati s nekoliko strojeva.

- **Just-in-Time** – ovaj koncept ima jasnu ideju da se proizvodi „ono što je potrebno, kada je potrebno i u kojoj količini je potrebno“. Da bi se smanjilo kreiranje zaliha, sustav proizvodi na zahtjev, odnosno samo kada to klijent traži. Gubi se potreba za velikim troškovima skladištenja te se sirovine iskorištavaju u najkraćem mogućem roku . Nabavlja se samo onoliko koliko je potrebno za proizvodnju, a proizvodi se samo onoliko koliko potražuje kupac.



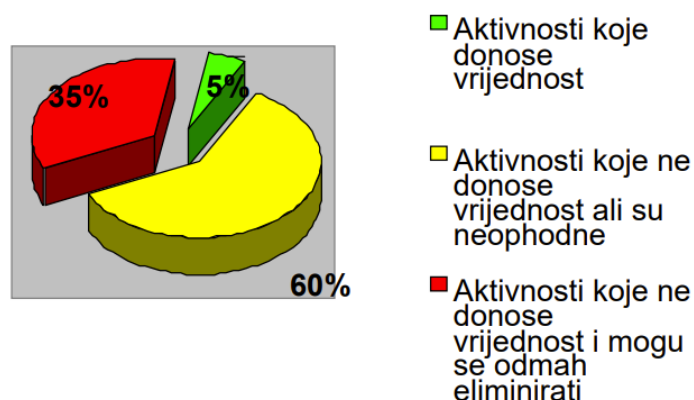
Slika 4. Kuća Leana (Lean House) koncept [1]

2.2. Principi Lean metodologije

Principi cjelokupne Lean proizvodnje i metodologije su prvi puta uvedeni i dobili takav naziv u knjizi „The Machine That Changed the World“ J.P.Womack-a i D.T.Jones-a, 1991. godine. Autori su proučavali mnogobrojne proizvodne procese i sustave te su konačno sistematizirali te ideje u knjigu koju su napisali prema zapažanjima koje su stekli u proizvodnom procesu Toyote.

Kasnije su isti autori u idućoj knjizi „Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation“, iz 2003. saželi Lean način poslovanja u 5 glavnih principa [9]:

- 1. Utvrđivanje vrijednosti proizvoda u očima klijenata** - Vrijednost je temelj razmišljanja u lean pristupu, definirana od strane krajnjeg korisnika kao određeni proizvod koji zadovoljava njihove potrebe po određenoj cijeni i vremenu. Međutim, mnoge organizacije teško precizno definiraju vrijednost zbog različitih faktora, kao što su pritisak za ostvarivanje kratkoročnog profita i inicijative za smanjenje troškova. Ovaj problem se pogoršava nacionalnim izobličenjima, poput njemačkih inženjera koji se fokusiraju na složenost, japanskih tvrtki koje prioritet daju domaćoj proizvodnji i neefikasnom pristupu u zrakoplovnoj industriji. Lean razmišljanje zahtijeva pomak prema preciznoj definiciji vrijednosti putem timova usmjerenih na proizvod i ponovno procjenjivanje uloge tehničkih stručnjaka, što krajnjim korisnicima na kraju isporučuje ono što zaista žele.
- 2. Identifikacija i pojašnjavanje toka vrijednosti proizvoda** - Identificiranje vrijednosnog toka je ključan korak u lean razmišljanju, gdje se analiziraju sve konkretne radnje potrebne za stvaranje određenog proizvoda. Ovaj proces otkriva tri vrste aktivnosti: one koje stvaraju vrijednost, one koje su neizbježne s trenutnim tehnologijama i proizvodnim sredstvima te one koje su nepotrebne i odmah izbjegljive. Lean razmišljanje ide izvan granica tvrtke i traži suradnju svih uključenih strana kako bi se uklonili nepotrebni koraci u vrijednosnom toku i postigle uštede.

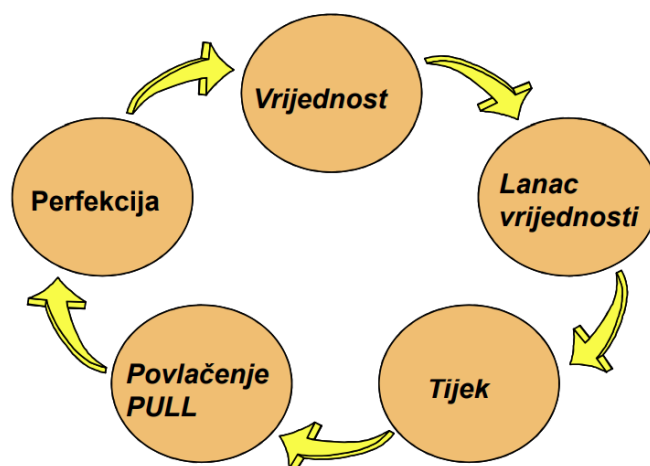


Slika 5. Aktivnosti u lancu vrijednosti[10]

- 3. Osiguravanje brzog i nesmetanog tijeka vrijednosti**- Ključni korak u lean razmišljanju je postizanje kontinuiranog protoka u proizvodnji, umjesto serija i odjela. Ova promjena zahtijeva reorganizaciju načina razmišljanja jer ljudi često intuitivno vjeruju da su serije i odjeli efikasniji. Kontinuirani protok omogućava učinkovitije i preciznije obavljanje poslova te zahtijeva promjenu u organizaciji, što se često suočava

s otporom jer se mnogi zaposlenici boje gubitka poslova ili smanjenja aktivnosti odjela. Unatoč ovim izazovima, lean pristup naglašava važnost fokusiranja na proizvod i njegove potrebe kako bi se stvorio kontinuirani protok vrijednosti u proizvodnji.

- 4. Omogućavanje klijentima da izvlače vrijednost od proizvođača** - Konverzija iz odjela i serija u proizvodne timove i kontinuirani protok dramatično smanjuje vrijeme potrebno za razvoj proizvoda, obradu narudžbi i fizičku proizvodnju. Proizvodi koji su nekada zahtijevali godine za dizajniranje sada se mogu završiti u mjesecima, narudžbe koje su se ranije obrađivale danima sada se mogu završiti u satima, a tjedni ili mjeseci potrebni za konvencionalnu fizičku proizvodnju smanjuju se na minute ili dane. Lean sustavi omogućuju proizvodnju bilo kojeg proizvoda u bilo kojoj kombinaciji, čime se može odmah odgovoriti na promjene u potražnji. Ovo omogućava da klijent "vuče" proizvod prema svojim potrebama umjesto da mu se "gura" proizvod, što rezultira stabilnijom potražnjom i smanjenim otpadom. Ova sposobnost revolucionarno mijenja način na koji se proizvodi i isporučuje, smanjuje inventar i ubrzava povrat ulaganja.
- 5. Težnja izvrsnosti** - Prva četiri koraka pomoći će vam stvoriti Lean upravljački sustav, ali posljednji korak omogućuje vam kontinuirano poboljšanje i napredovanje. Kada dosegnete završnu fazu, ponovno pregledavate svaki dio poslovnog procesa koji ima mogućnosti za daljnje poboljšanje. Težnja kontinuiranom poboljšanju rezultira neprestanim povećanjem učinkovitosti, pri čemu produktivnost kontinuirano raste u skladu s zadovoljstvom kupaca. Pet osnovnih Lean načela su ciklička. Dok težite savršenstvu, redovito analizirate svaki proces radi povećanja vrijednosti, usmjeravajući se na elemente koji dodaju vrijednost i eliminirajući one koji je ne dodaju. Stremljenje prema savršenstvu vodi do kontinuiranog poboljšanja.



Slika 6. Principi Lean proizvodnje [10]

2.3. Definicije vrijednosti i gubitaka u sklopu Lean razmišljanja

Jedan od osnovnih principa u lean metodologiji je uklanjanje gubitaka unutar operacije. I u svakom poslu, jedan od najvećih iscrpljivača profitabilnosti su gubici. Lean gubici mogu biti u obliku vremena, materijala i radne snage. Ali također mogu biti povezani s iskorištavanjem vještina kao i lošim planiranjem. U lean proizvodnji, gubitak je svaki trošak ili napor koji se troši, ali ne pretvara sirovine u proizvod za koji je kupac voljan platiti. Optimizacijom koraka u procesu i eliminacijom gubitaka, dodaje se samo prava vrijednost u svakoj fazi proizvodnje. Danas, model Lean proizvodnje prepoznaje 8 vrsta gubitaka unutar operacije; sedam prvobitno osmišljenih kada je Toyota Production System prvi put osmišljen, i osmi dodan kada je lean metodologija usvojena u zapadnom svijetu. Sedam od osam gubitaka usmjereni su na proizvodni proces, dok osmi gubitak izravno je povezan s sposobnošću uprave da iskoristi osoblje.



Slika 7. Gubici Lean menadžmenta[10]

Definirano je osam vrsta gubitaka:

1. **Transport** - Gubici u prijevozu uključuju kretanje ljudi, alata, inventara, opreme ili proizvoda dalje nego što je potrebno. Prekomjerno kretanje materijala može dovesti do oštećenja proizvoda i nedostataka. Osim toga, prekomjerno kretanje ljudi i opreme može dovesti do nepotrebnog rada, većeg trošenja i iscrpljenosti. Cilj bi trebao biti smanjenje čestog rukovanja proizvodima uz najkraće moguće udaljenosti između procesnih koraka. Gubici u prijevozu temelje se na sljedećim osnovnim uzrocima poput: loša

tvornička postava, loše planiranje procesa s nepotrebnim koracima, pogrešno usmjeren tijek procesa te nedostatni alati za komunikaciju.

2. **Prekomjerna proizvodnja** - Prekomjerna proizvodnja obično se događa kada radnici nastavljaju proizvoditi slijepo, čak i ako izlaz ne može biti obrađen jer primatelji nisu spremni ili ne trebaju izlaz u datom trenutku. Liječenje prekomjerne proizvodnje zahtijeva bolje planiranje i koordinaciju rada. Potrebna je implementacija standardnih postupaka za svaki proces. Eng - Bottlenecks u nizu procesa trebaju biti uklonjeni i mjere za poboljšanje transparentnosti cijelog proizvodnog procesa trebaju biti implementirane. Prekomjerna proizvodnja vezuje značajnu količinu radnog kapitala i ne smije biti prihvaćena. Osnovni uzroci prekomjerne proizvodnje obično uključuju: Proizvodnja "samo u slučaju" , Slabo planiranje, Dugotrajna postavljanja i zamjene strojeva
3. **Čekanje** - Otpad čekanja uključuje: 1) ljude koji čekaju materijal ili opremu i 2) neaktivnu opremu. Vrijeme čekanja često uzrokuje neravnoteža u proizvodnim stanicama i može rezultirati viškom zaliha i prekomjernom proizvodnjom. U uredu, otpad čekanja može uključivati čekanje da drugi odgovore na e-poštu, čekanje na pregled datoteka, neučinkovite sastanke i čekanje da se računalo pokrene. U proizvodnom pogonu, otpad čekanja može uključivati čekanje da materijali stignu, čekanje na odgovarajuće upute za početak proizvodnje i opremu s nedovoljnim kapacitetom. Neki protumjere za otpad čekanja uključuju: dizajniranje procesa kako bi se osigurala kontinuirana proizvodnja ili proizvodnja jednog komada po narudžbi, izjednačavanje opterećenja korištenjem standardiziranih radnih uputa i razvoj fleksibilnih radnika sa više vještina koji se brzo mogu prilagoditi zahtjevima posla.
4. **Prekomjerna obrada** - višak obrade je znak loše dizajniranog procesa. To može biti povezano s upravljačkim ili administrativnim problemima kao što su nedostatak komunikacije, dupliranje podataka, preklapanje ovlasti i ljudska pogreška. Također može biti rezultat dizajna opreme, nedostatka alata na radnoj stanici ili nedostatnog rasporeda objekta.
5. **Zalihe** - Višak zaliha nastaje kada opskrba premašuje stvarnu potražnju kupaca. Ključni razlozi pretjeranog gomilanja zaliha su:
6. **Nepotrebni pokreti** - Otpad u pokretu rezultira kretanjem koje ne dodaje vrijednost proizvedenim dobrima. Preuređenje rasporeda radnih mjesta kako bi se smanjile udaljenosti ima ogroman utjecaj na smanjenje otpada u pokretu. Osim toga, trebaju se

primijeniti odgovarajući postupci za dijeljenje alata i strojeva. Upotreba mobilnih uređaja za prikupljanje podataka i obavljanje zadataka također smanjuje otpad u pokretu.

7. **Škart** - Greške se javljaju kada proizvod nije prikladan za upotrebu. To obično rezultira ili ponovnim obradom ili odbacivanjem proizvoda. Oba rezultata su gubitak jer dodaju dodatne troškove operacijama bez pružanja vrijednosti kupcu.
8. **Neiskorišten talent** - Iako ovaj gubitak nije jedan od sedam originalnih gubitaka Toyotinog proizvodnog sustava, nedostatak iskorištavanja talenata sve više se smatra gubicima danas. Nedovoljno iskorišteni talenti, sposobnosti i znanje ljudi imaju ogroman utjecaj na svaku organizaciju. Neiskorištavanje talenata izravno utječe na motivaciju i angažman zaposlenika. To ima izravan utjecaj na produktivnost. Rješenja za osnaživanje zaposlenika uključuju izbjegavanje mikro-upravljanja, poboljšanje obuke i implementaciju procesa i alata za izravan povratni odgovor zaposlenika, npr. prikupljanje ideja za mjere kontinuiranog poboljšanja.

2.4. Alati Lean Menadžmenta

Učinkovitost proizvodnog procesa nekog poduzeća može se značajno poboljšati primjenom alata Lean menadžmenta, koji su se posebice pokazali učinkoviti kod upravljanja resursima poduzeća. Alati Lean menadžmenta su različite metode, odnosno načina primjenjivanja i ostvarivanja Lean-a u proizvodnji. Svi su na neki način povezani jedni s drugima i zajedno čine bazu kuće Lean menadžmenta. U proizvodnim poduzećima primjenjuje se velik broj vrlo efikasnih Lean alata poput: Mapiranja toka vrijednosti, 5S-a, Kaizena, Standardiziranog rada i mnogih drugih. U nastavku slijedi detaljan opis nekih od najznačajnijih alata.



Slika 8. Lean alati [10]

2.4.1. Kaizen

Kaizen predstavlja jedan od Lean alata, ali ujedno i životnu te poslovnu filozofiju sustava ili organizacija koja potječe iz Japana, a temelji se na konstantnom, postepenom poboljšanju procesa u malim koracima, odnosno idejom da male, konstantne pozitivne promjene mogu rezultirati generalno velikim napredkom.

Autor pojma je Tahiiichi Ohno, a sam naziv Kaizen je složenica, a sastoji se od riječi „Kai“, koja znači dobro i riječi „zen“ koja prestavlja promjenu. Kaizen je prisutan u većini japanskih kompanija i usmjeren je na kontinuirano poboljšanje operacija i uključuje sve zaposlenike.

Kaizen vidi poboljšanje produktivnosti kao postupan i metodičan proces, a koncept kaizena obuhvaća širok spektar ideja. Uključuje stvaranje učinkovitijeg i djelotvornijeg radnog okruženja stvaranjem timskog ozračja, poboljšavanjem svakodnevnih postupaka, osiguravanjem angažmana zaposlenika te čini posao ispunjenijim, manje iscrpljujućim i sigurnijim.



Slika 9. Značenje pojma Kaizen [11]

Sveukupni cilj kaizena je napraviti male promjene tijekom vremena kako bi se stvorila poboljšanja unutar tvrtke. To ne znači da se promjene događaju sporadično. Kaizen proces jednostavno prepoznaje da male promjene sada mogu imati ogroman utjecaj u budućnosti.

Poboljšanja mogu doći od bilo kojeg zaposlenika u bilo kojem trenutku. Ideja je da svatko ima udjela u uspjehu tvrtke i da bi svi trebali težiti tome da uvijek pomažu u poboljšanju poslovnog modela. Mnoge tvrtke su usvojile koncept kaizena. Najpoznatije, Toyota primjenjuje značenje i filozofiju kaizena unutar svoje organizacije. Ona cijeni kaizen kao jednu od svojih temeljnih vrijednosti. Kako bi poboljšala svoj proizvodni sustav, Toyota potiče i osnažuje sve zaposlenike da identificiraju područja potencijalnih poboljšanja i razvijaju izvedive rješenja.

Uspješna implementacija Kaizen načina poslovanja zahtijeva razvijanje odgovarajućeg mentalnog sklopa unutar organizacije. Kako bi se to postiglo, mora se provesti deset načela koja su ključ za uspješno provođenje Kaizena [13]:

1. Odbaciti sve pretpostavke
2. Preuzimanje inicijative u rješavanju problema
3. Odbijanje statusa quo
4. Prihvatanje mentalnog sklopa iterativnih, prilagodljivih promjena umjesto težnje savršenstvu
5. Promatranje grešaka kao prilika za rješenja
6. Stvaranje inkluzivnog okruženja u kojem se svi zaposlenici osjećaju ovlaštenima da doprinose
7. Ispitivanje očiglednih problema postavljanjem pitanja "zašto" pet puta kako bi osigurali ispravnu analizu korijenskih uzroka
8. Prikupljanje informacija i gledišta iz više izvora
9. Korištenje kreativnosti za identifikaciju niskotroškovnih, postupnih poboljšanja
10. Nikada ne prestati s kontinuiranim poboljšanjima

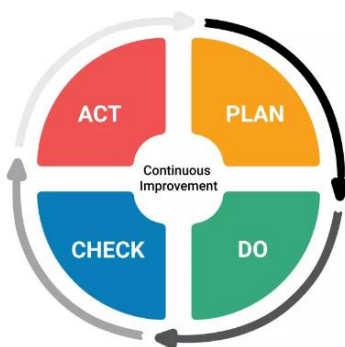
Za samu implementaciju Kaizena u poduzeća, rade se takozvani „Kaizen događaji. Kaizen događaj, također poznat kao "Kaizen blitz", je svrhovita, vremenski ograničena inicijativa dizajnirana kako bi olakšala efikasnu sesiju brainstorminga usmjerenu na jedan problem i unapređenje postojećeg procesa. Usklađen s principima Lean i Six Sigma, Kaizen događaj usmjeren je na koncepte fokusa i brzine. Organizacije mogu postići značajne proboje koji vode brzim poboljšanjima procesa okupljajući odgovarajući tim za rješavanje određenog problema. Generalno, takvi događaji traju tri do pet dana, a ovaj pristup se polako uključuje i u dugoročne planove poboljšanja procesa u poslovanju. Uobičajeni proces jednog Kaizen događaja je [13]:

1. Postavljanje jasnih ciljeva i pružanje relevantnog konteksta
2. Procjena trenutnog stanja i izrada plana za poboljšanja
3. Implementacija identificiranih poboljšanja

4. Analiza rezultata i rješavanje eventualnih problema
5. Presentacija rezultata i identifikacija potrebnih budućih postupaka

Ovaj tip rješavanja problema općenito je poznat kao PDCA krug (Planiraj, Realiziraj, Provjeri, Djeluj) i široko se koristi za unaprjeđenje poslovnih operacija. Ovaj pristup donosi znanstveni i metodološki pristup uvođenju poboljšanja i postizanju željenih rezultata. To je neprekidni ciklus koji se kontinuirano ponavlja s samim time postavlja poboljšanja kao dio svakodnevnog poslovanja. Metodologija se temelji na prethodno procesnom pristupu poduzeću i inzistira da se u poslovnim procesima poduzimaju sljedeće radnje:

- PLAN – planirati i uspostaviti ciljeve i procese nužne za ostvarivanje ciljeva u skladu s politikom poduzeća i zahtjevima kupaca
- DO – izvršavanje procesa iz prethodnih koraka
- CHECK – nadzor i mjerenje procesa i proizvoda s obzirom na postavljene ciljeve i zahtjeve
- ACT – poduzimanje radnji za daljnje poboljšanje procesa



Slika 10. Demingov PDCA krug [13]

Kako se napreduje kroz svaki korak, održava se kotač u pokretu, što predstavlja kontinuirano poboljšanje. Kada se ponovno dođe do početnog stadija, analizira se prethodni napredak i planiraju se sljedeći koraci.

Još neki od bitnih alata koji se koriste u sklopu Kaizen metode, odnosno u unaprjeđenju procesa su : 5 Why's (5 zašto) i Ishikawa dijagram.

U konačnici, Kaizen je vrlo učinkovit i isplativ alat i način razmišljanja kojim se generalno postiže [13]:

1. **Kaizen pomaže svima da govore istim jezikom:** Male kontinuirane promjene i standardizacija gotovo automatski dovode sve na istu stranicu. Zaposlenici su dio procesa i njegove izrade, unapređujući se zajedno s njim.
2. **Kaizen stvara mentalni sklop rasta:** Vrijednosti tvrtke spadaju među najvažnije komponente uspješnog poslovanja. Kaizen je način da se svi ujedine dijeleći isti mentalni sklop i pristup prema radu i razvoju.
3. **Kaizen stvara mentalni sklop rasta:** Vrijednosti tvrtke spadaju među najvažnije komponente uspješnog poslovanja. Kaizen je način da se svi ujedine dijeleći isti mentalni sklop i pristup prema radu i razvoju.
4. **Kaizen vam pomaže bolje prihvatiti nove ideje:** Kada je vaša organizacija navikla prihvaćati status quo, nove ideje i prilike ponekad se mogu gledati negativno. S primjenom strategije kontinuiranog poboljšanja, vaši timovi će se naviknuti i cijiniti rad s idejom da je promjena pozitivna.

2.4.2. 5S

5S je sistem za organizaciju prostora kako bi se posao mogao izvršiti efikasno, efektivno te sigurno za radnike. Taj alat proizlazi iz proizvodnih metoda koje su pokrenuli lideri u tvrtki Toyota Motor Company tijekom sredine 20. stoljeća, a fokusira se da postavi sve objekte na predviđenu (definiranu) poziciju i održava radna mjesta čistim te organiziranim, što uzrokuje da posao operaterima teče fluidnije te smanjuje nepotrebne vremenske gubitke te rizik od ozljeda. U suštini 5S se fokusira na kontrolu, čistoću i standardizaciju.

Neki od glavnih razloga zbog kojeg bi neko poduzeće počelo uvoditi 5S su:

- Manje vremena provedeno na traženje dokumenata, materijala i alata za rad
- Manji rizik od nezgoda i ozljeda
- Manje potrebnog prostora
- Povećana protočnost materijala
- Povećana motivacija zaposlenika
- Povećana produktivnost
- Bolja kvaliteta
- Bolja komunikacija



Slika 11. Koncept 5S [12]

Implementacija 5S-a u neki poslovni sustav ili proizvodnju tipično teče u pet glavnih koraka koji su proizašli iz Toyotinih proizvodnih procesa, a to su:

1. **Sortiranje (Seiri)** - Prvi korak u 5S metodi je prepoznavanje potrebnih i nepotrebnih stvari te razlikovanje bitnih od nebitnih. U fazi "Sortiranje", nepotrebni dijelovi se uklanjaju, uz razmatranje važnosti pojedinih predmeta u radnom okruženju. Ovaj korak zahtijeva temeljno razumijevanje svrhe stvari na radnom mjestu i potrebu za njima. Nepotrebni predmeti se označavaju crvenim oznakama (red tag) i premještaju na određeno mjesto (red tag područje).
2. **Stavljanje u Red (Seiton)** – u ovome koraku stvari se moraju sistematski posložiti, tako da se lagano mogu pronaći te da ih se može jednostavno koristiti. Neke od bitnih stavki sortiranja su :
 - Često korištene alat mora biti smješten u blizini mjesta gdje se koristi
 - Alati koji se koriste zajedno moraju biti i smješteni zajedno
 - Alat treba biti spremljen prema onom redoslijedu kojim se i koristi
 - Vrlo je bitno etiketiranje – bez označavanja se vrlo lako zaboravlja gdje stvari stoje
 - Ergonomija – često korišten alat treba biti smješten na lako dostupnom mjestu i smješten tako da se izbjegnu nepotrebna saginjanja, istezanja ili pretjerano hodanje
3. **Čišćenje (Seiso)** - – u ovome koraku stvari se moraju sistematski posložiti, tako da se lagano mogu pronaći te da ih se može jednostavno koristiti. Neke od bitnih stavki sortiranja su Ovaj korak u metodologiji 5S uključuje temeljito čišćenje i inspekciju alata, opreme i drugih predmeta u radnom prostoru. To stvara okruženje koje potiče i

osnažuje operatere, daje im više odgovornosti i kontrole nad svojim radnim područjima. Također pomaže u prepoznavanju potencijalnih problema prije nego što ometaju proizvodnju. Na primjer, u čistom radnom prostoru mnogo je lakše otkriti nastale probleme poput curenja tekućine, prolivenih materijala, neočekivanog trošenja koje dovodi do metalnih strugotina, pukotina na mehanizmima i drugih problema. Ova faza u konačnici povećava produktivnost što pak donosi veći profit. To je vrlo teško postići te se stoga preporuča da se čišćenje i brisanje poda odnosno stola i opreme uvede u svakodnevnu rutinu.

4. **Standardizacija (Seiketsu)** - Standardizacija čini 5S postupak ponovljivim. Taj korak pretvara 5S iz jednokratnog projekta u skup aktivnosti koje se mogu ponavljati kontinuirano. Rutinska čišćenja i održavanje trebaju postati sastavni dio svakodnevnog radnog stila. Standardizacija uključuje rad s timom na način da svi članovi tima podrže implementaciju novog načina rada i prihvate ga kao normalan način rada od trenutka uvođenja pa nadalje. Izuzetno je važno osigurati da se postignuti uspjesi tijekom prethodne tri faze ne izgube ili ne umanje tijekom procesa standardizacije. Standardizacija se postiže pomoću
5. **Održavanje (Shitsuke)** - svi postupci trebaju postati dio svakodnevne rutine. Peta faza 5S procesa se pokazala kao najteža za uvođenje. Ono uključuje implementaciju 5S filozofije kao načina razmišljanja unutar cijele organizacije te uvođenje osobne discipline kako bi se slijedilo sve što je prethodno dogovoreno. Ovo je najkompleksniji zadatak unutar 5S-a jer nije dovoljno ponekad počistiti i pospremiti radno mjesto kako bi se ostvarilo dojam organizacije i čistoće, već je potrebno taj red održavati i prilagođavati novonastalim uvjetima. Koraci prema održavanju 5S standarda i prilagodbe novim uvjetima uključuju :
 - Redovite provjere
 - Korištenje 5S Audita
 - Treniranje novih zaposlenika i edukacija o 5S-u
 - Nagrade za dobro organizirana radna mjesta



Slika 12. Ilustrirani prikaz rezultata implementacije 5S-a[14]

Zaključno, 5S je izrazito bitna metodologija u unaprjeđenju poslovanja koja može biti implementirana na bilo kojem radnom mjestu te u bilo kojoj industriji. Pomaže u kreiranju organiziranijeg i efikasnijeg radnog mjesta, a rezultira i povećanjem sigurnosti radnika.

Danas se taj pojam proširio te dobiva novi naziv „6S“, a pod tim šestim aspektom daje fokus na sigurnost, odnsono na sigurnosne aspekte poduzeća. U tom koraku potrebno je prepoznavati i otklanjati opasnosti te pregledavati svake površine i akcije kako nebi došlo do neželjenih ozljeda u radu. Rezultat upotrebe 6S-a bi bio potpuno minimiziranje ozljeda i nesreća na radnom mjestu.

Danas se 5S širi i implementira u raznim industrijama poput zdravstvenih ustanova, obrazovnih ustanova, vlade i mnogih ostalih.

2.4.3. Kanban

Kanban je sustav, odnosno alat koji potječe još od 1950-ih godina, a preveden s japanskoga označava vizualnu ploču ili znak. Prvi put je razvijena i primijenjena od strane tvrtke Toyota kao sustav za raspored proizvodnje „Just-In-Time“. Ovaj pristup predstavlja sustav povlačenja (pull sustav). To znači da se proizvodnja temelji na zahtjevima kupaca umjesto na standardnoj praksi guranja proizvoda na tržište.

Kanban je sustav koji koristi kartice pomoću kojih se signalizira potreba za određenim proizvodom, sirovinom, poluproizvodima i sl. Nastao je po uzoru na američke supermarkete. U supermarketima se policica dopunjava kada se količina na njoj smanji na određenu mjeru.

Prevedeno na „jezik proizvodnje“ prethodna operacija proizvodi to čno ono što iduća treba po principu pull sustava. [10]

Kako bi Kanban sustav bio uspješno uveden u proizvodnju, treba ispuniti nekoliko preduvjeta [10]:

- Primjenjiv je u proizvodnji koja se ponavlja
- Sustav mora biti stabilan
- Strojevi moraju biti visoko pouzdani (važno je kvalitetno održavanje)
- Standardizirani procesi i operacije
- Pouzdani dobavljači
- Velika angažiranost i stručnost radnika
- Potrebna stalna ulaganja u smanjenju vremena namještanja alata - SMED (zbog malih serija)

Toyota je kroz svoj proizvodni proces definirala 6 glavnih pravila za funkcioniranje Kanban sustava. Njih je definirao Taiichi Ohno[16] :

1. Kasniji proces preuzima broj predmeta naznačenih kanbanom u ranijem procesu.
2. Raniji proces proizvodi predmete u količini i slijedu naznačenim kanbanom
3. Nijedan predmet se ne proizvodi ili ne transportira bez kanbana
4. Uvijek priložite kanban uz proizvode
5. Pogrešni proizvodi se ne šalju dalje u sljedeći proces. Rezultat je roba bez grešaka u 100%.
6. Smanjenje broja kanbana povećava njihovu osjetljivost

Sustav kanban-a može se promatrati kao sustav signala i odgovora. Kada je zaliha na radnoj stanici pri kraju, pojavit će se vizualni znak koji određuje koliko treba naručiti od opskrbe. Osoba koja koristi dijelove tada naručuje količinu koju pokazuje kanban, a dobavljač isporučuje točno traženu količinu.

Sustav kanban-a se može lako primijeniti unutar tvornice, ali također se može primijeniti prilikom nabave inventara od vanjskih dobavljača. Sustav kanban stvara izvanrednu vidljivost kako za dobavljače tako i za kupce. Jedan od njegovih glavnih ciljeva je ograničiti nakupljanje viška zaliha na bilo kojoj točki na proizvodnoj liniji. Postavljaju se ograničenja na broj predmeta koji čekaju na točkama opskrbe, a zatim se smanjuju kako bi se identificirale i

uklonile neefikasnosti. Svaki put kad se prekorači ograničenje inventara, to ukazuje na neefikasnost koju treba rješavati.



Slika 13. Prikaz Kanban ploče u uredu[15]

Kanban kartice su ključna komponenta kanbana i signaliziraju potrebu za premještanjem materijala unutar proizvodnog postrojenja ili za unosom materijala iz vanjskog dobavljača u proizvodno postrojenje. Kanban kartica je, u suštini, poruka koja signalizira iscrpljenje proizvoda, dijelova ili inventara. Kada se primi, kanban pokreće ponovno snabdijevanje tog proizvoda, dijela ili inventara. Potrošnja, stoga, potiče potražnju za većom proizvodnjom, a kanban kartica signalizira potražnju za više proizvoda - tako da kanban kartice pomažu stvarati sustav koji se temelji na potražnji.



Slika 14. kanban kartice u proizvodnom procesu[10]

U posljednjih nekoliko godina, sustavi koji šalju kanban signale elektronički postali su sve češći. Iako ovaj trend dovodi do smanjenja upotrebe kanban kartica u ukupnom smislu, još uvijek je uobičajeno da se u modernim proizvodnim postrojenjima koriste kanban kartice. U raznim softverskim sustavima, kanban se koristi za signaliziranje potražnje dobavljačima putem

obavijesti e-pošte. Kada je zaliha određenog dijela iscrpljena za količinu navedenu na kanban kartici, stvara se "kanban okidač" (koji može biti ručan ili automatski), izdaje se narudžbenica s unaprijed definiranom količinom za dobavljača navedenog na kartici, i očekuje se da dobavljač isporuči materijal u određenom vremenskom roku.

2.4.4. Mapiranje toka vrijednosti

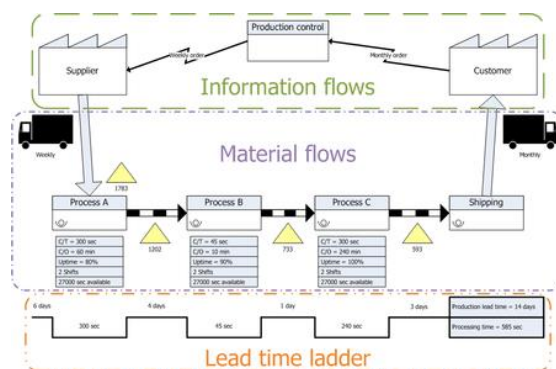
Mapiranje toka vrijednosti je jedan od najbitnijih Lean alata, a služi poduzećima da kroz vizualizaciju, analizu i poboljšanje svih koraka u procesu, sagledaju procese i identificiraju aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu te one koje ne dodaju.

Tok vrijednosti predstavlja sve aktivnosti koje se događaju u proizvodnom sustavu od narudžbe do isporuke. Kroz izradu mape toka vrijednosti analiziraju se 3 vrste aktivnosti:

1. Aktivnosti koje dodaju vrijednost proizvodu (VAT)
2. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu, ali su trenutno nužne za pravilno odvijanje procesa (NVAT)
3. Aktivnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu i predstavljaju čisti gubitak (WT)

Implementacija i provedba ovog alata odvija se u nekoliko koraka:

1. Odabir procesa za mapiranje
2. Definiranje tima koji će predvoditi mapiranje toka vrijednosti
3. Rastavljanje odabranog procesa na aktivnosti i mjerenje svake aktivnosti
4. Crtanje mape trenutnog stanja
5. Analiza mape trenutnog stanja
6. Crtanje mape budućeg stanja
7. Formiranje akcijskog plana za postizanje nacrtanog budućeg stanja



Slika 15. Primjer dijagrama toka vrijednosti [19]

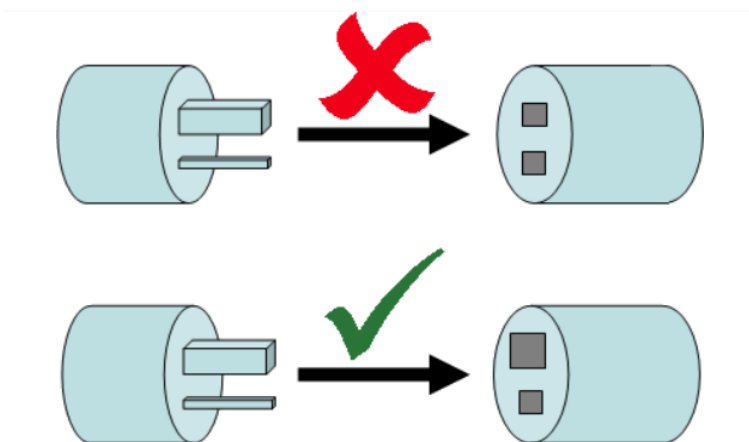
Ciljevi mapiranja toka vrijednosti :

- Prepoznavanje i eliminacija gubitaka-Pomoću VSM-a možete bolje razumjeti gdje se gubici nakupljaju u vašem procesu, uključujući čekanje, preprodukciju i nepotrebnu obradu
- Vizualizacija cijelog vrijednosnog tijeka - Karta vrijednosnog tijeka prikazuje sve korake u procesu, uključujući aktivnosti koje dodaju vrijednost i one koje je ne dodaju, te omogućuje zajedničko razumijevanje cijelog radnog tijeka.
- Poticanje kontinuiranog poboljšanja-VSM ističe trenutačni radni tijek i usmjerava pažnju na buduće poboljšanje.
- Poboljšanje kvalitete proizvoda
- Poboljšanje komunikacije u poduzeću

2.4.5. Poka Yoke

Poka Yoke je Lean alat koji proizlazi iz japanskog izraza za proces koji je siguran od grešaka odnosno „mistake-proof“.

Ljudi čine greške, a te greške mogu rezultirati proizvodima sa nedostacima. Poka-Yoke, također poznat kao tehnika izbjegavanja grešaka ili "mistake-proofing," je metoda za sprječavanje jednostavnih ljudskih grešaka na radu. Ideja je prvotno razvijena 1960-ih godina od strane Shigeo Shinga, koji je bio jedan od inženjera za industrijsko inženjering (IE) u kompaniji Toyota koji je takav sustav koristio za eliminiranje grešaka nastalih ljudskim faktorom u procesu proizvodnje. [17]



Slika 16. Primjer Poka Yoke utičnice [18]

Kada za neki uređaj ili sklop kažemo da je Poka-Yoke, odnosi se na uređaj koji sprječava osobu da izvrši ranju na nepravilan način. Poka-Yoke koristi se kako bi se izbjegli gubici, obično eliminirajući ili minimizirajući kvalitativne greške koje dovode do ponovnog rada i odbačenih proizvoda, kao i kako bi se eliminirali potencijalni sigurnosni problemi.

Poka-Yoke je posebno korisno sredstvo kada pokušavate poboljšati troškove kvalitete, što je koncept prema kojem je što duže traje otkrivanje greške, to je skuplje popraviti tu grešku. Stvarnost ljudskog bića je da naša stopa uspjeha u bilo kojem zadatku, bez obzira na jednostavnost ili složenost, nikada nije 100%. Poka-Yoke ne mijenja ljudsku prirodu, ali smanjuje prilike za nastanak grešaka, što pomaže poboljšati kvalitetu i smanjiti stres u radnom okruženju.

3. INDUSTRIJA 4.0

Industrija 4.0 može se definirati kao razdoblje integracije inteligentnih digitalnih tehnologija u proizvodne i industrijske procese. Industrija 4.0 može se definirati kao integracija pametnih digitalnih tehnologija u proizvodne i industrijske procese. Ovo obuhvaća niz tehnologija koje uključuju industrijske IoT mreže, umjetnu inteligenciju, velike podatke, robotiku i automatizaciju. Industrija 4.0 omogućava pametnu proizvodnju i stvaranje pametnih tvornica. Cilj joj je poboljšati produktivnost, učinkovitost i fleksibilnost te omogućiti pametnije odlučivanje i prilagodbu u proizvodnji i operacijama u lancu opskrbe.

Svaka definicija Industrije 4.0 također bi morala uključivati njezinu povezanost s pojmom Četvrte industrijske revolucije. Od 1800-ih smo doživjeli tri industrijske revolucije. Nazivane su "revolucijama" jer su inovacije koje su ih pokretale dovele ne samo do blagog poboljšanja produktivnosti i učinkovitosti - već su potpuno preoblikovale način na koji su se proizvodile robe i obavljao rad. Sada smo u Četvrtoj industrijskoj revoluciji, poznatoj i kao Industrija 4.0.

1. **Prva industrijska revolucija** - Započevši krajem 18. stoljeća u Britaniji, prva industrijska revolucija omogućila je masovnu proizvodnju upotrebom vodenih i parnih pogona umjesto isključivo ljudske i životinjske snage. Gotovi proizvodi izrađivali su se strojevima umjesto da se ručno izrađivali s mukom.
2. **Druga industrijska revolucija** - Stoljeće kasnije, druga industrijska revolucija donijela je pokretne trake i korištenje nafte, plina i električne energije. Ovi novi izvori energije, zajedno s naprednijom komunikacijom putem telefona i telegrafa, donijeli su masovnu proizvodnju i određeni stupanj automatizacije u proizvodnim procesima.
3. **Treća industrijska revolucija** - Treća industrijska revolucija, koja je započela sredinom 20. stoljeća, dodala je računalnu tehnologiju, napredne telekomunikacije i analizu podataka u proizvodne procese. Digitalizacija tvornica započela je ugradnjom programabilnih logičkih kontrolera (PLC-ova) u strojeve kako bi se automatizirali neki procesi i prikupljali te dijelili podaci.
4. **Četvrta industrijska revolucija** - Sada se nalazimo u četvrtoj industrijskoj revoluciji, koja se također naziva Industrija 4.0. Obilježava je sve veća automatizacija i uporaba pametnih strojeva i pametnih tvornica, a informirani podaci pomažu proizvoditi dobra učinkovitije i produktivnije duž lanca vrijednosti. Fleksibilnost se poboljšava kako bi proizvođači bolje mogli zadovoljiti zahtjeve kupaca putem masovne prilagodbe - konačno težeći postizanju učinkovitosti, često uz lotove veličine jedan. Prikupljanjem

više podataka s tvorničkog poda i njihovim kombiniranjem s drugim operativnim podacima poduzeća, pametna tvornica može postići transparentnost informacija i bolje odluke.



Slika 17. Industrijske revolucije kroz povijest [20]

Industrija 4.0 revolucionira način na koji tvrtke proizvode, poboljšavaju i distribuiraju svoje proizvode. Proizvođači integriraju nove tehnologije, uključujući Internet stvari (IoT), računalstvo u oblaku, analitiku, te umjetnu inteligenciju i strojno učenje, u svoje proizvodne pogone i tijekom svojih operacija.

Ove pametne tvornice opremljene su naprednim senzorima, ugrađenim softverom i robotikom koji prikupljaju i analiziraju podatke te omogućuju bolje odlučivanje. Dodatna vrijednost stvara se kada se podaci iz proizvodnih operacija kombiniraju s operativnim podacima iz ERP sustava, lanca opskrbe, korisničke usluge i drugih poslovnih sustava kako bi se stvorili potpuno novi stupnjevi vidljivosti i uvida iz prije izoliranih informacija.

Ove digitalne tehnologije dovode do povećane automatizacije, prediktivnog održavanja, samo-optimizacije procesnih poboljšanja i, prije svega, nove razine učinkovitosti i odzivnosti prema klijentima koje prije nisu bile moguće.

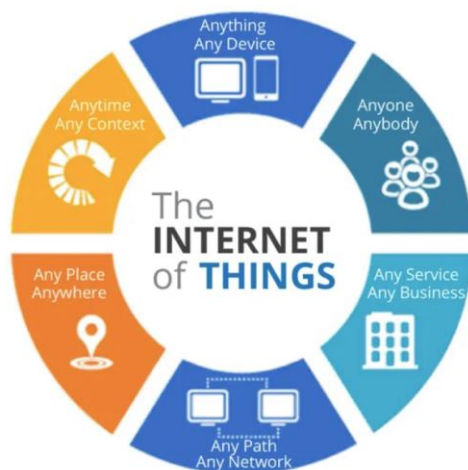
Razvoj pametnih tvornica pruža izvanrednu priliku za industriju proizvodnje da uđe u četvrtu industrijsku revoluciju. Analiza velike količine velikih podataka prikupljenih putem senzora na tvorničkom podu osigurava stvarnu vidljivost proizvodnih sredstava u stvarnom vremenu i pruža alate za obavljanje prediktivnog održavanja kako bi se minimiziralo vrijeme neproizvodnje opreme. Neke od glavnih tehnologija koje predstavljaju Industriju 4.0 su: Internet of Things (IoT), Cloud computing, AI and machine learning, Cybersecurity, Digital twins.

3.1. Internet of things (IOT)

Internet stvari (IoT) odnosi se na mrežu fizičkih uređaja, vozila, aparata i drugih fizičkih objekata koji su opremljeni sensorima, softverom i mrežnim povezivanjem što im omogućuje prikupljanje i dijeljenje podataka. Ovi uređaji, također poznati kao "pametni objekti", mogu se kretati od jednostavnih uređaja za "pametne domove" poput pametnih termostata, do nosive tehnologije poput pametnih satova i odjeće s RFID tehnologijom, pa do složenih industrijskih strojeva i sustava za prijevoz. Tehnolozi čak zamišljaju cijele "pametne gradove" temeljene na tehnologiji IoT.

IoT omogućuje tim pametnim uređajima da komuniciraju međusobno i s drugim uređajima povezanim na internet, poput pametnih telefona i priključaka, stvarajući ogromnu mrežu međusobno povezanih uređaja koji mogu razmjenjivati podatke i obavljati različite zadatke autonomno. To može uključivati praćenje uvjeta okoline na farmama, upravljanje obrascem prometa putem pametnih automobila i drugih pametnih uređaja za prijevoz, kontrolu strojeva i procesa u tvornicama, praćenje inventara i pošiljki u skladištima.

Potencijalne primjene IoT-a su raznolike i opsežne, a njezin utjecaj već se osjeća u različitim industrijama, uključujući proizvodnju, prijevoz, zdravstvo i poljoprivredu. S povećanjem broja uređaja povezanih na internet, IoT će vjerojatno igrati sve važniju ulogu u oblikovanju našeg svijeta i transformaciji načina na koji živimo, radimo i interagiramo međusobno.



Slika 18. Shematski prikaz Interneta stvari u poduzeću[22]

U poslovnom kontekstu, uređaji IoT-a koriste se za praćenje različitih parametara kao što su temperatura, vlažnost, kvaliteta zraka, potrošnja energije i performanse strojeva. Ti podaci mogu se analizirati u stvarnom vremenu kako bi se prepoznali obrasci, trendovi i anomalije koji mogu pomoći tvrtkama optimizirati svoje operacije i poboljšati svoju dobit.

Ključni benefiti koje donosi IoT [21]:

- **Poboljšana učinkovitost** - Korištenjem uređaja IoT-a za automatizaciju i optimizaciju procesa, tvrtke mogu poboljšati učinkovitost i produktivnost. Na primjer, senzori IoT-a mogu se koristiti za praćenje performansi opreme te otkrivanje ili čak rješavanje potencijalnih problema prije nego što uzrokuju zastoje, smanjujući troškove održavanja i poboljšavajući dostupnost.
- **Odlučivanje na temelju podataka**- Uređaji IoT-a generiraju ogromne količine podataka koji se mogu koristiti za donošenje bolje informiranih poslovnih odluka i stvaranje novih poslovnih modela. Analizom tih podataka, tvrtke mogu dobiti uvid u ponašanje kupaca, trendove na tržištu i operativne performanse, što im omogućuje donošenje informiranijih odluka o strategiji, razvoju proizvoda i raspodjeli resursa.
- **Ušteda troškova** - Smanjenjem ručnih procesa i automatizacijom ponavljajućih zadataka, IoT može pomoći tvrtkama smanjiti troškove i poboljšati profitabilnost. Na primjer, uređaji IoT-a mogu se koristiti za praćenje potrošnje energije i optimizaciju potrošnje, čime se smanjuju troškovi energije i poboljšava održivost.
- **Unaprijeđeno iskustvo kupaca** - Korištenjem IoT tehnologije za prikupljanje podataka o ponašanju kupaca, tvrtke mogu stvoriti personalizirana i privlačna iskustva za svoje kupce. Na primjer, trgovci mogu koristiti senzore IoT-a za praćenje kretanja kupaca u trgovinama i ponuditi personalizirane ponude na temelju njihova ponašanja.

Kako bi se uspio implementirati IoT, treba uspostaviti integraciju sljedećih tehnologija:

1. **Senzori i aktuatori** - Senzori su uređaji koji mogu detektirati promjene u okolini, kao što su temperatura, vlaga, svjetlost, pokret ili tlak. Aktuatori su uređaji koji mogu izazvati fizičke promjene u okolini, poput otvaranja ili zatvaranja ventila ili pokretanja motora. Ovi uređaji su srce IoT-a jer omogućuju strojevima i uređajima interakciju s fizičkim svijetom. Automatizacija je moguća kada senzori i aktuatori rade na rješavanju problema bez ljudskog posredovanja.
2. **Tehnologije povezivanja** - Kako bi se podaci s senzora i aktuatora prenijeli na oblak, IoT uređaji moraju biti povezani s internetom. Postoji nekoliko tehnologija povezivanja koje se koriste u IoT-u, uključujući Wi-Fi, Bluetooth, mobilnu komunikaciju, Zigbee i LoRaWAN.

3. **Računarstvo u oblaku** - Oblak je mjesto gdje se pohranjuju, procesiraju i analiziraju ogromne količine podataka generirane od strane IoT uređaja. Platforme za računarstvo u oblaku pružaju infrastrukturu i alate potrebne za pohranu i analizu ovih podataka, kao i za izradu i implementaciju IoT aplikacija.
4. **Analitika velikih podataka** - Kako bi razumjele ogromne količine podataka generirane od strane IoT uređaja, tvrtke trebaju koristiti napredne alate za analizu kako bi izvukle uvide i prepoznale obrasce. Ti alati mogu uključivati algoritme strojnog učenja, alate za vizualizaciju podataka i modele prediktivne analitike.
5. **Tehnologije sigurnosti i privatnosti:** Kako se implementacije IoT-a šire, sigurnost i privatnost IoT-a postaju sve važnije. Tehnologije poput šifriranja, kontrola pristupa i sustavi za otkrivanje upada koriste se kako bi se zaštitili IoT uređaji i podaci koje generiraju od kibernetičkih prijetnji.

Ako se govori o uporabi IoT u proizvodnim procesima, industrijski Internet Stvari može se koristiti kako bi se nadzirale performanse strojeva, detektirali kvarovi opreme i optimizirali sami proizvodni procesi. Na primjer, senzori se mogu koristiti za nadzor temperature i vlage u proizvodnom pogonu, osiguravajući optimalne uvjete za proizvodnju osjetljivih proizvoda. IoT uređaji također mogu služiti za praćenje inventara, upravljanje lancom opskrbe i nadziranje kvalitete gotovih proizvoda. Industrijski IoT je tako prostrano novo područje tehnologije da se ponekad naziva vlastitim skraćenim nazivom: IIOT (Industrijski IoT). IIOT može održavati proizvodne linije glatkim i bez problema, jer se vrijeme neće gubiti na zastoje zbog pokvarenih strojeva. Dokazane su i tvrdnje da IIOT može pomoći proizvođačima u produljenju vijeka trajanja strojeva mjerenjem njihovog stanja i smanjenjem troškova održavanja za 10 do 15 posto.

Uporaba IoT-a u poduzećima nosi goleme benefite i unapređenja, no također može nositi mnoge rizike i potencijalne negativne učinke :

BENEFITI (PREDNOSTI)	NEDOSTATCI
<p>Povećana Produktivnost - Integracija Internet of Things (IoT) omogućava automatizaciju procesa, što rezultira smanjenjem vremena potrebnog za izvršavanje rutinskih. zadataka.</p>	<p>Kompleksnost implementacije - Integracija IoT uređaja u postojeće proizvodne sustave može biti složena i zahtjeva značajno planiranje i investicije.</p>
<p>Povećana sigurnost radnika - IoT senzori pružaju neprekidan nadzor radnog okruženja identificirajući potencijalne opasnosti ili neprikladne uvjete.</p>	<p>Rizik od povrede podataka i sigurnosnih rizika - IoT može biti korišten kao ulazna točka u vašu mrežu, što može rezultirati povredom podataka, hakiranjem, krađom informacija, botnetima i drugim napadima temeljenim na IoT-u.</p>
<p>Praćenje – IoT može prikupljati i pratiti podatke koji korisnicima omogućavaju praćenje stvari putem njihovih pametnih telefona.</p>	<p>Velika količina podataka - IoT uređaji generiraju ogromne količine podataka, što može stvoriti izazove u pohrani, obradi i analizi tih podataka.</p>
<p>Dostupnost – IoT korisnicima omogućava da dobiju potrebne informacije u stvarnom vremenu. Također se može pristupiti i upravljati udaljeno.</p>	<p>Troškovi - Početni troškovi implementacije IoT tehnologije u proizvodnji mogu biti visoki, što može predstavljati prepreku za manje tvrtke.</p>
<p>Brzina – Više podataka koji trebaju biti obrađeni može se automatizirati velikom brzinom zahvaljujući IoT-u. U poslovnom okruženju, to smanjuje potrebu da zaposlenici ulažu svoje vrijeme i napore u zadatke koje može riješiti IoT.</p>	<p>Ovisnost o mrežnoj povezanosti - IoT uređaji zahtijevaju pouzdanu internetsku vezu, pa prekidi u mrežnoj povezanosti mogu uzrokovati probleme u praćenju i upravljanju proizvodnjom.</p>
<p>Praktičnost – IoT olakšava komplicirane zadatke automatskim obavljanjem različitih zadataka koji bi inače trajali dugo vremena da se izvrše.</p>	<p>Privatnost podataka - sakupljanje podataka putem IoT uređaja može postaviti pitanja o privatnosti podataka radnika i korisnika.</p>

Tablica 1. Prednosti i nedostatci IoT-a

3.2. Umjetna Inteligencija u proizvodnji

3.2.1. Što je umjetna inteligencija?

Umjetna inteligencija je sposobnost nekog uređaja da oponaša ljudske aktivnosti poput zaključivanja, učenja, planiranja i kreativnosti.

Umjetna inteligencija omogućuje tehničkim sustavima percipiranje okruženja, uzimanje u obzir onog što vide i rješavanje problema kako bi postigli neki cilj. Računalo prima podatke (koji su već pripremljeni ili prikupljeni s pomoću vlastitih senzora, npr. fotoaparata), obrađuje ih i daje odgovore.

Sustavi umjetne inteligencije mogu u određenoj mjeri prilagoditi svoje ponašanje analiziranjem prethodnih situacija i samostalnim radom.

Neke tehnologije umjetne inteligencije prisutne su već više od 50 godina, ali napredak u računalnoj snazi, dostupnost goleme količine podataka i novi algoritmi posljednjih su godina doveli do velikih otkrića u području umjetne inteligencije[23].

3.2.2. Umjetna inteligencija u proizvodnim procesima

Suvremeni sustavi proizvodnje i logistike podržani su sveprisutnim i moćnim računalnim mrežama. Unutar tih mreža neprestano se generira ogromna količina podataka putem senzora, strojeva, sustava, pametnih uređaja i ljudi. Zajedno s rastućim računalnim kapacitetima, ti veliki podaci se analiziraju brže, šire i dublje nego ikada prije. Ti napretci su preoblikovali vrijednost tehnologija umjetne inteligencije (AI) i otvorili novo doba poznato kao Industrija 4.0 ili Pametna tvornica.

Kognitivne računalne metode i duboko učenje metode počele su se primjenjivati u sustavima proizvodnje za automatizirane vizualne inspekcije, detekciju kvarova i održavanje. Postoje aktivni naponi da se primijene metode učenja pojačane stvarnosti za sustave za rukovanje materijalima i raspoređivanje proizvodnje. Industrije koje žele pretvoriti stvarne podatke u operativne odluke traže prilike za integraciju AI metoda s tradicionalnim pristupima operativnom istraživanju, konceptima i tehnologijama Interneta stvari (IoT) i kibernetičko-fizičkih sustava.

S obzirom na ogromnu količinu podataka koja se svakodnevno generira putem industrijskog Interneta stvari (IoT) i pametnih tvornica, umjetna inteligencija ima nekoliko potencijalnih primjena u proizvodnji. Proizvođači sve više koriste rješenja umjetne inteligencije poput strojnog učenja (ML) i dubokih neuronskih mreža za bolju analizu podataka i donošenje odluka. Umjetna inteligencija (AI) ima potencijal da potpuno transformira industriju proizvodnje. Primjeri mogućih prednosti uključuju povećanu produktivnost, smanjenje troškova, poboljšanu kvalitetu i smanjenje vremena zaustavljanja. Ova tehnologija korisna je kako za velike tvornice, tako i za manje tvrtke koje trebaju shvatiti koliko je lako doći do visokovrijednih, jeftinih rješenja temeljenih na AI. U kontekstu proizvodnih procesa, primjene AI-a vrte se oko sljedećih tehnologija:

- **Strojno učenje** - Korištenje algoritama i podataka za automatsko učenje iz temeljnih obrazaca bez eksplicitnog programiranja da to učine.
- **Duboko učenje** - Podskup strojnog učenja koji koristi neuronske mreže za analizu stvari poput slika i videozapisa.
- **Autonomni objekti** - AI agenti koji upravljaju zadacima sami, poput suradničkih robota ili povezanih vozila.

Glavni razlozi zbog kojih bi neko proizvodno poduzeće krenulo u integraciju umjetne inteligencije u svoje procese bi bilo:

- Kontinuirana potreba za pronalaskom ušteta
- Učenje i prilagodljivost na proizvodnoj liniji
- Kratki proizvodni rokovi
- Povećana regulacija i inspekcije
- Povećana potreba za malim serijama i/ili prilagođenim proizvodima.

Iz navednih razloga i potreba te samih mogućnosti implementacije umjetne inteligencije, tvornice budućnosti (pametne tvornice) biti će u mogućnosti:

1. Otkrivanje nedostataka tijekom cijelog proizvodnog procesa.
2. Primjena prediktivnog održavanja kako bi se smanjilo vrijeme prestanka proizvodnje
3. Reagirane na promjene u stvarnom vremenu u potražnji duž lanca opskrbe.
4. Potvrda da su složeni proizvodi poput mikročipova savršeno proizvedeni.
5. Smanjenje troškova malih serija ili pojedinačnih proizvoda, omogućavajući veću prilagodbu
6. Povećanje zadovoljstva zaposlenika prebacivanjem rutinskih zadataka na strojeve.

3.2.3. Glavni segmenti upotrebe AI u proizvodnji

Glavni segmenti na koje bi se unaprijedilo uporabom umjetne inteligencije su [24] :

1. Kontrola kvalitete

Danas mnoge montažne linije nemaju sustave ili tehnologije za identifikaciju nedostataka tijekom proizvodnje. Čak i oni koji postoje su vrlo osnovni i zahtijevaju stručne inženjere da izrade i programiraju algoritme za razlikovanje između funkcionalnih i neispravnih komponenti. Većina tih sustava još uvijek ne može učiti ili integrirati nove informacije, što

rezultira beskrajnim lažnim alarmima koji se moraju ručno provjeravati od strane zaposlenika na licu mjesta.

Integracijom umjetne inteligencije i sposobnošću samostalnog učenja proizvođači mogu uštedjeti mnogo sati tako da značajno smanje lažne alarme i sate potrebne za kontrolu kvalitete. Proizvodnja zahtijeva iznimnu pažnju na detalje, što je nužnost koja je samo pogoršana u elektroničkom sektoru. S povijesnog gledišta, osiguranje kvalitete bilo je ručni posao koji je zahtijevao visoko obučenog inženjera kako bi se osiguralo da su elektronika i mikroprocesori proizvedeni ispravno te da su svi njihovi sklopovi pravilno konfigurirani. Danas algoritmi obrade slika mogu automatski potvrditi je li predmet savršeno proizveden. Postavljanjem kamera na ključnim točkama duž proizvodne linije, ovaj proces može se automatski odvijati u stvarnom vremenu.

2. Integracija proizvodne linije

Danas većina opreme koju proizvođači koriste šalje ogromnu količinu podataka u oblak. Nažalost, ovi podaci često su izolirani i ne međusobno kompatibilni. Da biste dobili cjelovitu sliku svoje operacije, potrebne su različite nadzorne ploče i stručnjak za određenu temu kako bi se sve to razumjelo. Izradom integrirane aplikacije koja prikuplja podatke iz širokog spektra IoT-povezane opreme može se osigurati dobivanje sveobuhvatnog pregleda operacija.

3. Robotika i automatizacija

U današnjim proizvodnim sustavima, roboti igraju ključnu ulogu. Kolaborativni roboti se koriste u skladištima i tvornicama za podizanje teških dijelova ili obavljanje montaže. Također su sposobni učiti zadatke, izbjegavati fizičke prepreke i raditi rame uz rame s ljudima.

Očekuje se da će robotika i tehnologije poput računalnog vida i prepoznavanja govora postati sve češći u tvornicama i industriji proizvodnje kako se budu razvijali.



Slika 19. Automatizirani proces zavarivanja uporabom robota[25]

4. Prediktivno održavanje

Održavanje je još jedna ključna komponenta svakog proizvodnog procesa, budući da oprema za proizvodnju treba biti održavana.

Prediktivno održavanje analizira podatke iz povezane opreme i proizvodne opreme kako bi odredilo kada je potrebno održavanje. Korištenje tehnologije prediktivnog održavanja pomaže tvrtkama smanjiti troškove održavanja i izbjeći neočekivane prekide u proizvodnji.

5. Optimizacija proizvodne linije

Uključivanjem umjetne inteligencije u svoj IoT ekosustav, obilje podataka moguće je iskoristiti za automatizaciju. Na primjer, kada operateri opreme pokazuju znakove umora, nadzornici dobivaju obavijesti. Kada se oprema pokvari, sustav može automatski pokrenuti planove za slučaj izvanrednih situacija ili druge aktivnosti reorganizacije.

6. Generativni (prilagodljivi) dizajn

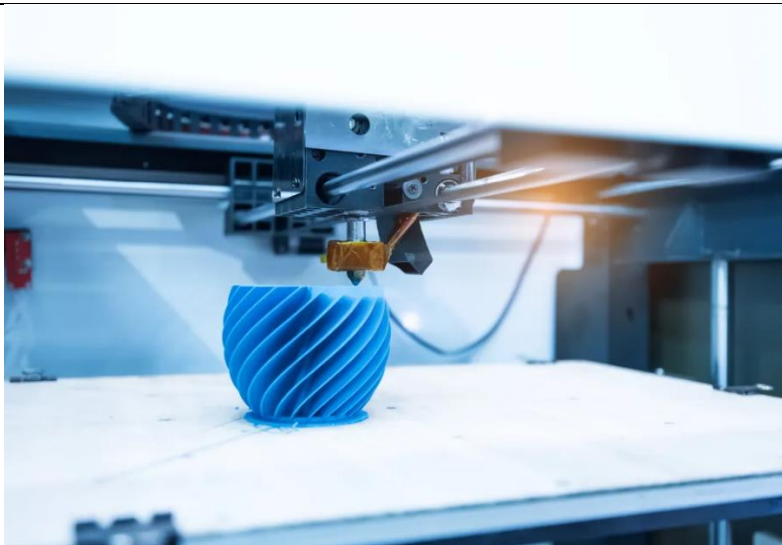
Osim olakšavanja proizvodnog procesa, AI može pomoći organizacijama u dizajniranju proizvoda. Na primjer: dizajner ili inženjer unosi ciljeve dizajna u algoritme generativnog dizajna. Ti algoritmi istražuju sve moguće permutacije rješenja i generiraju alternative dizajna. Konačno, koristi strojno učenje za testiranje svake iteracije i poboljšanje dizajna.

3.3. 3D printanje i aditivna proizvodnja

3D printanje ili aditivna proizvodnja je tehnologija korištena kako bi se proizvodili objekti, sloj po sloj koristeći dizajn generiran 3D računalnim CAD programima. Materijali korišteni ovom tehnologijom su najčešće polimerni materijali, no mogu se koristiti i metali i keramika.

Ova tehnologija omogućuje brže, jeftinije i efikasnije stvaranje prototipova ili manjih serija, a rasrostranjena je kroz mnoge industrije poput : medicine, arhitekture, aeronautike, automobilske industrije i ostale. jedna od ključnih prednosti aditivne proizvodnje je sposobnost da se postigne visoka razina preciznosti i ponovljivosti u proizvodnji. Ovo se može postići zbog toga što se predmet stvara sloj po sloj, što omogućava veliku kontrolu nad detaljima procesa.

Osim toga, aditivna proizvodnja smanjuje otpad materijala i resurse koji su potrebni za proizvodnju. U tradicionalnoj proizvodnji, velike količine materijala se mogu izgubiti ili završiti kao otpad. Aditivna proizvodnja koristi samo materijale koji su potrebni za stvaranje predmeta, što smanjuje količinu otpada i čini proizvodnju ekološki prihvatljivijom.



Slika 20. Proces izrade dijela korištenjem 3D printera [28]

3.4. Digitalni blizanci (Digital Twins)

Digitalni blizanac (Digital Twin) je jedna od najperspektivnijih tehnologija Industrije 4.0. To je virtualni model, koji je zrcalna slika fizičkoga procesa koji je artikuliran uz proces o kojemu se radi i obično se točno podudara s djelovanjem fizičkog procesa u stvarnom vremenu. Termin je početkom 2000-tih predložio Michael Grieves koji se bavio dizajniranjem proizvoda. Danas se tim terminom označavaju različiti digitalni simulacijski modeli koji rade uz procese u stvarnom vremenu, a odnose se na društvene, ekonomske i fizičke sustave. [26]

Takav virtualni model je potpuna kopija sustava u stvarnosti. Uporabom ovakve tehnologije virtualan model je vrlo koristan jer omogućuje razumijevanje i mogućnost optimizacije sustava prije same implementacije.



Slika 21. Primjer digitalnih blizanaca u automobilske industriji [27]

Proces kreacije digitalnog blizanca počinje izgradnjom od strane stručnjaka, najčešće stručnjaka za znanost podataka ili primjenjenu matematiku. Oni istražuju fiziku koja leži u

osnovi fizičkoga objekta ili sustava i koriste te podatke kako bi razvili matematički model koji simulira stvarni objekt u digitalnom prostoru.

Blizanac se gradi tako da može primati ulazne podatke iz senzora koji prikupljaju podatke iz stvarnog objekta u fizičkom obliku. To omogućava blizancu da u stvarnom životu simulira fizički objekt, pružajući uvid u performanse i potencijalne probleme. Blizanac se također može dizajnirati na temelju prototipa svog fizičkog blizanca, u kojem slučaju blizanac može pružiti povratne informacije kako se proizvod usavršava; blizanac čak može služiti kao prototip sam po sebi prije nego što se izgradi bilo kakva fizička verzija.

Izrazi simulacija i digitalni blizanac često se koriste zamjenjivo, ali predstavljaju različite stvari. Simulacija se projektira pomoću CAD sustava ili slične platforme i može se provesti kroz svoje simulirane postupke, ali možda nema jedan-na-jedan analogiju s pravim fizičkim objektom. S druge strane, digitalni blizanac izgrađen je na temelju ulaznih podataka s IoT senzora na stvarnoj opremi, što znači da replicira stvarni svjetski sustav i mijenja se zajedno s tim sustavom tijekom vremena. Simulacije se obično koriste tijekom faze dizajna proizvoda kako bi se pokušalo predvidjeti kako će budući proizvod raditi, dok digitalni blizanac pruža svim dijelovima poslovanja uvid u to kako neki proizvod ili sustav koji već koriste trenutno funkcionira.

Digitalni blizanci se koriste u mnogim sektorima, a prvenstveno u :

- **Proizvodnja** - područje gdje su implementacije digitalnih blizanaca vjerojatno najdalje odmakle, s tvornicama koje već koriste digitalne blizance za simulaciju svojih procesa, kako to ilustrira ovaj primjer izvještaja tvrtke Deloitte.
- **Automobilska industrija** - Digitalni blizanci u automobilskoj industriji postaju mogućiji jer su automobili već opremljeni sensorima za telemetriju, ali poboljšavanje tehnologije postat će važnije kako sve više autonomnih vozila stupa na cestu.
- **Zdravstvo** - sektor koji bi mogao stvoriti digitalne blizance ljudi. Senzori veličine flastera mogli bi slati informacije o zdravlju natrag digitalnom blizancu koji se koristi za praćenje i predviđanje dobrobiti pacijenta.

4. PLATFORME I SOFTWARESKA RJEŠENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROIZVODNJE

U današnjem brzom razvoju proizvodnog sektora, efikasnost, preciznost i prilagodljivost su od suštinskog značaja. Kako bi ostali konkurentni, proizvođači se okreću raznovrsnim platformama i softverskim rješenjima koja im omogućavaju optimizaciju operacija, poboljšanje kvaliteta proizvoda, smanjenje troškova i prilagodbu tržišnim zahtjevima s agilnošću. Ovi digitalni alati igraju ključnu ulogu u transformaciji tradicionalne proizvodnje u pametne, podatkom vođene i visoko efikasne procese. Ovaj pregled pruža uvid u vrste i prednosti platformi i softverskih rješenja koja revolucioniraju proizvodnu industriju. Proizvodna industrija prolazi kroz digitalnu transformaciju koju pokreću platforme i softverska rješenja koja optimiziraju procese, poboljšavaju kvalitetu proizvoda i smanjuju operativne troškove. Od ERP sistema koji pružaju sveobuhvatan pregled do analitike pokretane umjetnom inteligencijom koja predviđa potrebu za održavanjem, ovi alati omogućavaju proizvođačima prilagodbu promjenjivim tržišnim zahtjevima i prosperiranje u izrazito konkurentске globalnom okruženju. Prihvatanje ovih digitalnih rješenja nije samo opcija, već nužnost za proizvođače koji teže ostvariti i održati konkurentске prednosti u 21. stoljeću. U nastavku su opisani neki od najčešće korištenih.

4.1. ERP sustavi

ERP (Enterprise resource planning), odnosno „Planiranje resursa poduzeća“ je softver, ali ujedno i alati i tehnologija korištena za upravljanje svakodnevnim poslovnim operacijama te za automatizaciju procesa kao što su računovodstvo, lanac opskrbe, proizvodnja, upravljanje projektima i mnogim drugima. ERP sustavi sadrže različite module koji obavljaju ove funkcije. ERP integrira i optimizira sve podatke tvrtke u jedan sustav baze podataka koji djeluje kao jedini izvor istine, tako da se podaci mogu pohraniti i pristupiti na jednom mjestu. Ovi softverski sustavi automatiziraju dosadne i vremenski zahtjevne ručne procese kako bi tvrtki uštedjele vrijeme i novac.

Ponekad opisivani kao „središnji sustav poduzeća“ ERP softverski sustav pruža automatizaciju, integraciju i inteligenciju koja je ključna za učinkovito vođenje svih svakodnevnih poslovnih operacija. Većina podataka, a poželjno svi bi se trebali nalaziti u ERP sustavu kako bi se osigurao jedinstveni izvor istine kroz poslovanje.

Glavni benefiti uvođenja ERP sustava u poduzeće su:

- Ušteda novaca i vremena – Automatizacijom ključnih poslovnih procesa, poput nabave, proizvodnje i financija, smanjuje se potreba za ručnim radom, čime se povećava učinkovitost i smanjuju troškovi rada. Integracija informacija o zalihama omogućuje preciznije upravljanje inventarom, što dovodi do optimizacije troškova i smanjenja gubitaka.
- Automatizacija procesa – automatizacija procesa u organizaciji uklanja redundantne i neefikasne radne tijekove, što poboljšava produktivnost i oslobađa prostor za rast i inovacije
- Centralizacija sustava – s upravljačkim sustavima za sve odjele na jednom mjestu, timovi mogu lako pristupiti stvarnim podacima diljem organizacije
- Sigurni i točni podaci - Podaci nisu samo sigurni u bazi podataka, već su i točniji nego da su uneseni ručno te su dostupni u stvarnom vremenu. Podaci poput nabave ili prodaje mogu se pratiti i nadzirati. Izvješća se mogu generirati odmah, što je korisno za planiranje, prognoziranje, izradu proračuna i komunikaciju uvida dioničarima i timovima.
- Pristup podacima pomocu oblaka - Većina ERP sustava sada je bazirana na oblaku ili barem ima opciju pristupa putem oblaka, tako da timovi mogu pristupiti njima bilo kada i bilo gdje.
- Suradivanje i dijeljenje znanja - ERP pomaže u integraciji svih timova, što omogućuje suradnju i dijeljenje znanja diljem organizacije. Tvrtke mogu omogućiti pristup cijeloj organizaciji, a ova vidljivost pridonosi koheziji i harmoniji na radnom mjestu.

4.2. MES sustavi

MES sustav (Manufacturing execution system) je softversko rješenje koje se koristi u proizvodnji za praćenje i kontrolu proizvodnih procesa na radnom mjestu. U upravljanju proizvodnim operacijama, MES sustavi djeluju kao most između planiranih i kontrolnih sustava poduzeća, kao što je sustav planiranja resursa poduzeća (ERP), i stvarnih proizvodnih operacija. Osnovna svrha MES sustava je pratiti i dokumentirati transformaciju sirovina u gotove proizvode u stvarnom vremenu. Oni prikupljaju podatke iz različitih izvora, uključujući strojeve, senzore i operatere, kako bi pružili točne i ažurirane informacije o statusu proizvodnih aktivnosti.

MES sustavi pružaju stvarno vrijeme za praćenje i kontrolu proizvodnih procesa, omogućavajući dionicima da prate operacije, identificiraju uske grlo, minimiziraju zastoje i donose informirane odluke promptno. Olakšavanjem optimiziranih planova proizvodnje i rasporeda, MES sustavi osiguravaju učinkovitu alokaciju resursa, ravnotežu opterećenja i pravovremene isporuke, što dovodi do veće profitabilnosti. Također igraju ključnu ulogu u osiguranju kvalitete i usklađenosti provođenjem postupaka kontrole kvalitete, praćenjem metrika i prikupljanjem podataka u stvarnom vremenu. S obzirom na svoju sposobnost upravljanja razinama zaliha, praćenja kretanja materijala i osiguravanja pravodobne dostupnosti materijala, MES sustavi optimiziraju upravljanje zalihama i minimiziraju zastoje u proizvodnji. Osim toga, MES sustavi omogućavaju donošenje odluka temeljenih na podacima pružajući sveobuhvatne i točne proizvodne podatke, osnažujući organizacije da neprestano unapređuju procese i optimiziraju iskorištavanje resursa. MES sustavi mogu pomoći donositeljima odluka u utvrđivanju ukupne učinkovitosti opreme (OEE), općeg pokazatelja koji se koristi za praćenje učinkovitosti proizvodnje. Olakšavanjem optimizacije radnih tokova, automatizacijom zadataka i pružanjem povratnih informacija u stvarnom vremenu, MES sustavi poboljšavaju učinkovitost i produktivnost na proizvodnom području. Osim toga, ovi upravljački sustavi omogućavaju praćenje i genealogiju, što je ključno za industrije s strogim propisima, prateći kretanje materijala i procesa tijekom ciklusa pametne proizvodnje.

Sustav MES softvera prikuplja podatke u stvarnom vremenu iz različitih izvora na radnom mjestu i koristi te informacije za praćenje i kontrolu proizvodnih operacija. Evo općeg pregleda procesa [27]:

- **Prikupljanje podataka** - Sustav prikuplja podatke iz različitih izvora, uključujući strojeve, senzore, operatere i druge informacijske sustave poput ERP sustava ili sustava za upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM). Ti podaci mogu uključivati proizvodne stope, status strojeva, razine zaliha, mjerenja kvalitete i više.
- **Integracija podataka** - Prikupljeni podaci se obrađuju i integriraju unutar sustava MES, stvarajući sveobuhvatan pregled proizvodnog okruženja. Ova integracija osigurava da sustav MES raspolaže točnim i ažuriranim informacijama za rad.
- **Planiranje proizvodnje** - Na temelju proizvodnih narudžbi primljenih iz planirajućih sustava više razine, sustav MES generira raspored proizvodnje. Ovaj raspored uzima u obzir faktore poput prioriteta narudžbi, dostupnih resursa, kapaciteta strojeva i dostupnosti radne snage.

- **Upravljanje radnim nalogima** - Sustav dodjeljuje radne naloge operaterima ili radnim stanicama prema rasporedu. Pruža operaterima upute, specifikacije i potrebnu dokumentaciju kako bi im pomogao u izvršavanju njihovih zadataka. Sustav prati napredak svakog radnog naloga i ažurira status radova u tijeku u stvarnom vremenu.
- **Integracija s strojevima i opremom** - Sustav se povezuje s strojevima i opremom na radnom mjestu kako bi pratio njihov status, prikupljao proizvodne podatke i razmjenjivao informacije. Ova integracija može se ostvariti putem različitih sredstava poput senzora na strojevima, sučelja programabilnih logičkih kontrolera (PLC) ili komunikacijskih protokola poput OLE (object linking and embedding) za upravljanje procesima (OPC).
- **Upravljanje kvalitetom** - Podaci o kvaliteti se prikupljaju tijekom proizvodnje, poput mjerenja, inspekcija i rezultata testiranja. Sustav provodi postupke kontrole kvalitete, pokreće upozorenja ili obavijesti o problemima s kvalitetom i bilježi informacije vezane uz kvalitetu radi analize i praćenja.
- **Upravljanje materijalom i zalihama** - Sustav MES prati kretanje materijala i komponenti tijekom procesa proizvodnje. Prati razine zaliha, pokreće zahtjeve za materijalima ili njihovo ponovno dopunjavanje i osigurava da su ispravni materijali dostupni u pravo vrijeme i u odgovarajućim količinama.
- **Analiza podataka i izvješćivanje** - Prikupljeni podaci se analiziraju kako bi se pružili uvidi u stvarnom vremenu i performanse. Sustav generira izvješća, nadzorne ploče i vizualizacije koje pomažu upravi i operatorima donositi informirane odluke i prepoznati područja za poboljšanje.
- **Integracija s sustavima više razine** - Sustav se povezuje s drugim sustavima poput ERP-a, PLM-a ili sustava za upravljanje opskrbnim lancem (SCM). Ova integracija omogućava razmjenu podataka, sinkronizaciju informacija i usklađivanje proizvodnih procesa s ukupnim poslovnim operacijama.

4.3. PLM sustavi

PLM softver je rješenje koje upravlja svim informacijama i procesima u svakom koraku životnog ciklusa proizvoda ili usluge preko globaliziranih lanaca opskrbe. To uključuje podatke o predmetima, dijelovima, proizvodima, dokumentima, zahtjevima, inženjerskim promjenama i radnim tokovima kvalitete.

Kao tehnologija, PLM softver pomaže organizacijama da razvijaju nove proizvode i dovedu ih na tržište na znatno učinkovitije, suradničke i održive načine. Integrira procese za svaku fazu životnog ciklusa proizvoda preko globalnih lanaca opskrbe, olakšavajući praćenje i dijeljenje podataka duž lanca vrijednosti proizvoda - od početnog dizajna i inženjeringa preko proizvodnje i upravljanja lancem opskrbe. PLM rješenja mogu pomoći timovima da surađuju i rade zajedno, bez obzira gdje se nalaze, koristeći zajednički zapis podataka o poduzeću, kao što su dijelovi i zahtjevi za materijale, inženjerske promjene, radni tokovi i propisi. A kada se pametne tehnologije poput umjetne inteligencije (AI) i Interneta stvari (IoT) uključe u kombinaciju, moderna PLM rješenja mogu pružiti uvid u performanse proizvoda, povratne informacije od kupaca i trendove na tržištu u stvarnom vremenu.

U dobu u kojem je inovacija ključna za opstanak i uspjeh poslovanja, PLM igra ključnu ulogu u pomoći proizvođačima da razvijaju sljedeću generaciju proizvoda, po nižim troškovima i s bržim putem do tržišta. Iako se PLM također može tumačiti kao poslovna strategija, tri temelja utječu na način rada timova i sposobnost organizacija da rastu i prosperiraju:

1. Univerzalan, siguran, upravljani pristup i uporaba informacija o definiciji proizvoda
2. Održavanje integriteta definicije proizvoda i pripadajućih informacija tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda
3. Upravljanje i održavanje poslovnih procesa korištenih za stvaranje, upravljanje, širenje, dijeljenje i korištenje informacija

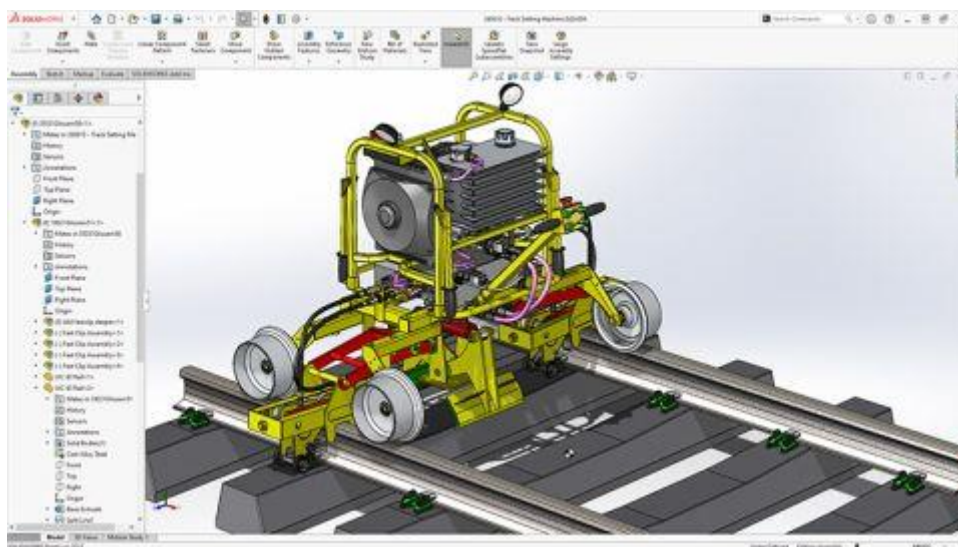
4.4. CAD/CAM sustavi

Učinkovita suvremena proizvodna tvrtka nezamisliva je bez upotrebe informacijske tehnologije. Digitalizacija obuhvaća svaku fazu životnog ciklusa proizvoda, od dizajna do usluga nakon prodaje, u svim područjima strojarstva, obrade metala, instrumentacije, aditivnih tehnologija, obrade kamena i plastike, itd.

CAD (računalno potpomognuto projektiranje) softver koristi se za stvaranje 3D digitalnih modela proizvoda i svakog od njegovih elemenata. CAM (računalno potpomognuta proizvodnja) softver automatizira razvoj kontrolnih programa za CNC strojeve i industrijske robote.

Inženjer koristi 3D CAD sustave kako bi pažljivo oblikovao dio, odredio njegov položaj u sklopu, opisao materijal od kojeg će biti izrađen te postavio druge parametre proizvoda. Moderni CAD sustavi mogu obraditi sklopove s desecima ili stotinama tisuća dijelova, opisati

najkompleksnije površine i omogućiti inženjerima dizajniranje kako mehaničkih tako i elektroničkih proizvoda. Izlaz CAD softvera je 3D model proizvoda. CAM sustavi pomažu u proizvodnji dizajniranih dijelova i proizvoda. Rade s postojećim CNC strojevima i industrijskim robotima tvrtke, uzimajući u obzir sve njihove mogućnosti i ograničenja, kao i dostupne alate i moguće tehnologije obrade. U CAM softveru inženjer programira kako će točno obrađeni komad izgledati na određenom stroju ili robotu kako bi se proizveo dio željenog oblika i veličine. Izlaz CAM sustava je upravljački program za određeni stroj ili robot.



Slika 22. Prikaz modela u CAD programu [31]

5. PRIMJER IZRADE OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROCESA PROIZVODNJE

Poboljšanje proizvodnog procesa zahtijeva razvoj učinkovitog i efikasnog proizvodnog okruženja. To uključuje kombinaciju tehnologije, procesa i kulture. Kroz izradu takvoga okruženja korisno bi bilo strukturirati korake same procedure kako bi postupak bio kvalitetno odrađen. Glavni koraci u tom procesu su:

1. **Procjena trenutnog stanja proizvodnog procesa** – identifikacija uskog grla, neefikasnosti i područja koja zahtijevaju poboljšanja, prikupljanje podataka o ključnim performansama (vrijeme ciklusa, kvaliteta, iskorištavanje resursa)
2. **Postavljanje jasnih ciljeva za poboljšanje procesa** – definiranje ciljeva za poboljšanje procesa (smanjiti troškove proizvodnje, povećati protok, poboljšati kvalitetu proizvoda, smanjiti „lead time“)
3. **Korištenje Lean alata** u svrhu eliminiranja gubitaka i poboljšanja učinkovitosti (metode poput 5S , Mapiranje toka vrijednosti)
4. **Implementacije naprednih tehnologija u proizvodnji** – implementacija nekolicine od već spomenutih rješenja koje su korisne u poboljšanju produktivnosti, kontroli kvalitete i odlučivanja na temelju podataka– IoT, analitika podataka, automatizacija
5. **Razvijanje kulture kontinuranog poboljšanja** među zaposlenicima – podučavanje zaposlenika da su skloniji prepoznavanju i rješavanju problema u proizvodnom procesu
6. **Obuka zaposlenika** – investiranje u programe obuke i razvoja rezultiraju u dobro obučeni zaposlenicima koji su skloniji prepoznavanju i rješavanju problema u proizvodnom procesu
7. **Kontrola i osiguranje kvalitete** - Implementacija mjera kontrole i osiguranja kvalitete na svakom koraku proizvodnog procesa. To osigurava da se nedostaci prepoznaju i ispravljaju rano, što smanjuje odbijanja i ponovne radove.
8. **Optimizacija lanca opskrbe** – bitan aspekt kako bi se smanjila vremena isporuke i osigurao konstantan protok materijala do proizvodne linije
9. **Analiza podataka kao podrška odlučivanju** – potrebno je implementirati alate za analizu podataka kako bi se prikupljali i analizirali podatci iz proizvodnog procesa. Ovaj pristup olakšava informirano odlučivanje o unapređenjima.

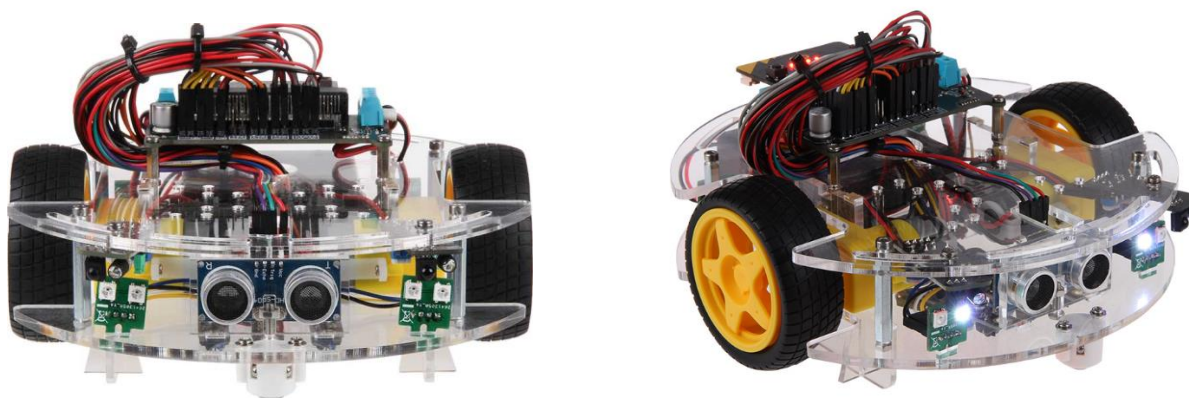
10. **Upravljanje promjenama** - Razvijanje strategije upravljanja promjenama kako bi se adresirao i umanjio otpor te osigurao glatki prijelaz prema poboljšanom proizvodnom okruženju.

11. **Iterativni proces** – bitno je razumjeti da je proces unaprjeđenja proizvodnje iterativan. To je kontinuirani napor i treba se neprestano pratiti i usavršavati.

U ovom poglavlju biti će predstavljen primjer kreiranja okruženja za sklapanje robotskog automobila Joy-Car. Unaprjeđenja će biti temeljena na procesu sklapanja tog automobila i proučavat će se ključni aspekti stvaranja optimalnog radnog okvira za montažu automobila. Fokus će biti na analizi procesa sklapanja vozila i implementaciji poboljšanja koja će rezultirati učinkovitijem proizvodnim postupcima.

5.1. Opis robotskog vozila Joy-Car

Joy-Car je autonomni edukativni robot temeljen na BBC micro:bitu i pruža sveobuhvatnu platformu za učenje o robotici, elektronici i programiranju. Korištenjem mikrokontrolera prilagođenoga korisnicima, Joy-Car je pogodan za djecu već od 8 godina, ali je također zanimljiv i starijim adolescentima i odraslima zaljubljenima u elektroniku zahvaljujući svojoj bogatoj senzorskoj opremi. Sensori poput praćenja linije, ultrazvuka, infracrvenog i senzora brzine kotača omogućavaju funkcije poput autonomne vožnje i čak upravljanje putem Bluetootha pomoću drugog, zasebnog BBC micro:bita. Dodatna oprema simulira pokazivače smjera, svjetla, svjetla za vožnju unatrag, trubu i upotpunjuje iskustvo autonomnog robotskog automobila. Upotrebom adresabilnih LED-ova moguće su dodatne individualni scenariji osvjetljenja. [30]



Slika 23. Joy Car autonomno robot vozilo [30]

Jedna od izuzetno intrigantnih komponenata ovog projekta je motorom upravljani ultrazvučni senzor koji omogućava Joy-Caru da se orijentira, gledajući lijevo i desno kako bi odredio najpovoljniju rutu. Prije okretanja, robot blinka, a zatim nastavlja s vožnjom.

Za samog robota postoji opsežan priručnik koji se proteže na 77 stranica, dostupan na njemačkom i engleskom jeziku. Ovaj priručnik ne samo da objašnjava kako izgraditi robota, već i detaljno opisuje sve dijelove, senzore, elektroniku i motore na razumljiv način. Programiranje robota moguće je izvesti pomoću MakeCode-a ili MicroPythona, a detalji su temeljito opisani.

Joy-Car već se koristi u različitim učionicama i prošao je kroz testiranje u skladu s tim. Zahvaljujući raznolikim funkcijama koje su obuhvaćene uputama i atraktivno objašnjene, Joy-Car može se koristiti na različite načine u obrazovnom kontekstu. [30]

Slično nekim autonomnim vozilima, poput Joy-Cara, opremljenim raznim senzorima koji omogućuju reagiranje na različite situacije, uključujući prepreke, linije, oznake, udaljenost i brzinu. Ovi senzori pružaju vozilima sposobnost korištenja autonomnih funkcija, simulirajući stvarne funkcije automobila poput svjetlosne signalizacije (kratka svjetla, kočiona svjetla, pokazivači smjera i svjetla za vožnju unatrag).

Autonomni automobili koriste senzore za izvođenje različitih zadataka, uključujući mjerenje udaljenosti, regulaciju brzine, pomoć pri parkiranju i mnoge druge funkcije, što im omogućuje širok raspon mogućnosti.

Priručnici koji prate ove automobile obično pružaju sveobuhvatne informacije. Oni uključuju detaljne upute za montažu, objašnjavaju tehničke komponente i principe senzora, te detaljno opisuju programiranje vozila. Ovo programiranje može biti prilagođeno i početnicima i stručnjacima uz obimne primjere koda.

Također, priručnici obično sadrže informacije o nadogradnjama i modifikacijama vozila, pružajući dodatnu priliku za personalizaciju. Ovisno o modelu, moguće je koristiti i dodatni kontroler, poput micro:bita, za daljinsko upravljanje automobilom, što omogućuje dodatnu fleksibilnost i raznolikost u upravljanju vozilom.

5.2. Proces sklapanja robota

Proces montaže robotskog vozila Joy Car predstavlja složen inženjerski izazov koji se odvija pod pažljivim nadzorom iskusnih operatera u skladu s službenim radnim uputama. Ovaj prvi segment istraživanja posvećen je detaljnom proučavanju trenutnog procesa montaže, analizirajući svaki korak kako bismo identificirali postojeće nedostatke i potencijalne točke optimizacije. Fokusrirajući se na rad svakog pojedinog operatera, ova analiza će nam omogućiti dublje razumijevanje izazova s kojima se susrećemo u trenutačnom postupku, postavljajući temelje za razmatranje inovativnih rješenja i poboljšanja tijekom narednih poglavlja.

Operateri, kao ključni dijelovi ovog procesa, izvode svoje zadatke u skladu s preciznim smjericama iz radnih uputa, ali pitanje koje se postavlja jest koliko učinkovito trenutačni proces zadovoljava standarde brzine, točnosti i učinkovitosti. Ovo prvo poglavlje će pružiti dubok uvid u svaki aspekt procesa montaže, od početka do kraja, identificirajući izazove i nedostatke koji utječu na produktivnost i kvalitetu konačnog proizvoda.

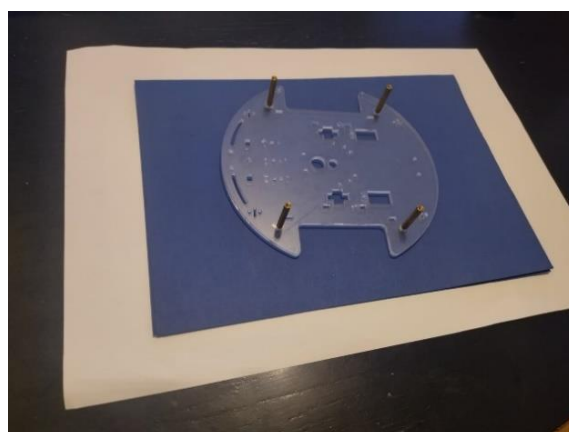
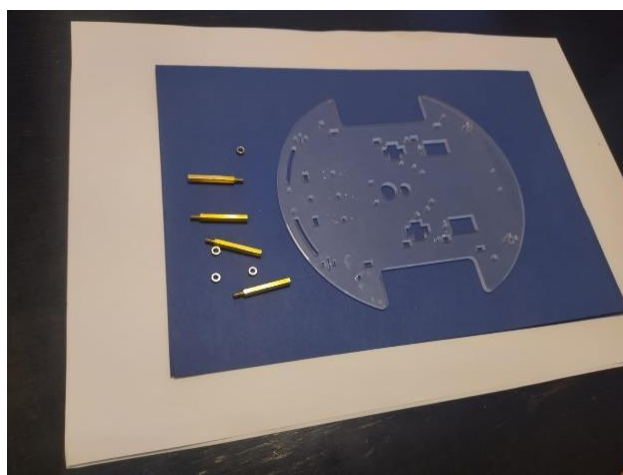
Kroz analizu radnih koraka, pristupom od strane jednog operatera, razotkrit će se ključne točke u kojima trenutačni proces može biti optimiziran. Bilo da je riječ o potencijalnim zastojevima, komplikacijama u međusobnoj koordinaciji ili mogućim izvorima pogrešaka, ovaj pregled će postaviti osnovu za daljnje istraživanje kako bismo stvorili temelj za inovacije i učinkovitost u proizvodnji Joy Car-a. U narednim poglavljima, fokus će se preusmjeriti na proučavanje metoda optimizacije koje će omogućiti unaprjeđenje cjelokupnog procesa montaže, čime će se postići visoki standardi performansi i zadovoljstva korisnika.

Cilje zadatka je izraditi okruženje za unaprjeđenje ovakvog sustava gdje bi se kroz realnu implementaciju te prijedloge potencijalnih rješenja probao dobiti bolji, efikasniji i točniji proces koji bi rezultirao u velikim uštedama koje bi se posebice izrazile u velikoserijskim procesu sklapanja ovog proizvoda. Za optimizaciju i unaprjeđenje moguće je koristiti razne platforme te tehnike Lean menadžmenta te također promjene u samom dizajnu robota koje bi se pomoću tehnika 3D printanja mogle implementirati na vozilo ukoliko ne ugrožavaju funkcionalnost vozila.

Trenutni proces montaže teče prema sljedećim koracima:

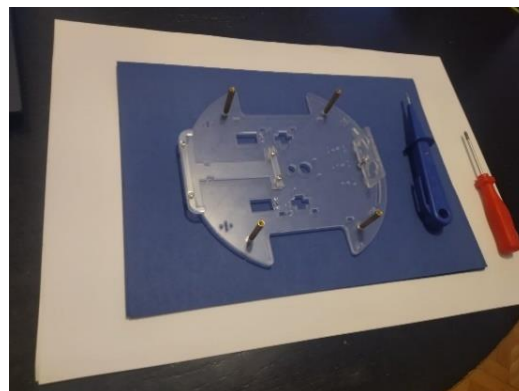
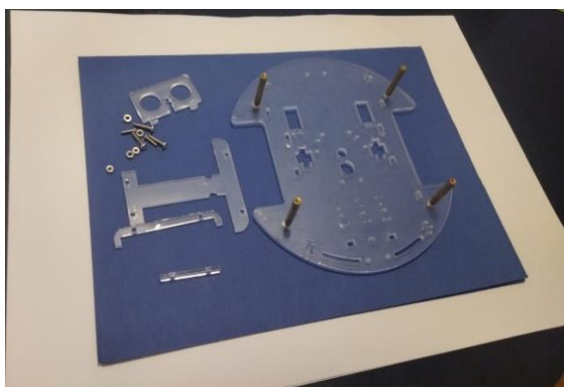
1. Prvi korak - Montiranje distancera

Opis operacije	1. Montiranje 4 distancer-a (M3 x 30 mm) na podnožje 2. Pričvstiti ih odozdo odgovarajućim maticama (M3)
Vrijeme operacije	80 sekundi
Komponente i količina	Donja glavna ploča Distanceri M3x30 mm – 4 komada Matice M3 – 4 komada
Dodatni komentar i oprema	Ne zahtijeva dodatnu opremu, gubitak vremena na traženju odgovarajućih matica

**Slika 24. Montiranje distancera**

2. Montiranje nosača ultrazvučnog senzora i nosača baterije

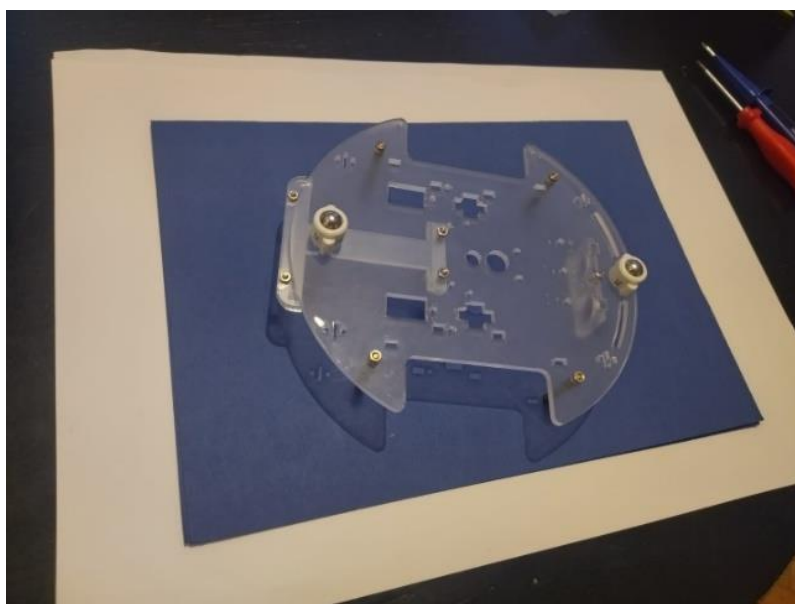
<p>Opis operacije</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montirati nosač ultrazvučnog senzora na podnožje 2. Pričvrstiti ga odozdo pomoću vijaka (M3 x 14 mm) i odgovarajuće matice M3 3. Uzeti nosač baterije A i postaviti ga na gornju stranu podnožja. Kratki kraj nosača baterije treba biti usmjeren prema sredini podnožja. 4. Staviti nosač baterije B na široku stranu nosača baterije A i pričvrstiti ih odgovarajućim vijcima (M2,5 x 10 mm) i maticama (M2,5). 5. Nosač baterije C postavlja se na usku stranu nosača baterije A. I to treba osigurati odgovarajućim vijcima (M3x 14 mm) i maticama (M3).
<p>Vrijeme operacije</p>	<p>140 sekundi + dodatnih 30 sekundi za predoperaciju traženja odgovarajućih komponenti (vijaka, matica, dijelova šasije)</p>
<p>Komponente i količina</p>	<p>Nosač ultrazvučnog senzora – 1 kom Nosač baterije A, B, C – 1 kom Vijak M3x14 mm – 2 kom Vijak M2,5 x 10 mm – 2 komada Matica M2,5 – 2 komada Matica M3 – 1 komad</p>
<p>Dodatni komentar i oprema</p>	<p>Odvijač, gubitak vremena na traženju odgovarajućih matica, dosta veliki gubitak vremena od 30 sekundi</p>



Slika 25. Montiranje nosača ultrazvučnog senzora i nosača baterije

3. Montirajte kugličnih ležajeva na podnožje

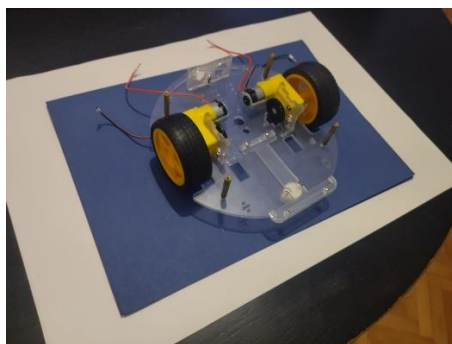
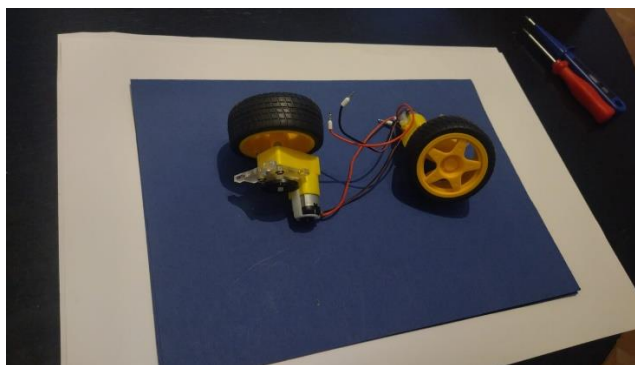
Opis operacije	1. Montirajte kotače na kuglu na podnožje. Za prednji dio, koristite vijke koji dolaze s kotačem na kugli. 2. Za stražnji dio, koristite vijke M2,5 x 10 mm i dodajte podložak. Pričvrstiti kotač zajedno s podloškom.
Vrijeme operacije	120 sekundi
Komponente i količina	Kotač s kugličnim ležajem – 2 komada Podložak – 1 komad Vijak M2,5x10 mm – 2 komada
Dodatni komentar i oprema	Poseban oprez da kuglice ne ispadnu iz ležajeva



Slika 26. Montiranje kugličnih ležajeva na podnožje

4. Predsklapanje kotača i ugradnja u glavni sklop

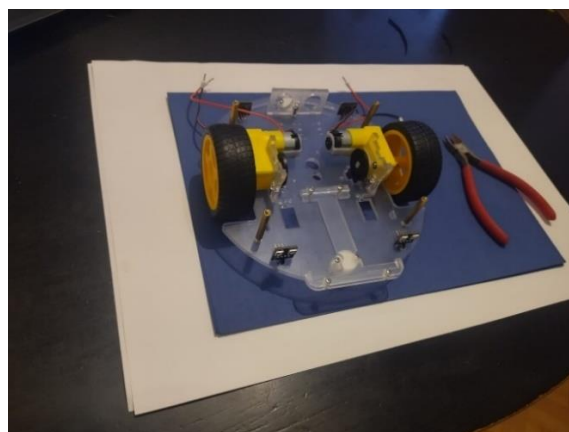
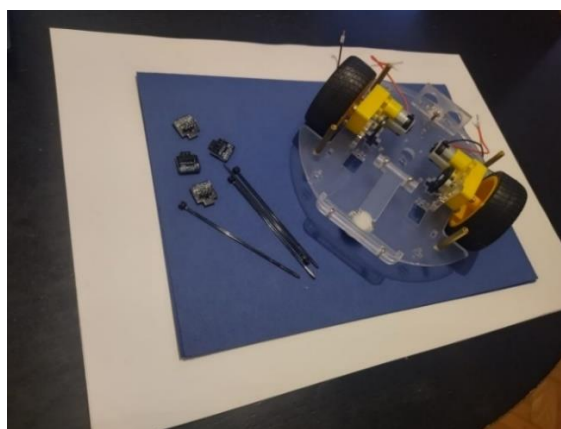
Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stavite oba motora u kanale nosača motora i pričvrstite ih odgovarajućim vijcima (M2.5 x 22 mm) i maticama (M2.5). 2. Dodatno koristite dvije podloške (M2.5) po vijku, jednu na glavi vijka i jednu na kraju vijka. Zatim, postavite crni perforirani disk na unutarnju stranu motora. 3. Sada postavite nosače motora na podnožje. Pričvrstite ih odozdo odgovarajućim vijkom (M3 x 14 mm) i maticom (M3).
Vrijeme operacije	Vrijeme predsklapanja kotača 180 sekundi + 180 sekundi vrijeme ugradnje u sklop
Komponente i količina	<p style="text-align: center;">Motor -2 komada Kotači – 2 komada Vijak M2.5 x 22 mm – 4 komada Podložak M2.5 – 4 komada Matica M2.5 – 4 komada Perforirani disk – 2 komada</p>
Dodatni komentar i oprema	Odvijač



Slika 27. Predsklapanje kotača i ugradnja u glavni sklop

5. Ugradnja svjetala

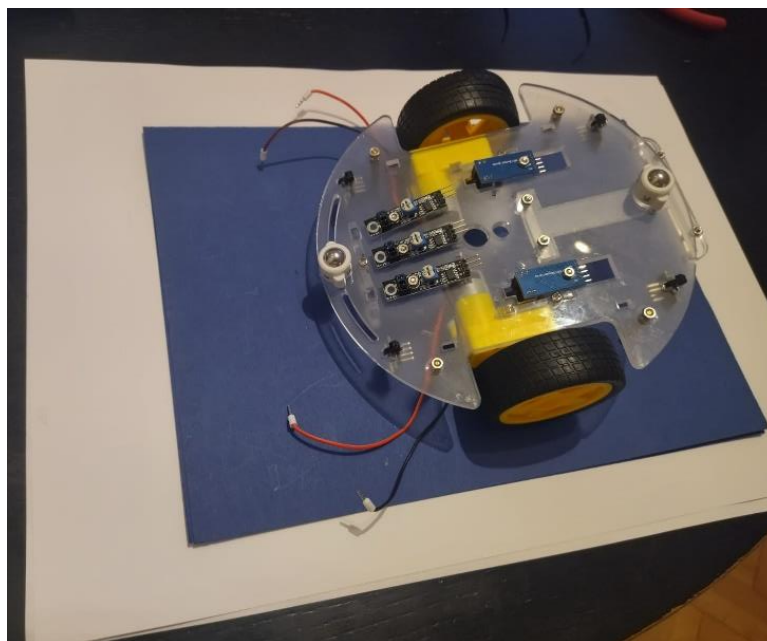
Opis operacije	<ol style="list-style-type: none">1. Umetnuti WS2812B LED module farova u prednji dio podnožja.2. Pričvrstiti ih pomoću vezica za kablove. Možete jednostavno provući vezicu kroz rupu na farovima i rupu na podnožju te je zategnuti.3. Ponoviti to za zadnji svijetla.
Vrijeme operacije	180 sekundi
Komponente i količina	LED modul WS2812B LED - 4 komada Plastične vezice – 4 komada
Dodatni komentar i oprema	Kliješta i vezice



Slika 28. Ugradnja svjetala

6. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija

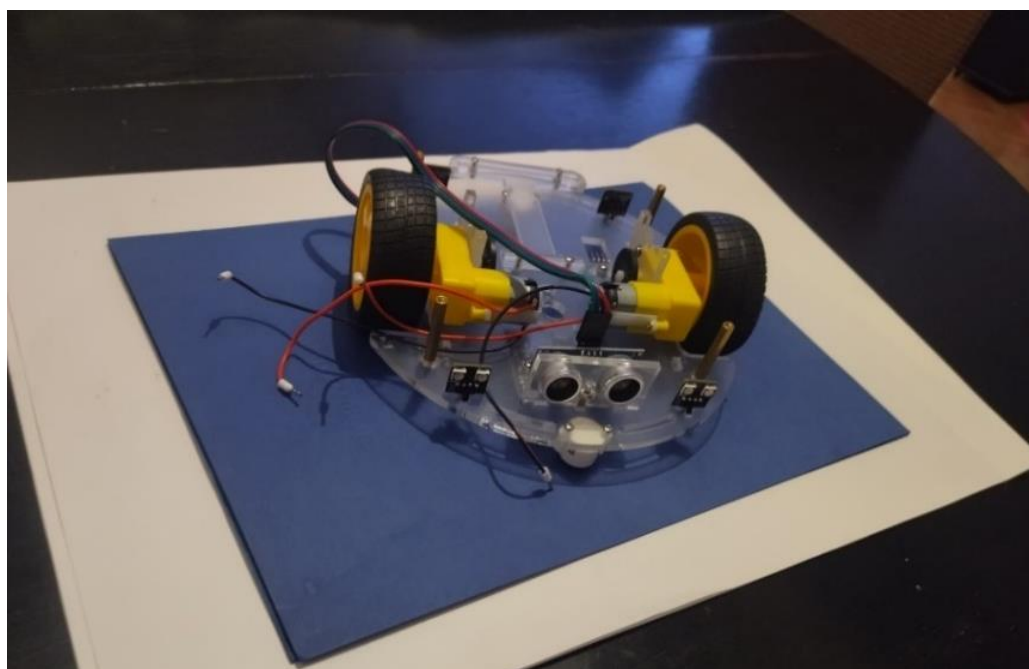
Opis operacije	<p>1. Montirajte senzore praćenja linije na donjoj strani koristeći odgovarajuće vijke (M2,5 x 10 mm) i matice (M2,5). Koristite 2 podloške po vijku (M2,5).</p> <p>2. Umetnite senzore brzine na donju stranu podnožja. Pričvrstite ih odgovarajućim vijcima (M2,5 x 10 mm) i maticama (M2,5). Ponovno koristite 2 ravne podloške (M2,5) po vijku.</p>
Vrijeme operacije	480 sekundi
Komponente i količina	<p>Senzori praćenja linija – 3 komada Senzori brzine – 2 komada M2,5x10 mm – 5 komada M2,5 podloške – 10 komada M2,5 matice – 10 komada</p>
Dodatni komentar i oprema	Odvijač



Slika 29. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija

7. Ugradnja ultrasoničnog senzora

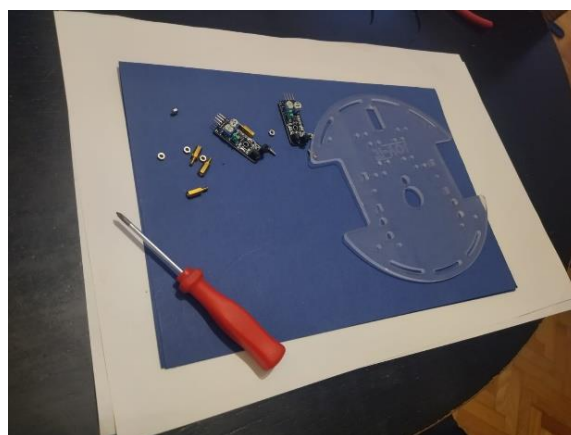
Opis operacije	Umetnite ultrazvučni senzor u držač. Ako je potrebno, dodatno ga možete osigurati nekim ljepljom. Četiri priključna pina trebaju biti okrenuta prema gore.
Vrijeme operacije	30 sekundi
Komponente i količina	Ultrasonični senzor – 1 komad
Dodatni komentar i oprema	Pričvrstite ultrasonični senzor pomoću ljepljive trake kako se nebi odvajao



Slika 30. Ugradnja ultrasoničnog senzora

8. Sklapanje druge glavne ploče

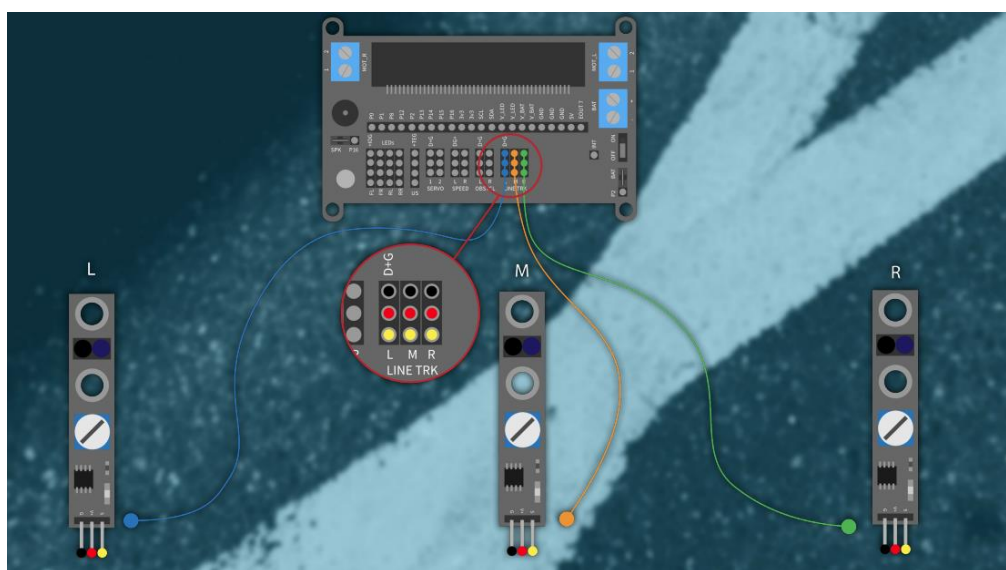
Opis operacije	<p>1. Pričvrstite 4 distancer-a (M2,5 x 10 mm) na šasiju i osigurajte ih odozdo odgovarajućim maticama (M2,5).</p> <p>2. Montirajte senzore prepreka na donju stranu šasije pomoću odgovarajućih vijaka (M2,5 x 10 mm), podloški i matica (M2,5</p>
Vrijeme operacije	240 sekundi
Komponente i količina	<p>Distancer M2,5x10mm – 4 komada</p> <p>Matice M2,5 – 4 komada</p> <p>Senzori prepreka- -2 komada</p> <p>Vijak M2,5x10mm – 2 komada</p> <p>Matica 2,5 – 2 komada</p> <p>Podloška 2,5 – 2 komada</p>
Dodatni komentar i oprema	Odvijač



Slika 31. Sklapanje druge glavne ploče

9. Ugradnja ožičenja u sklop

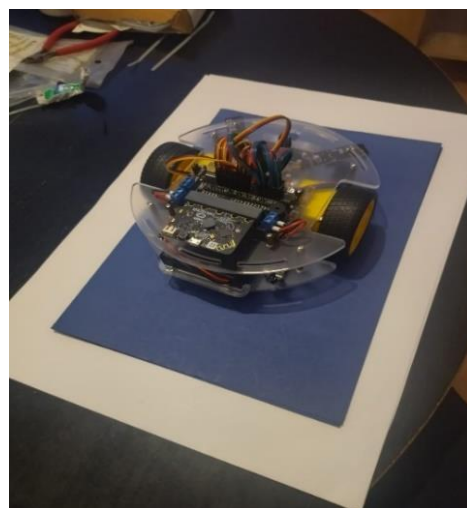
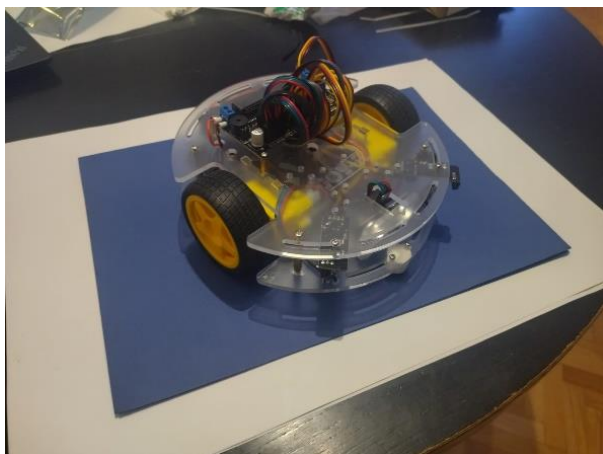
Opis operacije	Potrebno je pratiti shemu spajanja pojedinih senzora i elektornskih komponenti s glavnom pločom prema definiranom planu spajanja.
Vrijeme operacije	1200 sekundi
Komponente i količina	Distancer M2,5x10mm – 4 komada
Dodatni komentar i oprema	Ovo je operacija koja zahtijeva najviše vremena i očigledno je bottleneck sustava. Upute spajanja su nejasne – potencijalna poboljšanja potrebna.



Slika 32. Ugradnja ožičenja u sklop

10. Spajanje gornje ploče i ugradnja mikrokontrolera

Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> 1. S obzirom da su svi senzori i kablovi instalirani, konačno se može pričvrstiti šasija. Stavite šasiju na vrh baze i pričvrstite je s 4 distancerom koristeći odgovarajuće vijke (M3 x 8 mm). 2. Sada postavite glavnu ploču Joy-Car-a na već postavljene distancere na šasiji i pričvrstite je s 4 odgovarajuća vijka (M2.5 x 5mm). 3. Sada umetnite svoj micro:bit u držače glavne ploče i provjerite jesu li oba gumba okrenuta prema gore
Vrijeme operacije	200 sekundi
Komponente i količina	<p>Vijak M3 x 8 mm – 4 komada Vijak M2.5x5mm – 4 komada Mikrokontroler micro:bit-1 komad</p>
Dodatni komentar i oprema	/



Slika 33. Spajanje gornje ploče i ugradnja mikrokontrolera

5.3. Tok procesa – plan montaže

Plan je opis zamišljenog niza akcija kojima se iz početnoga stanja postiže ciljno stanje. U montaži, početno stanje predstavlja skup ugradbenih elemenata (dijelovi, sklopovi, bezoblične tvari), a ciljno je stanje sklop (proizvod). Zamišljeni niz akcija u montaži jest niz radnji kojima se ugradbeni elementi dovode u uzajamni zahtijevani odnos, na jednom ili više radnih mjesta (stanica). Tok izvođenja rada određen je redoslijedom sklapanja ugradbenih elemenata, odnosno njihovim prostornim rasporedom.

Stupanj detaljnosti plana ovisi o zahtijevanome stupnju podjele rada: što je stupanj podjele rada viši, potrebno je detaljnije razraditi proces (redovit slučaj u planovima automatskih procesa).

PLAN MONTAŽE – JOYCAR edukacijsko vozilo				
Oznaka elementa rada	Opis elemenata rada	Ugradbeni element, materijal	Sredstva za montažu, kontrolu i ispitivanje	Vrijeme operacije (sekunde)
ER1	Montiranje distancera	Donja ploča, Distanceri, Vijci M3x30	/	80
ER2	Montiranje nosača ultrazvučnog senzora i nosača baterije	Nosač US senzora, Nosač baterije A,B,C	Odvijač	170
ER3	Montiranje kugličnih ležajeva na podnožje	Kotači sa kuglama, podložak	Odvijač	120
ER4	Predsklapanje kotača i ugradnja u glavni sklop	Motori, podloške, kotači. Nosači motora	Odvijač	360
ER5	Ugradnja svjetala	LED svjetla WS2812B	Vezice	180
ER6	Ugradnja senzora brzine i praćenja linija	Senzori brzine, senzori praćenja linije	Odvijač	480
ER7	Ugradnja ultrasoničnog senzora	Ultrasonični senzor HC-SR04	Ljepilo	30
ER8	Sklapanje druge glavne ploče	Gornja ploča, distanceri, senzori prepreka	Odvijač	240
ER9	Ugradnja ožičenja u sklop	Žice 22AWG	/	1200
ER10	Spajanje gornje ploče i ugradnja mikrokontrolera	Vijci M2.5x5 mm	Odvijač	200

Tablica 2. Plan montaže prvotnog procesa

5.4. Analiza uskih grla procesa te postavljanje ciljeva

U analizi okruženja procesa proizvodnje robotskog vozila, detaljno se proučio tok procesa „proces flow“, identificirajući ključne korake i izazove. Tijekom analize, da se primijetiti da se usko grlo procesa pojavljuje u fazi ugradnje žičenja u sklop. Razlozi za ovo usko grlo su višestruki. Prvo, proces ugradnje žičenja pokazuje visok stupanj kompleksnosti, što dovodi do povećane složenosti i vremenskih zastoja. Drugo, radne upute koje se koriste u ovom koraku nisu dovoljno jasne, što može dovesti do nesigurnosti i povećanja vremena potrebnog za izvršavanje zadataka. Također, da se primijetiti nedostatak ergonomske optimizacije dizajna

radnog prostora, što dodatno komplicira proces ugradnje. S obzirom na ove identificirane probleme, preporučujem implementaciju poboljšanja u vidu preciznijih radnih uputa, prilagodbe dizajna radnog prostora kako bi se poboljšala ergonomija, te dodatne obuke za radnike kako bi se smanjila kompleksnost procesa i povećala učinkovitost. Ova poboljšanja trebaju doprinijeti eliminaciji uskog grla u procesu ugradnje žičenja, optimizirajući time proizvodnju robotskih vozila.

6. IZRADA OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROCESA PROIZVODNJE

Prvotni cilj u izradi okruženja je fokusirati se na operacije koje se smatraju uskim grlom „bottleneck“ procesa te pomoću analize pronaći način na koji bi unaprjediti taj dio procesa. Usko grlo procesa bi definitivno bio proces ugrađivanja ožičenja na sklop pošto je vodeće vrijeme tog procesa čak 1200 sekundi. Na taj proces odlazi 40 posto vremena cijele operacije te se kroz proces sklapanja uočilo da proces nije ergonomski te sam način sklapanja ožičenja bi mogao rezultirati u mnogim problemima sa kvalitetom proizvoda te čak rezultirati u velikom broju škarta.

6.1. Poboljšanja u dizajnu proizvoda (Design for Assembly)

Dizajn za proizvodnju i montažu (DFMA) je inženjerska metodologija koja se fokusira na smanjenje vremena do izlaska na tržište i ukupnih proizvodnih troškova prioritetiziranjem jednostavnosti proizvodnje dijelova proizvoda i pojednostavljene montaže tih dijelova u konačni proizvod - sve tijekom ranih faza dizajna životnog ciklusa proizvoda.

Prije nego što je postala jedinstvena filozofija kakvu danas poznajemo, DFMA se nekada smatrala dvije odvojene metodologije: Dizajn za proizvodnju (DFM) i Dizajn za montažu (DFA). DFM se bavi odabirom ekonomičnih sirovina i pokušava smanjiti složenost proizvodnih operacija tijekom faze dizajna proizvoda (koja bi bila najmanje ometajuća i skupa faza za rješavanje tih problema), kako bi se smanjilo ukupno vrijeme i troškovi proizvodnje komponenti proizvoda. Slično tome, DFA se bavi smanjenjem vremena, troškova i složenosti montaže proizvoda minimiziranjem broja pojedinačnih dijelova, koraka montaže i mogućnosti varijacija u kvaliteti izgradnje. Dizajniranjem proizvoda s manje komponenti, vrijeme montaže se inherentno smanjuje. Optimizacija procesa montaže doprinosi smanjenju troškova rada i povećava ukupnu učinkovitost.

Prednosti DFMA:

1. **Smanjenje otpada** - DfMA pomaže minimizirati otpad materijala tijekom proizvodnog procesa, pridonoseći uštedama i ekološkim prednostima.
2. **Niži troškovi proizvodnje:** Simplificiranjem dizajna i montažnih procesa, DfMA može dovesti do smanjenja ukupnih troškova proizvodnje, čineći proizvodnju općenito ekonomičnijom.

3. **Manje promjene dizajna tijekom kasnijih faza:** DfMA potiče temeljito razmatranje aspekata proizvodnje i montaže u ranim fazama dizajna, smanjujući vjerojatnost skupih promjena dizajna kasnije.
4. **Značajno smanjenje troškova montaže:** DfMA postiže uštede u troškovima montaže korištenjem manje dijelova, smanjenim potrebama za radnom snagom i manjim brojem jedinstvenih komponenata.

U našem slučaju vodit ćemo analizu kroz četiri glavna koraka:

- Konceptualna faza – opis komponenti te njihove funkcionalnosti
- Analiza – faza modeliranja u CAD-u
- Redizajn faza
- Zaključci

6.1.1. Konceptualna faza

Počevši s konceptualnom fazom, moramo definirati funkcionalnosti i glavne komponente sklopa te koja je njihova funkcija. Prije pripreme samog kreiranja okruženja za praćenje i unaprjeđenje proizvodnje potrebno je analizirati sam sustav – odnosno proizvod i način sklapanja kao glavnu operaciju koja će se promatrati u ovome radu. Potrebno je proučiti sve komponente koje se sklapaju u robota i koja je njihova funkcionalnost. Glavne dijelove robota čine:

1. Komponente šasije

Šasija ovog robota izrađena je od polimernog materijala. Glavna uloga ovih dijelova je:

- pruža osnovnu strukturalnu podršku za sve ostale komponente vozila
- ravnomjerno raspoređuje opterećenje i stres između različitih dijelova vozila
- omogućava integraciju različitih komponenata vozila ili uređaja, uključujući motor, ovjes, kočnice, upravljački sustav i druge
- šasija može pružiti određeni stupanj zaštite za osjetljive komponente poput elektronike, baterija ili spremnika za gorivo.
- povećava čvrstoću vozila ili uređaja, čime se poboljšava njegova sposobnost izdržavanja vanjskih opterećenja

Glavna dva dijela su dvije ploče s gornje i donje strane vozila, dok su ostatak pomoćni dijelovi koji sudjeluju kao spojke i držači za senzore i ostale komponente. Na slici su prikazani svi dijelovi šasije iz službene upute.



Slika 34. Dijelovi šasije robotskog vozila[30]

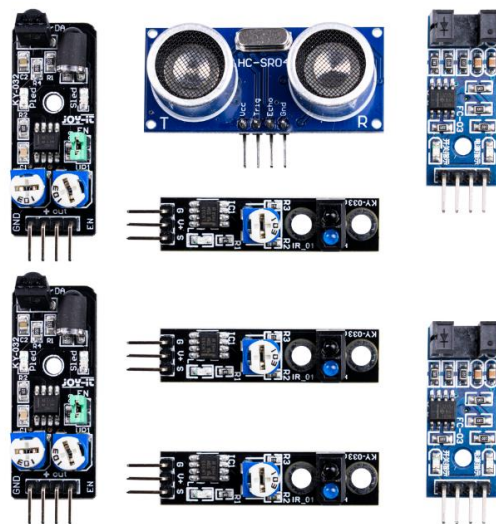
2. Senzori i elektronika

Osim glavne ploče i različitih motora, Joy-Car ima različite senzore koji mu omogućuju izvođenje svojih autonomnih funkcija. Oni, možemo reći, predstavljaju "oči" Joy-Cara.

Ovi senzori uključuju senzor udaljenosti, senzore prepreka, senzore praćenja linije i senzore brzine. Kombinirani, ovi senzori razvijaju svoj puni potencijal i omogućuju Joy-Caru reagiranje na različite događaje. Neki od zahtjeva poput:

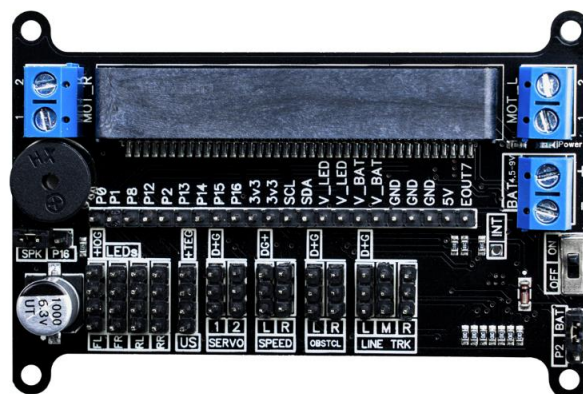
- Detekcije prepreke na velikoj udaljenosti
- Regulacija brzine ovisno o mogućim blokadama
- Praćenje linija
- Detekcija praznina
- Funkcije parkiranja

Konkretno senzori koji su uključeni u sklop su: senzor za praćenje linija, senzor za izbjegavanje prepreka, senzor brzine i ultrasonični senzor udaljenosti.



Slika 35. Senzorika u robotu [30]

Od elektronskih komponenti, bitno je također napomenuti glavnu ploču (Mainboard) koja predstavlja središnji element Joy-Cara. Osim direktnog utora za mikrokontroler, glavna ploča služi kao centralna jedinica na koju su povezane i kontrolirane sve elektronike Joy-Cara. Osim veza za senzore, osvjjetljenje i motore, postoje i druge veze koje se mogu koristiti za vlastite proširenja. Na taj način Joy-Car nije zatvoren sustav, već se može prilagoditi vlastitim idejama.



Slika 36. Glavna (matična) ploča [30]

3. Pogonske komponente – motor i kotači

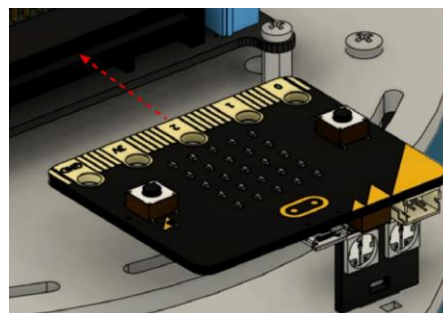
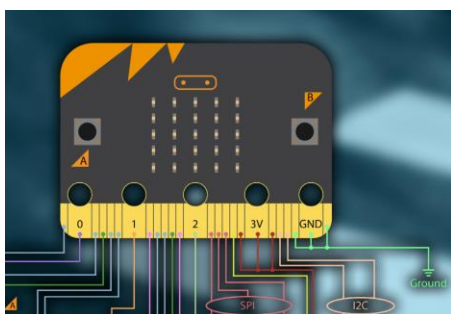
Komponente koje se ugrađuju na glavnu ploču i značajno su bitne jer omogućuju samo kretanje vozila.



Slika 37. Pogonske komponente sklopa[30]

4. Mikrokontroler

BBC micro:bit je iznimno kompaktni i prilagodljivi mikrokontroler koji je razvijen s ciljem edukacije i učenja programiranja i osnova elektronike. Ovaj uređaj je opremljen sa 5x5 LED mrežom za prikazivanje jednostavnih slika i teksta, dvije programabilne tipke, sensorima za akceleraciju, magnetometrom te senzorom temperature. Dodatno, micro:bit ima Bluetooth povezivost koja omogućuje bežičnu komunikaciju s drugim micro:bit uređajima i računalima. Ono što ga čini posebno korisnim je njegova prilagodljivost za različite programerske jezike, uključujući Python, JavaScript, Scratch i Microsoft MakeCode, što ga čini idealnim za učenike svih dobnih skupina i razina vještina. Također, BBC pruža obilje online resursa, tutorijala i projekata kako bi pomogao učiteljima i studentima da maksimalno iskoriste ovaj uređaj u edukaciji. Velika zajednica korisnika dijeli svoje projekte i ideje, što dodatno obogaćuje iskustvo učenja. Micro:bit je također otvoren za modifikacije i proširenja, a njegova pristupačnost omogućuje osobama s invaliditetom da se aktivno uključe u učenje i kreativno projektiranje.



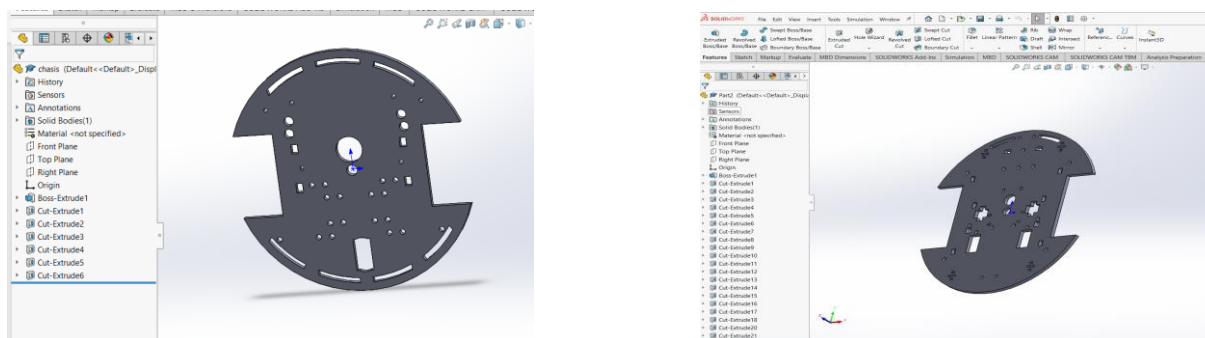
Slika 38. Mikrokontroler [30]

6.1.2. Faza analiziranja

Za izradu cjelokupnoga sklopa „assembly-a“ korišten je CAD program SolidWorks 2020. Cjelokupni sklop je modeliran prema precizno izmjeranim dimenzijama komponenata i dijelova, dok su neke elektroničke komponente (senzori) ubačene kao standardne komponente iz nekolicine CAD kataloga na internetu. Time se ubrzao proces izrade te se dobilo na točnosti dimenzija takvih malih komponenti.

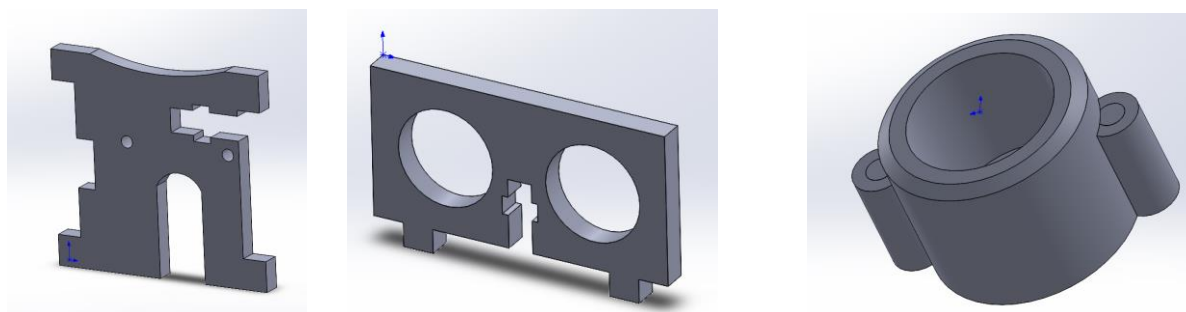
Sam proces izrade 3D CAD modela robotskog vozila započet je izradom dvaju baznih dijela šasije koje su glavne početne komponente na koje se nadovezuju ostale komponente. Cijelo vrijeme paralelno uz modeliranje i sklapanje sklopa u računalnom programu, robot sklapao i fizički te će slike sklapanja biti prikazane uz slike iz SolidWorks-a.

Izrada sklopa u CAD-u započela je izradom baznih ploča i dijelova šasije. Za dvije bazne ploče su prvo precizno uzete mjere, a zatim su se izmodelirale u Part opciji SolidWorks-a. Ove dvije ploče su glavni dio šasije sklopa.



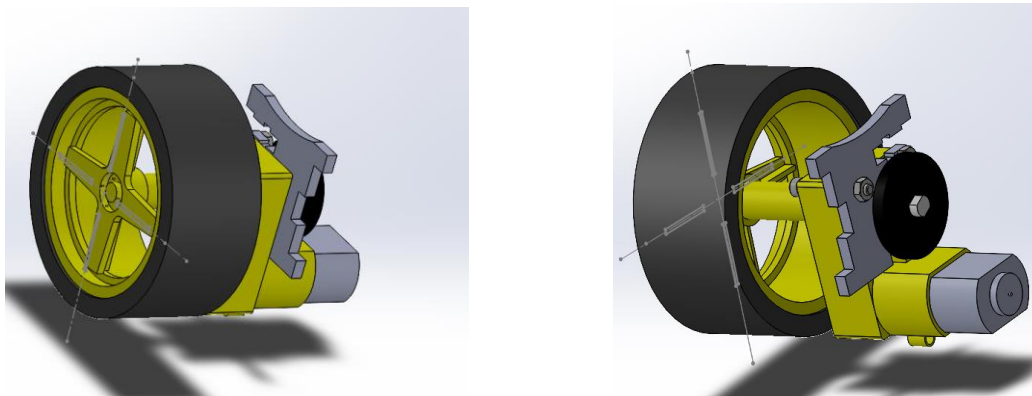
Slika 39. Glavne ploče – šasija

Nakon izrade ploča, krenulo se u izradu manjih komponenti koje su spadale također pod komponente šasije. Sve su spremljene kao SolidWorks part koji će se kasnije ubacivati u sklopni model „assembly“.



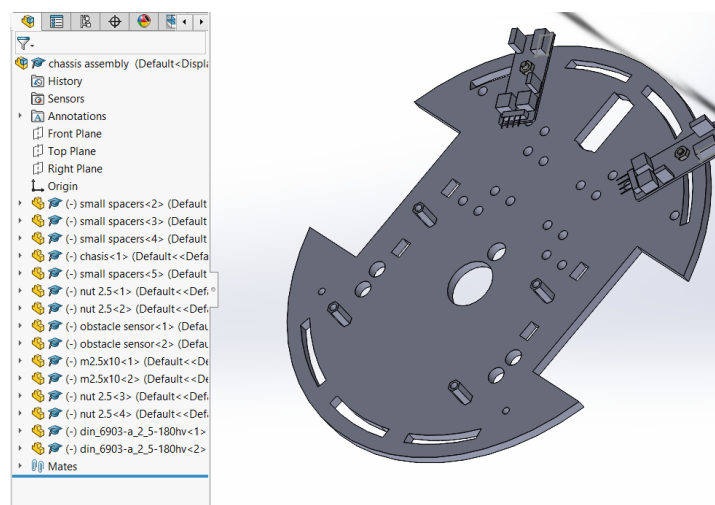
Slika 40. Pomoćne komponente šasije

Napravljeni su modeli motora i kotača koji su zajedno s ostalim pomoćim dijelovima sklopljeni u podsklop koji će se ugraditi u naš glavni sklop. Na slici je prikazan podsklop iz dvije perspektive, a bitno je napomenuti kako kotači nemaju jednak izgled kao u realnom modelu. Dizajn u programu je jednostavniji pošto ne utječe previše na sam proces sklapanja robota.



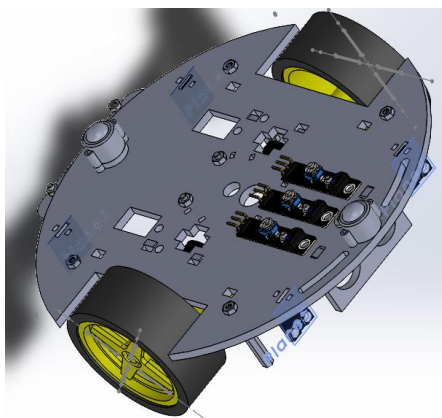
Slika 41. Podsklop kotača i motora

Nakon što su pogonske jedinice napravljene, kreće se na izradu podsklopa za drugu ploču šasije. Senzori za izbjegavanje prepreka se ugrađuju na drugu ploču šasije prema uputama te se spremaju kao podsklop u programu. Također se dodaju dijelovi potrebni za pričvršćivanje glavne matične ploče.



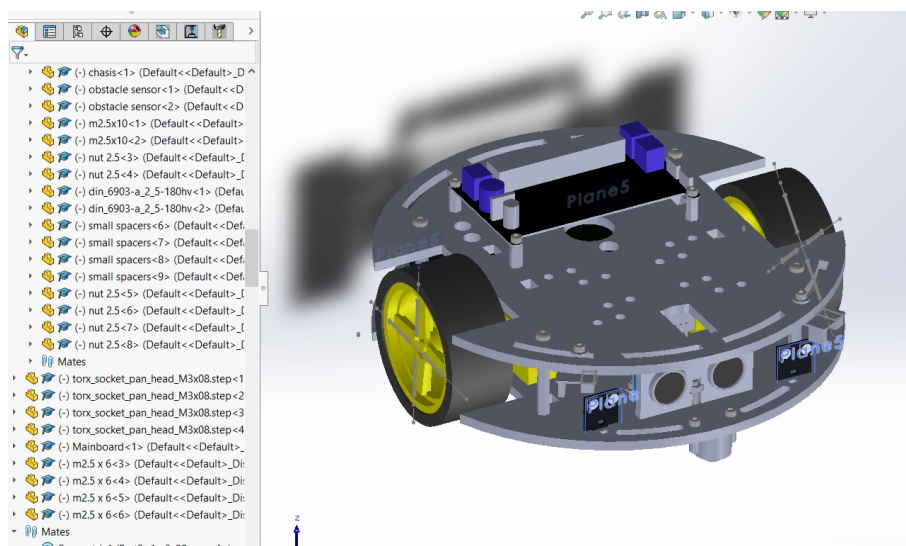
Slika 42. Podsklop gornje ploče

Zatim kreće sklapanje elektronskih komponenti u sklop. Za unošenje senzora u sklop, korišteni su CAD datoteke tih senzore koje su dostupne sa raznih internetskih CAD kataloga. Uz te modele i detaljne upute za instalaciju senzora i LED lampica na robota se te komponente postavljaju kako na robotu tako i u SolidWorks-u.



Slika 43. Ugrađeni senzori na sklop

Kao završni postupak slijedi integriranje druge ploče i završetak sklopa. Završni postupci kojima se završava ovaj proces izrade sklopa je spajanje gornje ploče s ostatkom sklopa i integriranje matične ploče u sklop.



Slika 44. JoyCar završni CAD assembly

6.1.3. Redizajn

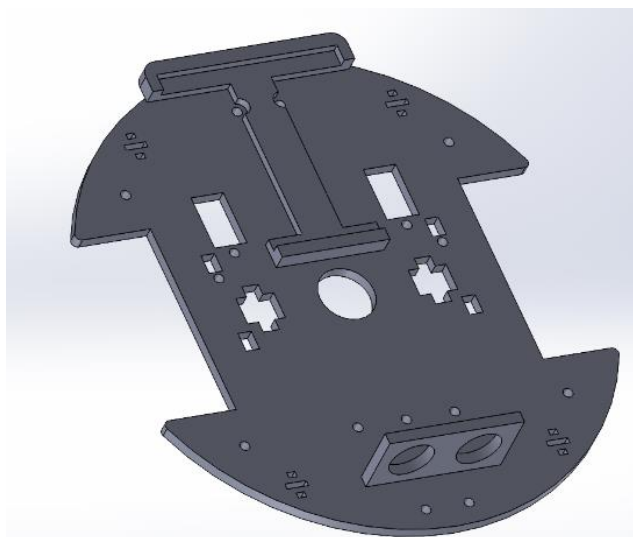
Cilj optimizacije montažnog procesa malog edukativnog robotskog vozila je smanjenje broja komponenata kako bi se pojednostavila izrada i smanjili ukupni troškovi. Ključni koraci uključuju inventuru trenutnih komponenata, ocjenu njihove funkcionalnosti te standardizaciju i pojednostavljivanje dizajna. Razmatranje modularnog pristupa, višefunkcionalnih komponenata te istraživanje alternativnih materijala također doprinose smanjenju broja dijelova. Suradnja s dobavljačima i primjena načela dizajna za montažu važni su za uspješnu

optimizaciju. Kroz prototipizaciju i testiranje, zajedno s redovitim ažuriranjem dokumentacije, osigurava se učinkovit i optimiziran montažni proces.

Predlozi za optimizaciju uključuju kreiranje 3D printane ploče s integriranim nosačima kako bi se znatno smanjilo vrijeme montaže i uvijanja dijelova. Također, pojednostavljuvanjem procesa spajanja elektronike kao poluproizvoda na gornju ploču, olakšava se operacija povezivanja s sensorima, što rezultira značajnim uštedama vremena. Redizajn gornje ploče s proširenjem rupa ima za cilj pojednostaviti proces i smanjiti pritisak na žice. Osim toga, promjena rasporeda rupa na gornjoj ploči optimizira putanju i smanjuje kompleksnost. Smanjenje luka žica na donjoj strani rezultira manjim brojem komponenata, smanjenjem vremena montaže i poboljšanjem kvalitete proizvoda. Ova optimizacija također donosi koristi operaterima, smanjujući broj operacija koje moraju izvršiti.

U tom smislu predložena su sljedeća poboljšanja koja su napravljena također u SolidWorksu:

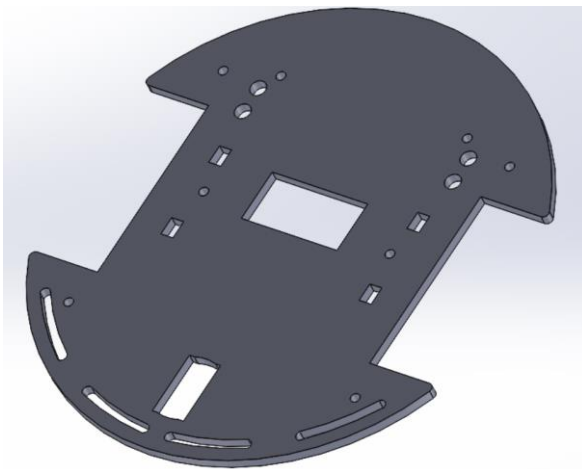
- **Donja glavna ploča** – glavna ideja u okviru izmjene donje glavne ploče je bila integracije nekolicine komponenti kako bi se mogle 3D Printati zajedno s cijelom pločom te time smanjiti broj operacija koje je potrebno napraviti u procesu montaže. Također, druga glavna ideja je bila povećati središnju rupu kako bi lakše bilo provlačiti žice sa senzora praćenja linija te kako žice nebi bile prejako savijene.



Slika 45. Donja glavna ploča redizajn

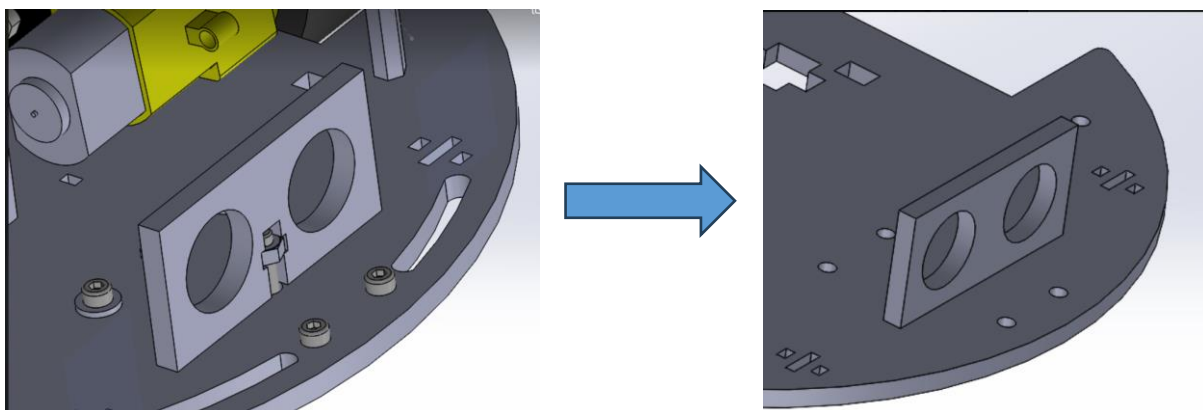
- **Gornja glavna ploča** – na gornjoj ploči je napravljena promjena u smislu da su središnje rupe zamijenjene sa jednom pravokutnom rupom (prolaz za žice). Glavni razlog te promjene bi bio u namjeri da se unaprjedi usko grlo procesa, odnosno proces ugradnje ožičenja s obzirom da je taj proces predstavio veliki izazov zbog malih rupa

za provlačenje. Ovakav način bi trebao uvelike olakšati taj proces operaterima te smanjiti mogućnost od oštećenja žica.



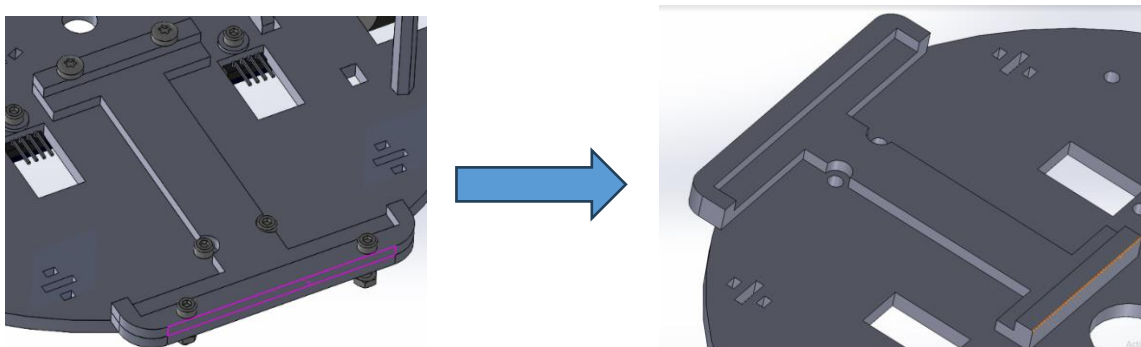
Slika 46. gornja glavna ploča redizajn

Ako pogledamo te promjene detaljno te usporedimo u odnosu na prethodno stanje lakše ćemo uočiti glavne promjene u dizajnu:



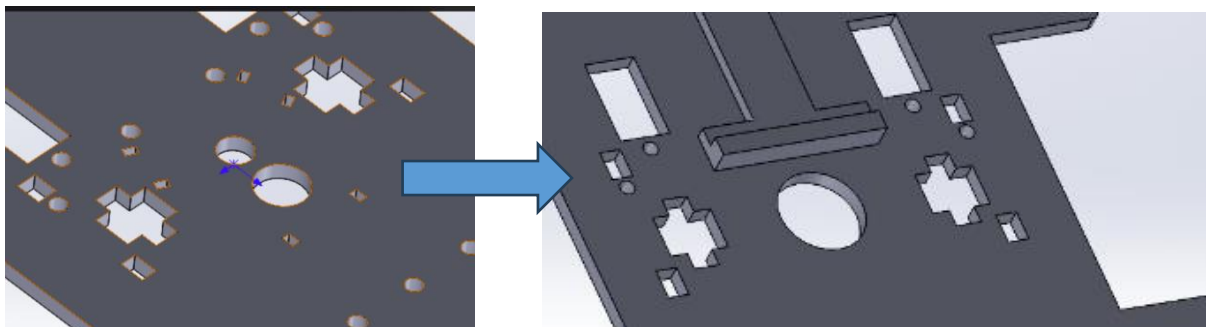
Slika 47. Promjene u dizajnu 1

Nosač ultrasoničnog senzora sada je integriran u donju ploču te će se 3D printati zajedno s pločom kako bi se iz procesa izbacila operacija pričvršćivanja nosača vijcima.



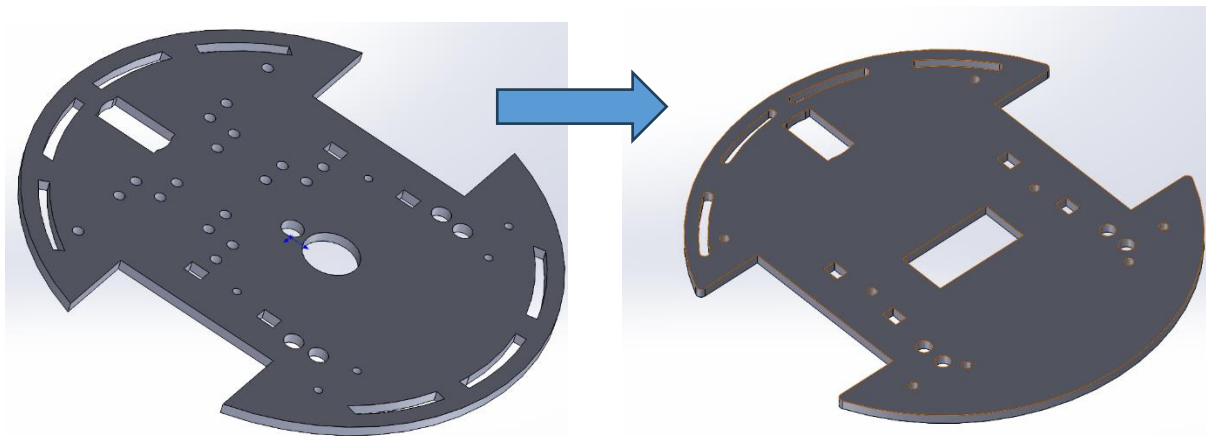
Slika 48. Promjene u dizajnu 2

Isto kao kod nosača ultrazvučnoga senzora napravljeno je i za nosač baterije, koji će biti u jednom komadu zajedno s donjom pločom integriran te će se 3D printati. Cilj toga je također eliminiranje dugotrajne operacije u kojoj se moraju pričvršćivati tri komponente na donju ploču. Ovako dobivamo sve integrirano u jednu komponentu.



Slika 49. Promjene u dizajnu 3

Na donjoj ploči je također izmijenjena središnja rupa, odnosno iz dvije manje je napravljena jedna veća rupa promjera 20 mm čime će se olakšati ugrađivanje senzora za praćenje linije te će se umanjiti stres na žice.



Slika 50. Promjene u dizajnu 4

Glavne izmjene na gornjoj ploči su zamjena središnjih rupa sa pravokutnom rupom te izbacivanje rupa koje nisu imale nikavu funkciju u sklapanju robota.

6.1.4. Zaključci

Primijenivši DFMA, dizajn robota za sklapanje uspješno je optimiziran radi smanjenja broja operacija u procesu montaže. Ključne točke u prethodnom dizajnu, koje su bile potencijalno rizične ili nespretno integrirane, identificirane su tijekom analize. Odlučeno je integrirati više komponenti u jednu, što je značajno pojednostavilo postupak montaže. Ovaj pristup rezultirao je smanjenjem složenosti i vremena potrebnog za sklapanje robota.

Poboljšanja su jasno vidljiva u CAD 3D modelu, gdje se ističe optimizirani dizajn i povećana efikasnost montažnog procesa. Integracija više komponenti nije samo pojednostavila montažu, već je i unaprijedila ukupnu robusnost i funkcionalnost robota.

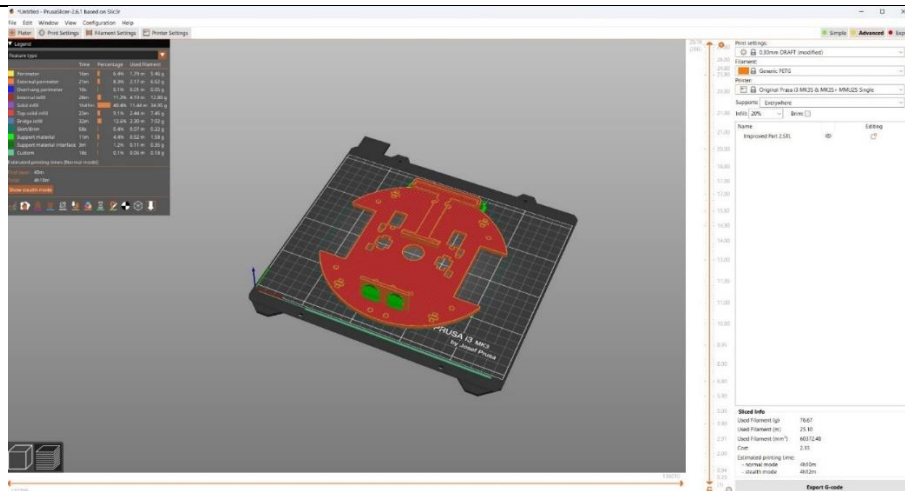
Kako bi se dodatno potvrdili očekivani dobitci, planira se 3D printanje dijelova, uz provođenje detaljnih mjerenja radi analize stvarnih ušteda u materijalu, vremenu montaže te drugim relevantnim parametrima. Ovaj pristup omogućuje dobivanje kvantitativnih podataka o poboljšanjima, a istovremeno pruža temelj za daljnje unaprjeđenje dizajna, temeljenog na stvarnim rezultatima i povratnim informacijama iz praktične primjene.

6.2. Upotreba 3D printanja za unaprjeđenje procesa

Nakon temeljite analize DFMA, identificirala ključna poboljšanja u dizajnu njihovih proizvoda koja su bila od suštinskog značaja za poboljšanje performansi i smanjenje rizika. U svrhu učinkovite implementacije tih promjena, odlučili su se koristiti 3D printanjem, koristeći pritom Prusa 3D pislač.

Printane donje i gornje glavne ploče pružile su značajne prednosti u odnosu na prethodne komponente. Prvenstveno, postignuto je značajno smanjenje vremena potrebnog za izradu, što je rezultiralo bržim protokom proizvodnje. Osim toga, integracija više komponenti u jednu, putem 3D printanja, znatno je pojednostavila proces sklapanja, smanjujući broj potrebnih koraka i time povećavajući ukupnu učinkovitost.

Jedna od ključnih prednosti 3D printanja, posebice uz korištenje Prusa pisalca, bila je preciznost u reprodukciji složenih geometrija. To nije samo rezultiralo visokom kvalitetom printanih dijelova, već je i omogućilo poboljšanu funkcionalnost proizvoda. S ovim inovativnim pristupom, tvrtka je također ostvarila značajne ekonomske prednosti, budući da se materijal za printanje može optimalno koristiti, smanjujući gubitke. Sveukupno, 3D printanje, potpomognuto Prusa tehnologijom, donijelo je tvrtki značajne prednosti u smislu vremenske efikasnosti, jednostavnosti procesa, poboljšane funkcionalnosti i ekonomske racionalnosti, čime je unaprijeđen cjelokupni lanac proizvodnje.



Slika 51. Prikaz modela u Prusa Slicer programu



Slika 52. prikaz 3D printanih komponenti

6.3. Implementacija Lean alata u proces

Jedna od ključnih stavki generalno u optimizaciji i unaprjeđenjima proizvodnih procesa je implemetacija Lean alata u svrhu eliminiranja gubitaka u procesa i postizanja efikasnijeg i boljeg procesa sa manje gubitaka i boljom kvalitetom. Kroz proučavanje ranije spomenutih Lean alata, proučava se koji bio optimalan izbor alata koji bi se mogao uvesti u ovaj sustav i time pozitivno utjecati na sam razvoj okruženja za unaprjeđenje procesa proizvodnje. Jedan od osnovnih takvih alata, koji bi trebao biti primjenjen u svim proizvodnim procesima pa tako i ovom je 5S sustav standardizacije i organizacije. Konkretnije, bitna stavka koja je uočena u preliminarnom sklapanju robotskog vozila je veliki gubitak vremena na predpripremu samih operacija koje operater mora uraditi prije samih koraka montaže. Pod te procese generalno se mogu uočiti prevelika vremena zastoja zbog traženja određenih dijelova traženih te potrebnih

vijaka i matica. Također u okviru implementacije, dalo bi se razmotriti uvođenje i drugih alata poput – Poka Yoke, Kanban, Mapiranje toka vrijednosti.

6.3.1. Implementacija 5S-a u proces

Primjena 5S metodologije u procesu montaže malih edukativnih robotskih vozila, koji uključuju senzore, vijke, elektroniku i dijelove plastičnog šasija, može znatno poboljšati učinkovitost, organizaciju i opću produktivnost. 5S metodologija obuhvaća sljedeće principe: Sortiraj, Sredi, Sjaji, Standardiziraj i Održavaj. Princip se uvodi u proces u sljedećim koracima: Započinje organiziranjem komponenti na logičan i učinkovit način. Također odvojiti nužne komponente (senzore, vijke, elektroniku, dijelove šasije). S druge strane potrebno je ukloniti stavke koje su višak i nepotrebne su u našem procesu montaže (dijelovi za parkiranje, višak vezica i nepotrebni vijaka, dijelovi elektorinke koji nisu potrebni za naš sklop).

Nadalje, ključno je organizirati naše komponente na logičan i učinkovit način. Odrediti će se određena mjesta za svaku vrstu dijela kako bi se olakšao pristup traženim dijelovima i lakša identifikacija samih. Koristiti će se rješenja za pohranu poput označenih kutija, polica ili ladica kako biste održavali uredan raspored komponenata. Dijelove će se sortirati prema kutijicama koje će biti označene prema funkcionalnim cjelinama. U tom smislu kutijica će primjerica sadržavati dijelove motora, kotača te svih šarafa koje se ugrađuju na taj podsklop. Tim postupkom će operater na brz i efikasan način moći doći do traženih komponenti i dijelova za njih te time skratio vrijeme pripreme koje ne dodaje vrijednost proizvodu (NVAT – non-value added activities).

U okviru organizacije potrebno je razviti kulturu kontinuiranog poboljšanja i pridržavanja 5S principa, potičući redovite revizije i inspekcije s ciljem osiguravanja usklađenosti sa uspostavljenim standardima. Zaposlenike se mora poticati na sudjelovanje i preuzimanje odgovornosti za održavanje organiziranog radnog prostora.



Slika 53. Sortiranje komponenti i alata korištenjem 5S-a

Uveden je sustav 5S u proces sklapanja edukativnih robotskih vozila s ciljem poboljšanja organizacije i efikasnosti rada. Sve komponente su pažljivo razvrstane prema vrsti i smještene u predodređene kutijice. Svaka kutijica označena je nazivom komponente, a uz svaku je pridružen odgovarajući popratni materijal za ugradnju, uključujući žice, vijke, matice i slično. Cilj je postići brzu identifikaciju dijelova te olakšati pronalaženje pojedinih dijelova tijekom procesa sklapanja. Crvene kutijice koriste se za električne komponente, dok su plave rezervirane za mehaničke. Ovaj sustav organizacije omogućava jasnost i sustavnost, što rezultira učinkovitijim postupkom sklapanja edukativnih robotskih vozila.

6.3.2. Implementacija standardiziranog rada (radne upute)

Standardizirani rad u lean proizvodnji znači uspostavljanje i dosljedno slijedenje najefikasnijeg načina obavljanja zadataka. To nije samo dokumentiranje postupaka, već dinamičan proces koji evoluira kroz prepoznavanje poboljšanja. Cilj je stvoriti osnovu za postizanje konzistentnih rezultata, smanjenje varijabilnosti i poboljšanje ukupne učinkovitosti.


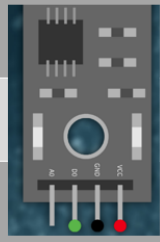
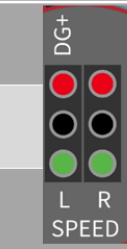


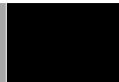

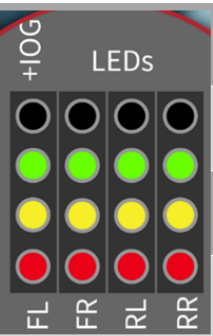



Upute za rad u proizvodnji su ključni alat za optimizaciju procesa. Pružaju jasne smjernice timovima kako kvalitetno izrađivati, pakirati, označavati i otpremati proizvode prema specifikacijama. Ove upute su od posebne važnosti u situacijama sličnih proizvoda na montažnoj liniji te tijekom operativnih promjena ili prelaska na druge modele proizvoda.

Ideja je usklađivanje s "najboljim poznatim načinom rada", osiguravajući da svi radnici obavljaju zadatke na isti način. Standardizacija omogućuje primjenu poboljšanja na cijelom

području, povećavajući produktivnost, kvalitetu i sigurnost. Prije standardizacije, važno je pojednostaviti svaki korak i razmotriti postavljanje odgovarajuće opreme, što može olakšati rad i poboljšati rezultate.

U smislu standardizacije ovog procesa i kreiranja radnih uputstva, najviše je fokusa stavljeno na bottleneck sustava (usko grlo), odnosno proces ugradnje ožičenja u sklop. Taj postupak se pokazao takvim jer oduzima čak 40 posto ukupnog vremena montaže te predstavlja problem operaterima zbog svoje složenosti i nedovoljno jasnih vizualnih uputstava za skajanje pojedinih žica na pojedine konekcije glavne ploče. U tom smislu su kreirane tablice (tzv. Pinout tablice) koje su standard u modernim proizvodnjama sklopova ožičenja, a služe kao jednostavan i pragmatičan prikaz žica te konekcija u koje se spajaju od jednog električnog uređaja u drugi.

Izrada pinouta bi trebala riješiti problem nejasnih uputstava te uvelike poboljšati proces sklapanja ožičenja u vozilo.

From Speed Sensor	To Mainboard	Color	Gauge	Scheme sensor	Scheme Mainboard
VCC	1		22AWG		
GND	2		22AWG		
D0	3		22AWG		
From Headlights	To Mainboard	Color	Gauge	Scheme sensor	Scheme Mainboard
GND	1		22AWG		
Dout	2		22AWG		
Din	3		22AWG		
+	4		22AWG		

Tablica 3. Tablice za spajanje ožičenja

Iz tablica je operateru jasno isčitati koju žicu (na primjer žutu) treba spojiti sa predodređenog signala (na primjer GND) na točno određenu poziciju dedicanu za taj signal na glavnoj ploči. Također u tablici je specificirana debljina žica (Gauge) te su prikazane shematske slike za lakše razumijevanje spajanje ožičenja.

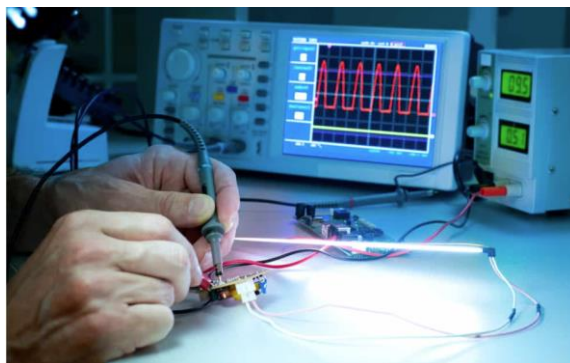
6.4. Testiranje i validacija

Nakon što operater izvrši sve operacije oko montaže robota, vrlo je bitno održati završnu fazu cijelog procesa – kontrola kvaliteta i inspekcija proizvoda. U smislu kontrole i provjere da li proizvod zadovoljava sve zahtjeve, specifikacije i funkcionalnosti; potrebno je odraditi dvije vrste provjere: vizualnu inspekciju i električnu inspekciju. U smislu vizualne inspekcije potrebno je slijediti sljedeće korake:

- Izrada Lista za Inspekciju
- Obuka za Inspektore
- Upotreba Standardizirane Rasvjete
- Implementacija Automatiziranih Vizijskih Sustava
- Slučajno Uzorkovanje
- Zapisivanje i Analiza Podataka

Ti koraci primarno služe kako bi se uočilo na vrijeme ukoliko proizvod ima određenih mehaničkih ili funkcionalnih oštećenja. U tom slučaju proizvod se ili vraća na rework ili ukoliko je greška nepopravljiva – scrap. Osim vizualne inspekcije, vrlo je važno testirati takav sustav pomoću električne inspekcije:

- Funkcionalno Testiranje
- Upotreba Testnih Pomagala
- Implementacija Električne Testne Opreme
- Testiranje na Tiskanim Pločama
- Termalno Testiranje
- dokumentacija Rezultata Testiranja
- Redovita Kalibracija Testne Opreme



Slika 54. Prikaz testiranja elektronskih komponenti [33]

6.5. Edukacija operatera

Obuka zaposlenika igra ključnu ulogu u unapređenju proizvodnog procesa, posebno u složenom zadatku sklapanja robotskih automobila. Investiranjem u programe obuke, osposobljavate osoblje za precizno rukovanje tehnologijom, povećavajući učinkovitost i smanjujući vrijeme montaže ovih visokotehnoloških vozila.

Dobro obučeni zaposlenici ne samo da identificiraju i rješavaju probleme u procesu, već i igraju ključnu ulogu u operacijama koje uključuju suradnju s robotima i drugim naprednim tehnologijama. Njihova stručnost postaje presudna za optimalno funkcioniranje robotskih sustava i isporuku kvalitetnih proizvoda.

Osim toga, obuka naglašava sigurnost u radu s robotskom tehnologijom, čime se osigurava pouzdanost u izvođenju preciznih zadataka. Timski duh, potaknut obukom, omogućuje bolju koordinaciju između inženjera, programera, tehnologa održavanja i operatera, što je ključno u složenom procesu sklapanja robotskih automobila.

Obuka isto tako naglašava važnost prilagodbe novim tehnologijama, čime tvrtke ostaju konkurentne u dinamičnom okruženju automobilske industrije. Kroz edukaciju o održivosti i ekološkoj odgovornosti, zaposlenici postaju pokretači inovacija koje smanjuju ekološki utjecaj proizvodnje, čineći proces sklapanja robotskih automobila ne samo efikasnim, već i ekološki prihvatljivim.

U konačnici, ulaganje u obuku zaposlenika ne samo da poboljšava trenutni proizvodni proces već i gradi temelj za dugoročnu održivost i inovacije u industriji sklapanja robotskih automobila. Motivirani i dobro obučeni zaposlenici postaju ključni čimbenik uspjeha, pridonoseći proizvodnji visokokvalitetnih i tehnološki naprednih vozila.

6.6. Integracija tehnologija i automatizacije

Uvođenje robotizacije u proces montaže predstavlja ključni korak prema postizanju veće efikasnosti i optimizaciji proizvodnje. Razmatranje integracije robota u tri odvojene stanice za izvođenje specifičnih podsklopova, te njihovo konačno spajanje u zadnjoj stanici, otvara prostor za značajno poboljšanje produktivnosti. Ovaj prijedlog uključuje i ulogu operatera koji će ručno spajati žice, što dodatno optimizira kombinaciju ljudskih i robotskih sposobnosti.

U narednim poglavljima razmotrit će se implementacija različitih tehnologija, među kojima se ističu Internet of Things (IoT), umjetna inteligencija (AI), vizijski sustavi, digitalni blizanci te robotizacija i automatizacija. Iako trenutno ova rješenja neće biti praktično implementirana,

predstavljaju ključne prijedloge koji bi mogli izuzetno unaprijediti proces montaže u budućnosti. Kroz detaljan opis svake tehnologije, razmotrit će se njihov potencijal u povećanju preciznosti, brzine i sigurnosti procesa, istovremeno stvarajući temelj za daljnje istraživanje i primjenu inovacija u industriji.

6.6.1. Implementacija IoT u proces montaže

U procesu proizvodnje edukacijskih robotskih vozila Joy-Car, implementacija sustava Internet stvari (IoT) igra ključnu ulogu u poboljšanju učinkovitosti i optimizaciji procesa. Prvi korak uključuje ugradnju senzora na ključne dijelove vozila poput šasije, elektromotora, kotača i ostalih senzorskih komponenti. Ovi senzori su povezani putem IoT uređaja koji omogućuju prikupljanje podataka u stvarnom vremenu.

Prikupljeni podaci obuhvaćaju informacije o temperaturi, brzini motora, stanju baterije, orijentaciji vozila i drugim relevantnim parametrima. Ti podaci se zatim šalju centralnom sustavu za prikupljanje, pohranu i analizu podataka, pružajući mogućnost praćenja statusa svakog vozila u stvarnom vremenu.

Kroz analizu podataka i primjenu algoritama obrade, moguće je izvući korisne informacije, prepoznati uzorke, identificirati odstupanja od normale te predvidjeti potrebe za održavanjem. Ovaj sustav podržava i prediktivno održavanje, smanjujući potrebu za preventivnim intervencijama.

Implementacija IoT-a omogućuje i upravljanje kvalitetom tijekom procesa proizvodnje. Podaci prikupljeni tijekom montaže koriste se za automatsko identificiranje i bilježenje eventualnih grešaka ili odstupanja od standarda.

Ako se roboti koriste za sklapanje, oni su integrirani u IoT sustav radi praćenja njihovog rada i učinkovitosti. Također, omogućuje se interakcija između operatera i robota putem IoT sustava, doprinoseći optimizaciji radnog procesa.

Dodjeljivanje jedinstvenih serijskih brojeva svakom vozilu olakšava praćenje pojedinačnih jedinica od proizvodnje do krajnjeg korisnika, pridonoseći transparentnosti i lakšem otkrivanju problema. Naravno, sve ove aktivnosti moraju biti podržane sigurnosnim protokolima kako bi se osigurala zaštita podataka i usklađenost s propisima o privatnosti.

Osim toga, kontinuirana obuka osoblja o radu s IoT sustavom ključna je za postizanje učinkovite uporabe i praćenje podataka. Kroz redovitu analizu podataka, identifikacija područja za poboljšanja u procesu proizvodnje postaje moguća, što omogućuje kontinuirano ažuriranje

sustava i integraciju novih tehnologija radi optimizacije performansi. Implementacija ovakvog IoT sustava donosi napredno praćenje, upravljanje resursima i optimizaciju proizvodnog procesa edukacijskih robotskih vozila Joy-Car.

6.6.2. Intergracija umjetne inteligencije u proces montaže

Uvođenje umjetne inteligencije (AI) u proces proizvodnje edukacijskih robotskih vozila Joy-Car može značajno unaprijediti različite aspekte, uključujući optimizaciju rada, kvalitetu proizvoda, prediktivno održavanje i prilagodbu dinamičnim uvjetima.

Proizvodna industrija suočava se s brojnim izazovima, pri čemu društveni i ekonomski razvoji utječu na cijelu industriju. S jedne strane, rastući pritisak u vezi s troškovima, kvalitetom i vremenom zbog međunarodne konkurencije te povećane raznolikosti proizvoda i individualizacije povećava zahtjeve u vezi s razinom izvedbe radnika u montaži. S druge strane, neki industrijaliziranih zemalja poput Njemačke suočavaju se s nedostatkom stručnih radnika i demografskim promjenama. Nastala nesrazmjernost između zahtjeva za izvedbom i stvarne sposobnosti radnika može uzrokovati povećanje broja ljudskih pogrešaka, primjerice, zbog stresnih reakcija, što dovodi do dorade i odbačenih proizvoda. Stoga integracija umjetne inteligencije predstavlja koncept smanjenja ljudskih pogrešaka u ručnoj montaži. Prvo se opisuje sustavno identificiranje i prioritizacija čimbenika koji uzrokuju ljudske pogreške. Zatim se predstavlja prikupljanje podataka, primjerice, korištenjem pametnih uređaja, o čimbenicima koji uzrokuju pogreške - poput opterećenja zadatkom ili mentalnog napora. Nakon toga, naglašava se pristup temeljen na podacima za predviđanje ljudskih pogrešaka pomoću modela umjetne inteligencije. Preporučuje se sustavno izvođenje mjera za smanjenje pojave ljudskih pogrešaka. Metodologija ima za cilj povećati profitabilnost tvrtki smanjenjem odbačenih proizvoda i dorade putem smanjenja pogrešaka. [32]

Ovaj koncept usredotočuje se na predviđanje i smanjenje pogrešaka u ručnoj montaži. Specifično je dizajniran za rješavanje pogrešaka koje uzrokuju ljudi te kontinuirano provjerava moguće rizike od pogrešaka koje bi trebale biti ublažene predloženim mjerama prije nego se pojave. Uvođenjem metodologije, primjerice, na montažnu liniju s fiksnim ritmom, mogu se smanjiti vremena dorade i troškovi, kako na liniji tako i izvan nje. Koncept obuhvaća četiri uzastopna koraka kako bi se adresirao nedostatak holističkog pristupa smanjenju operativnih ljudskih pogrešaka u ručnoj montaži:

1. Analiza pogrešaka Cilj: identifikacija I prioritizacija čimbenika relevantnih za pogreške
2. Prikupljanje podataka Cilj: razvoj baze podataka s podacima iz ručne montaže kao i čimbenicima vezanim uz ljudski faktor.
3. AI model Cilj: predviđanje ljudskih pogrešaka u ručnoj montaži
4. Protumjere Cilj: identifikacija protumjera i sustavna prilagodba za konkretne primjene radi sprječavanja pogrešaka.

Tablica 4. . Integracija umjetne inteligencije - koraci

Pristup ovdje opisan ima za cilj premostiti jaz između predviđanja ljudskih pogrešaka u proizvodnji i njihovog smanjenja. To se postiže uvođenjem koncepta holističke metodologije za analizu i podatkovno utemeljeno predviđanje, kao i smanjenje pogrešaka u ručnoj montaži. Primjena ovog pristupa u industriji ima potencijal omogućiti tvrtkama učinkovito sprječavanje pogrešaka.

Ovaj holistički pristup započinje s pojedinačnom prioritizacijom čimbenika relevantnih za pogreške za korisnika i završava sprječavanjem predviđenih pogrešaka. Korištenjem ove metodologije, proizvodne tvrtke mogu postati svjesne potencijalnih pogrešaka prije nego se pojave i stoga poduzeti odgovarajuće protumjere unaprijed. [32]

6.6.3. Korištenje digitalnih blizanaca

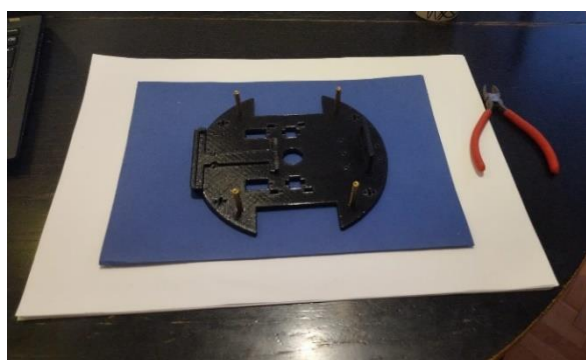
Uvođenje digitalnih blizanaca (digital twins) u proizvodni proces edukacijskih robotskih vozila Joy-Car donosi visoku preciznost i učinkovitost. Stvaranje virtualnih replika vozila omogućuje detaljno praćenje svakog koraka proizvodnje u stvarnom vremenu, uz simulaciju različitih scenarija radi optimizacije procesa prije njihove implementacije. Digitalni blizanci omogućuju praćenje kvalitete, prilagodbu promjenama u dizajnu i učinkovito održavanje putem prediktivne analize. Integriranjem blizanaca u obuku operatera olakšava se razumijevanje procesa rada, a podaci prikupljeni iz njih služe za analizu big data, identifikaciju uzoraka te kontinuirano poboljšanje procesa. Ova sveobuhvatna integracija digitalnih blizanaca, umjetne inteligencije i interneta stvari stvara napredan proizvodni ekosustav, pridonoseći potpunoj optimizaciji proizvodnje i kvalitete vozila Joy-Car.

7. TESTIRANJE I VALIDANCIJA OKRUŽENJA ZA UNAPRJEĐENJE PROIZVODNJE

Kako bi dobili informaciju koliko nam je postignuti proces zadovoljavajuć mora se testirati cjelokupni proces sklapanja zajedno sa svim implementiranim poboljšanjima. U nastavku slijedi proces skalapanja unaprjeđenog sustava:

1. Prvi korak – montiranje distantcera

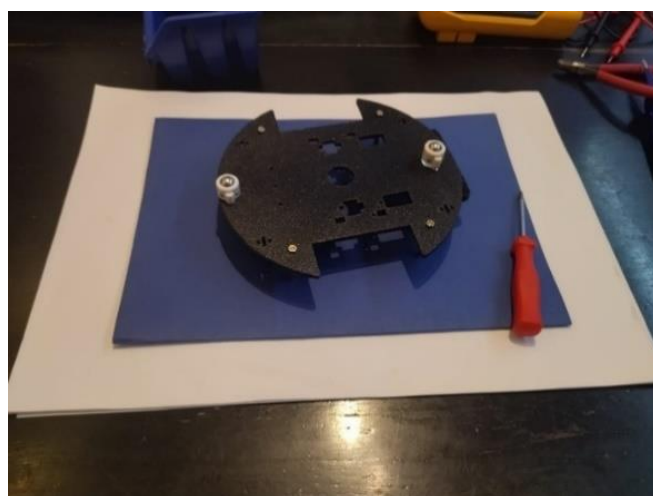
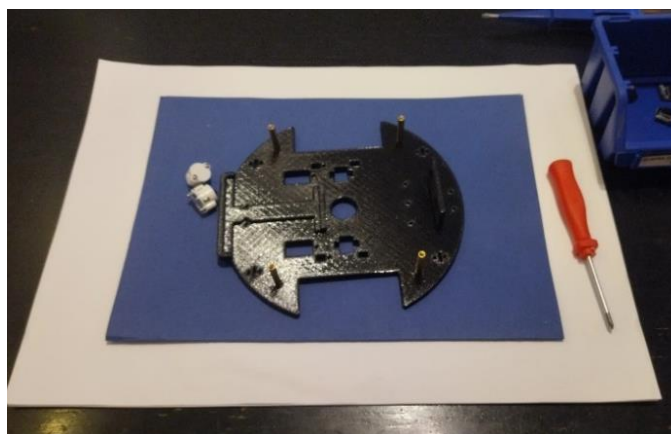
Opis operacije	1. Montiranje 4 distantcer-a (M3 x 30 mm) na podnožje 2. Pričvstiti ih odozdo odgovarajućim maticama (M3)
Vrijeme operacije	50 sekundi
Komponente i količina	Donja glavna ploča Distantceri M3x30 mm – 4 komada Matice M3 – 4 komada
Dodatni komentar i oprema	Implementacijom 5S je olakšano traženje komponenti te boljom istreniranosti operatera je ubrzana operacija



Slika 55. Montiranje distantcera

2. Drugi korak – instalacija kotača sa kuglama

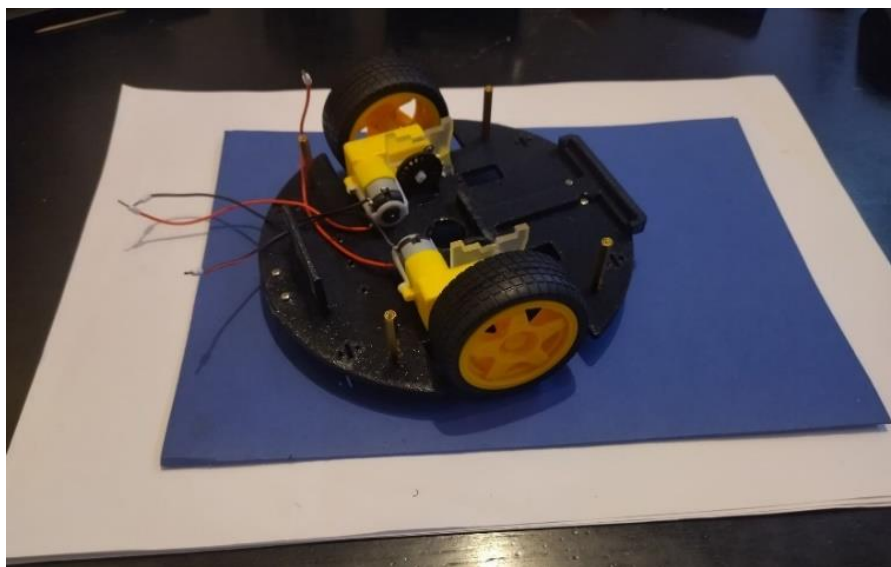
Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montirajte kotače na kuglu na podnožje. Za prednji dio, koristite vijke koji dolaze s kotačem na kugli. 2. Za stražnji dio, koristite vijke M2,5 x 10 mm i dodajte podložak. Pričvrstite kotač zajedno s podloškom.
Vrijeme operacije	120 sekundi
Komponente i količina	Kotač s kugličnim ležajem – 2 komada Podložak – 1 komad Vijak M2,5x10 mm – 2 komada
Dodatni komentar i oprema	Odvijač, kotači osigurani ljepljivom kako nebi ispadali ležajevi



Slika 56. instalacija kotača sa kuglama

3. Instalacija pogonskih sklopa – kotači i motori

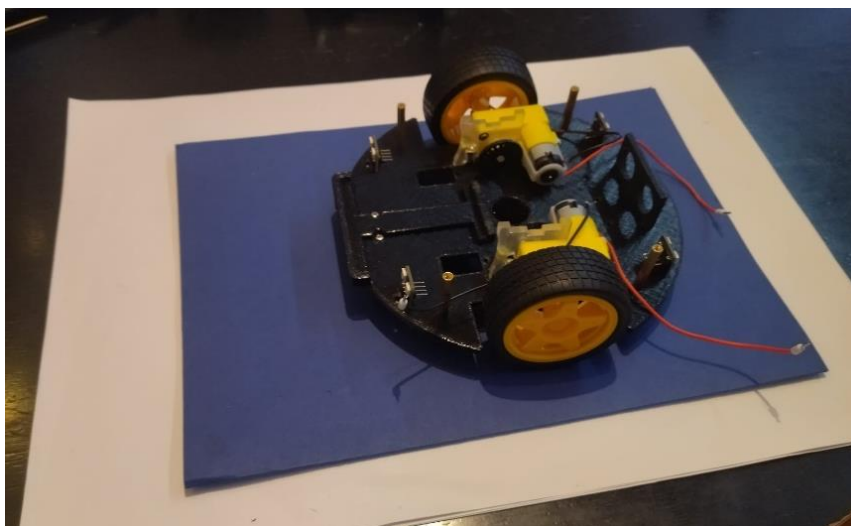
Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stavite oba motora u kanale nosača motora i pričvrstite ih odgovarajućim vijcima (M2.5 x 22 mm) i maticama (M2.5). 2. Dodatno koristite dvije podloške (M2.5) po vijku, jednu na glavi vijka i jednu na kraju vijka. Zatim, postavite crni perforirani disk na unutarnju stranu motora. 3. Sada postavite nosače motora na podnožje. Pričvrstite ih odozdo odgovarajućim vijkom (M3 x 14 mm) i maticom (M3).
Vrijeme operacije	Vrijeme predsklapanja kotača 150 sekundi + 120 sekundi vrijeme ugradnje u sklop
Komponente i količina	Motor -2 komada Kotači – 2 komada Vijak M2.5 x 22 mm – 4 komada Podložak M2.5 – 4 komada Matica M2.5 – 4 komada Perforirani disk – 2 komada
Dodatni komentar i oprema	Odvijač



Slika 57. Instalacija pogonskih sklopova

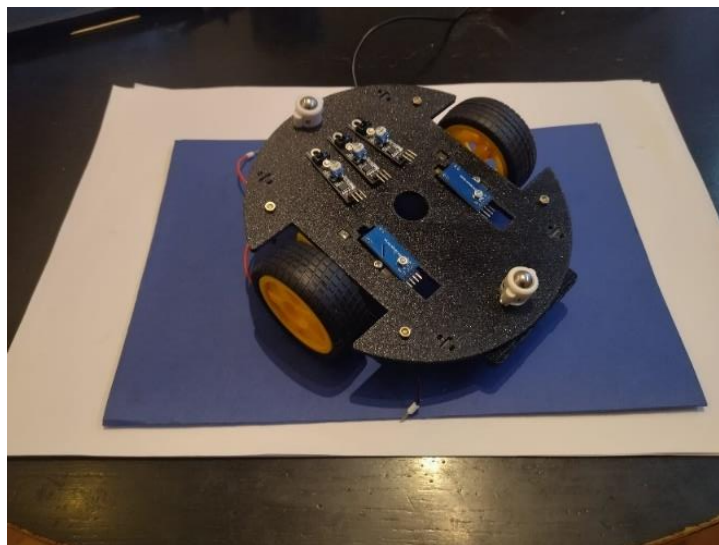
4. Ugradnja svjetala

Opis operacije	1. Umetnuti WS2812B LED module farova u prednji dio podnožja. 2. Ponoviti to za zadnji svijetla.
Vrijeme operacije	180 sekundi
Komponente i količina	LED modul WS2812B LED - 4 komada Plastične vezice – 4 komada
Dodatni komentar i oprema	Kroz unaprjeđeni dizajn omogućeno je da za ugradnju lampica nisu potrebne vezice.

**Slika 58. Ugradanja svjetala**

5. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija

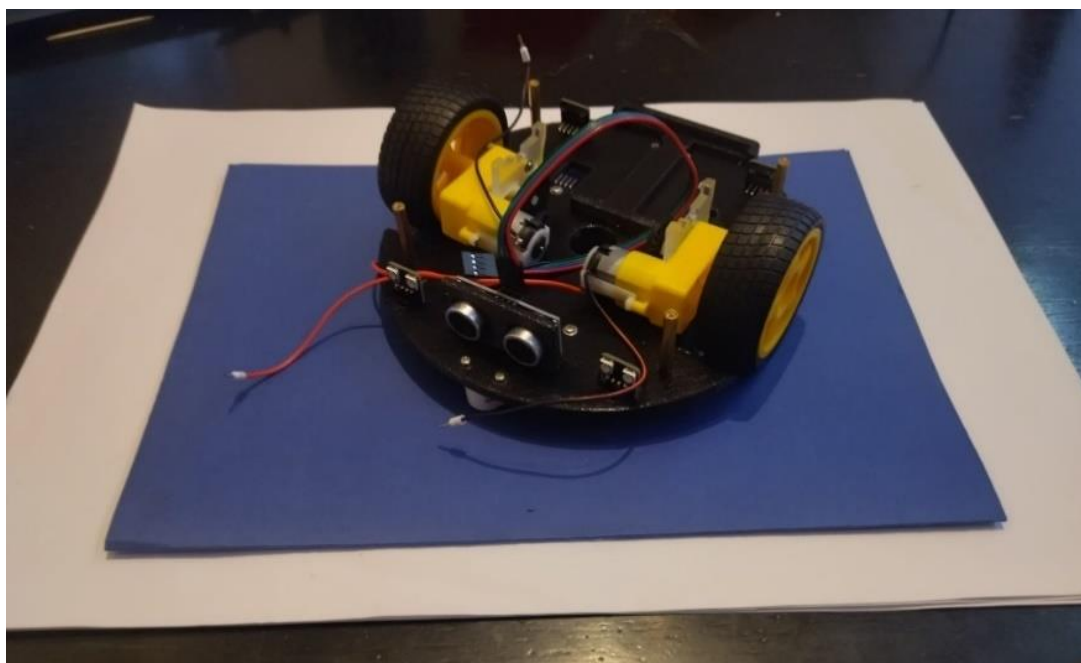
Opis operacije	<p>1. Montirajte senzore praćenja linije na donjoj strani koristeći odgovarajuće vijke (M2,5 x 10 mm) i matice (M2,5). Koristite 2 podloške po vijku (M2,5).</p> <p>2. Umetnite senzore brzine na donju stranu podnožja. Pričvrstite ih odgovarajućim vijcima (M2,5 x 10 mm) i maticama (M2,5). Ponovno koristite 2 ravne podloške (M2,5) po vijku.</p>
Vrijeme operacije	<p>390 sekundi</p>
Komponente i količina	<p>Senzori praćenja linija – 3 komada Senzori brzine – 2 komada M2,5x10 mm – 5 komada M2,5 podloške – 10 komada M2,5 matice – 10 komada</p>
Dodatni komentar i oprema	<p>Odvijač</p>



Slika 59. Ugradnja senzora brzine i praćenja linija

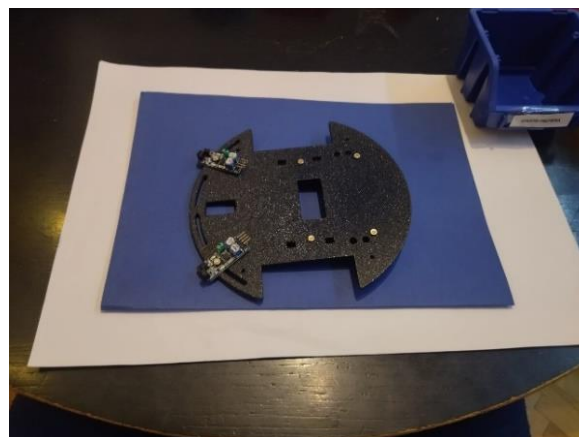
6. Ugradnja ultrasoničnog senzora

Opis operacije	Umetnite ultrazvučni senzor u držač.. Četiri priključna pina trebaju biti okrenuta prema gore. Nije potrebno učvršćivati ljepljom.
Vrijeme operacije	30 sekundi
Komponente i količina	Ultrazvučni senzor - 1 komad
Dodatni komentar i oprema	/

**Slika 60. Ugradnja ultrasoničnog senzora**

7. Slapanje druge glavne ploče

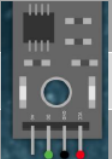





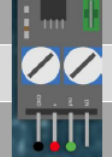





Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> Pričvrstite 4 distancer-a (M2,5 x 10 mm) na šasiju i osigurajte ih odozdo odgovarajućim maticama (M2,5). Montirajte senzore prepreka na donju stranu šasije pomoću odgovarajućih vijaka (M2,5 x 10 mm), podloški i matica (M2,5).
Vrijeme operacije	200 sekundi
Komponente i količina	Distancer M2,5x10mm – 4 komada Matice M2,5 – 4 komada Senzori prepreka- -2 komada Vijak M2,5x10mm – 2 komada Matica 2,5 – 2 komada Podloška 2,5 – 2 komada
Dodatni komentar i oprema	Odvijač

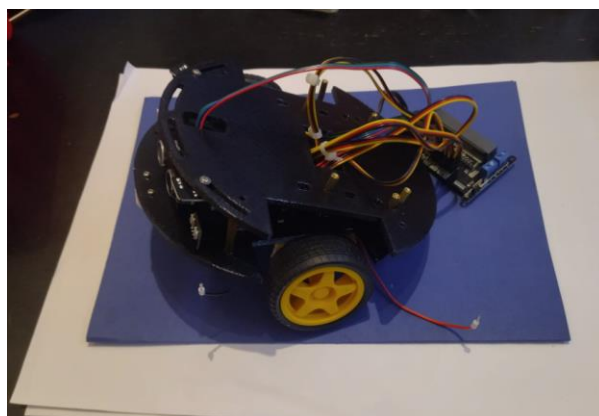


Slika 61. Sklapanje druge glavne ploče

8. Ugradnja ožičenja u sklop

Opis operacije	1. Potrebno je pratiti shemu spajanja pojedinih senzora i elektronskih komponenti s glavnom pločom prema definiranom planu spajanja.
Vrijeme operacije	650
Komponente i količina	Žice iz sklopa, Glavna elektronska ploča
Dodatni komentar i oprema	Spajanje žica u sklop je uvelike unaprijeđeno promjenama u dizajnu te uvođenjem radnih uputa pomoću tablica za spajanje.

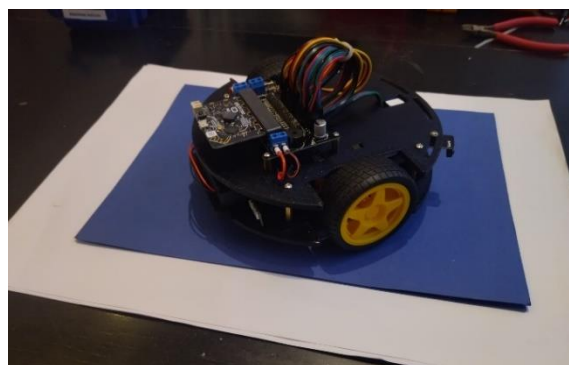
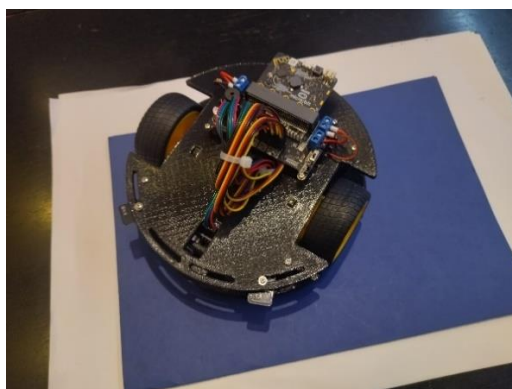
From Speed Sensor	To Mainboard	Color	Gauge	Scheme sensor	Scheme Mainboard
VCC	1	Red	22AWG		
GND	2	Black	22AWG		
DO	3	Yellow	22AWG		
From Obstacle Sensor	To Mainboard	Color	Gauge	Scheme sensor	Scheme Mainboard
GND	1	Black	22AWG		
+	2	Red	22AWG		
out	3	Green	22AWG		



Slika 62. Ugradnja ožičenja u sklop

9. Spajanje glavnih ploča i završetak sklopa

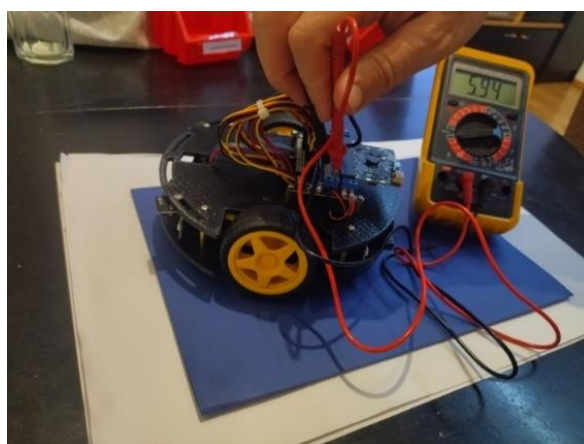
Opis operacije	<ol style="list-style-type: none"> 1. S obzirom da su svi senzori i kablovi instalirani, konačno se može pričvrstiti šasija. Stavite šasiju na vrh baze i pričvrstite je s 4 distancerom koristeći odgovarajuće vijke (M3 x 8 mm). 2. Sada postavite glavnu ploču Joy-Car-a na već postavljene distancere na šasiji i pričvrstite je s 4 odgovarajuća vijka (M2.5 x 5mm). 3. Sada umetnite svoj micro:bit u držače glavne ploče i provjerite jesu li oba gumba okrenuta prema gore
Vrijeme operacije	<p style="text-align: center;">150 sekundi</p>
Komponente i količina	<p style="text-align: center;">Vijak M3 x 8 mm – 4 komada Vijak M2.5x5mm – 4 komada Mikrokontroler micro:bit-1 komad</p>
Dodatni komentar i oprema	<p>Sklop je lakše sklopiti zbog boljeg rasporeda žica u robotu time je rad više ergonomičan i kraće je vrijeme operacije.</p>



Slika 63. Spajanje glavnih ploča i završetak sklopa

10. Kontrola kvalitete (električna i mehanička inspekcija)

Opis operacije	U zadnjem koraku potrebno je da se odradi kako mehanička tako i električna inspekcija. Mehaničkom (vizualnom) inspekcijom će se utrditi da li su sve komponente sjele na svoje ispravno mjesto, dok će se električno ispitivati multimetrom kako bi se dokučilo je li igdje došlo do prekida spoja.
Vrijeme operacije	100 sekundi
Komponente i količina	Multimetar
Dodatni komentar i oprema	/

**Slika 64. Kontrola kvalitete (električna i mehanička inspekcija)**

Sada će proces biti prikazan tablicom plana montaža kao i prije kako bi uočili glavne razlike.:

PLAN MONTAŽE – JOYCAR edukacijsko vozilo				
Oznaka elementa rada	Opis elemenata rada	Ugradbeni element, materijal	Sredstva za montažu, kontrolu i ispitivanje	Vrijeme operacije (sekunde)
ER1	Montiranje distancera	Donja ploča	/	50
ER2	Instalacija kotača sa kuglama	Kotači sa kuglama, podložak	Odvijač	120
ER3	Instalacija pogonskih sklopova - kotači i motori	Motori, podloške, kotači. Nosači motora	Odvijač	270
ER4	Ugradnja svjetala	LED svjetla WS2812B	/	180
ER5	Ugradnja senzora brzine i praćenja linija	Senzori brzine, senzori praćenja linije	Odvijač	390
ER6	Ugradnja ultrasoničnog senzora	Ultrasonični senzor HC-SR04	/	30
ER7	Sklapanje druge glavne ploče	Gornja ploča, distanceri, senzori prepreka	Odvijač	200
ER8	Ugradnja ožičenja u sklop	Žice 22AWG	Radne upute	650
ER9	Spajanje glavni ploča I završetak sklopa	Vijci M2.5x5 mm	Odvijač	150
ER10	Kontrola kvalitete (električna i mehanička inspekcija)	/	Multimetar	100

Tablica 5. Plan montaže poboljšanog procesa

8. USPOREDBA PROCESA

Glavke cilj kreiranja okruženja bi bio kreiranje sustava koji u odnosu na prvotni sustav je unaprijediti glavne pokazatelje uspješnosti u procesu proizvodnje kao što su: učinkovitost, produktivnost, kvaliteta, smanjenje defektnih dijelova, smanjenje troškova, integracija tehnologije i slično.

8.1. Učinkovitost i produktivnost

U procesu evaluacije i poboljšanja proizvodnog postupka sastavljanja malih edukativnih robotskih vozila, ključno je usredotočiti se na mjerenje vremena potrebnog za sastavljanje svake pojedine jedinice u početnom postupku te temeljito usporediti te rezultate s vremenom sastavljanja u okviru poboljšanog procesa. Cilj je pronaći načine kako optimizirati i smanjiti vrijeme sastavljanja bez narušavanja kvalitete proizvoda. Ova usporedba omogućuje identifikaciju specifičnih faza ili koraka u postupku koje je moguće optimizirati ili automatizirati kako bi se ubrzao proces, uz istovremeno osiguranje visoke razine kvalitete krajnjeg proizvoda. Utvrđivanje efikasnih strategija za smanjenje vremena sastavljanja može značajno doprinijeti povećanju ukupne produktivnosti proizvodnog sustava.

PROCES PRIJE UNAPRJEDENA			PROCES NAKON IMPLEMENTACIJE UNAPRJEDENJA		
Broj operacije	Opis procesa	Vrijeme ciklusa operacije	Broj operacije	Opis procesa	Vrijeme ciklusa operacije
1	Montiranje distancera	80	1	Montiranje distancera	50
2	Montiranje nosača ultrazvučnog senzora i nosača baterije	170	2	Instalacija kotača s kuglama	120
3	Montiranje kotača sa kuglama	120	3	Instalacija pogonskih sklopa – kotači i motori	270
4	Predsklapanje kotača i ugradnja u glavni sklop	360	4	Ugradnja svjetala	180
5	Ugradnja svjetala	180	5	Ugradnja senzora brzine i praćenja linija	390
6	Ugradnja senzora brzine i praćenja linija	480	6	Ugradnja ultrasoničnog senzora	30
7	Ugradnja US senzora	30	7	Sklopavanje druge glavne ploče	200
8	Sklopavanje druge glavne ploče	240	8	Ugradnja ožičenja u sklop	650
9	Ugradnja ožičenja u sklop	1200	9	Spajanje glavnih ploča i završetak sklopa	150
10	Spajanje gornje ploče i ugradnja mikrokontrolera	200	10	Kontrola kvalitete (električna i mehanička inspekcija)	100
Ukupno vrijeme sklapanja robota		3060	Ukupno vrijeme sklapanja robota		2090

Tablica 6. Usporedba procesa

Iz analize vremena pojedinih operacija te ukupnog vremena sklapanja robotskog vozila ključno je zaključiti kako se ukupno vrijeme sklapanja smanjilo sa 3060 na 2090 sekundi. To je značajno unaprjeđenje te predstavlja smanjenje vremena izrade za više od 30 posto. Mjerili smo vrijeme potrebno za sastavljanje svake jedinice u početnom procesu te ga usporedili s poboljšanim procesom koji se oslanja na niz tehnoloških unaprjeđenja, uključujući Lean alate, Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) principe, te standardizirane radne postupke. Implementacijom Lean alata, optimizirali smo tokove rada i eliminirali nepotrebne korake, što je rezultiralo značajnim smanjenjem vremena sastavljanja. Kroz Design for Manufacturing and Assembly pristup, prilagodili smo dizajn vozila kako bi se olakšala proizvodnja, smanjili sklopovi i pojednostavili montaža, što je dodatno doprinijelo smanjenju vremena sastavljanja. Uvođenjem standardiziranih radnih postupaka osigurali smo dosljednost u izvođenju zadataka, eliminirajući varijacije i olakšavajući obuku radnika. Svi ovi elementi su se združili kako bi značajno smanjili ukupno vrijeme sastavljanja vozila sa 3060 na 2090 sekundi.

Ove uštede ne samo da pozitivno utječu na brzinu proizvodnje već i na cijeli proces. Manje vrijeme sastavljanja znači manje potrošenih resursa, uključujući radnu snagu i energiju. Učinkovitiji proces također smanjuje troškove proizvodnje, povećava kapacitet proizvodnje, i omogućuje brže odgovaranje na potrebe tržišta. Kvaliteta proizvoda ostaje nepokolebljiva jer su unaprjeđenja usmjerena na eliminaciju gubitaka i povećanje efikasnosti. Sve ove promjene zajedno doprinose održivoj i konkurentnoj proizvodnji.

8.2. Smanjenje grešaka (defektnih dijelova)

U okviru unaprjeđenja proizvodnog procesa, posebno smo se fokusirali na smanjenje količine otpada i broja defektnih dijelova. Ova poboljšanja izravno proizlaze iz optimizacije dizajna, čime se smanjuje mogućnost oštećenja električnih komponenti tijekom sastavljanja.

Prilagodbom geometrije kućišta električnih komponenti u skladu s Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) principima postigli smo precizniju montažu, čime smo smanjili rizik od mehaničkih stresova i oštećenja tijekom procesa montaže.

Dodatno, implementirali smo standardizaciju radnih postupaka i edukaciju zaposlenika kako bismo osigurali dosljednost u izvođenju zadataka. Ovo je rezultiralo povećanjem stručnosti radne snage, smanjenjem ljudskih grešaka te poboljšanjem općeg kvaliteta proizvodnje.

Kvantificirajući ove promjene, prije unaprjeđenja, imali smo prosječno 10% defektnih dijelova koji su zahtijevali popravke ili zamjenu. Nakon implementacije unaprjeđenja dizajna,

standardizacije rada i obuke zaposlenika, taj se postotak smanjio na manje od 2%, što znači smanjenje broja defektnih dijelova za 80%.

Osim smanjenja potrebe za popravcima i smanjenja otpada, ova kombinacija mjera također je rezultirala smanjenjem viška materijala koji se koristi u proizvodnom procesu. To direktno pridonosi smanjenju ukupnog otpada i troškova proizvodnje.

Ove promjene nisu samo tehnološke prirode; one odražavaju našu predanost održivoj proizvodnji, kontinuiranoj edukaciji zaposlenika i stalnom usavršavanju kako bismo osigurali visoku kvalitetu proizvoda uz optimalno iskorištavanje resursa.

8.3. Analiza troškova

Ključna promjena ovog procesa je bila uvođenje tehnologije 3D printanja. Tim pristupom smanjeni su koraci montaže te time smanjeni troškovi operatera. Bilo bi korisno u daljnjim koracima proučiti isplativost nabavke 3D printera ukoliko bi se išlo u velikoserijsku proizvodnju, ali također razmotriti i nabavku gotovih 3D printanih dijelova od vanjskih dobavljača.

U procesu temeljite analize troškova za oba proizvodna procesa, pažljivo su proučeni izravni i neizravni troškovi povezani s proizvodnjom opisanog robota.

Što se tiče izravnih troškova, detaljno su analizirane cijene materijala, uključujući elektroničke komponente, kućišta i ostale dijelove robota. Nabavne cijene materijala bile su predmet pažljive evaluacije, s naglaskom na identificiranju mogućnosti optimizacije nabavke kako bi se smanjili troškovi materijala, istovremeno očuvavajući kvalitetu proizvoda. Isto tako, proučeni su troškovi rada, uključujući plaće radnika uključenih u proces sastavljanja.

U analizi neizravnih troškova razmatrani su opći troškovi, poput administrativnih troškova, održavanja opreme i ostalih neizravnih faktora koji mogu utjecati na ukupne troškove proizvodnje. Efikasnost održavanja opreme uspoređena je između oba procesa kako bi se identificirala područja za moguća poboljšanja.

Ovim analitičkim pristupom identificirane su specifične točke gdje se mogu implementirati promjene koje će rezultirati smanjenjem troškova proizvodnje. Primjerice, primjenom Lean principa ostvareno je efikasnije korištenje resursa, smanjenje vremena montaže i, kao posljedica, smanjenje troškova rada.

Osim kvantificiranja ušteda u troškovima, naglašeno je kako su ove promjene podržale očuvanje ili poboljšanje kvalitete samog robota. Kontinuirana standardizacija radnih postupaka,

edukacija zaposlenika i optimizacija procesa odražavaju predanost postizanju optimalnog balansa između visoke kvalitete proizvoda i ekonomske efikasnosti.

8.4. Integracija tehnologije

U procesu razmatranja unapređenja montaže robota, istražuju se mogućnosti uvođenja tehnoloških inovacija radi potencijalnog poboljšanja učinkovitosti i kvalitete proizvodnje. Planira se implementacija automatizacije, umjetne inteligencije (AI), strojnog vida te integracije Interneta stvari (IoT) kako bi se ostvario napredak u sljedećim područjima:

Automatizacija će omogućiti robotima autonomno izvršavanje preciznih zadataka, poput postavljanja sitnih komponenata, čime bi se smanjila potreba za ljudskom intervencijom. Ovaj pristup ima potencijal ubrzati proces montaže i smanjiti pogreške.

Implementacija AI sustava doprinijet će analizi podataka o performansama proizvodnje, što omogućuje prediktivno održavanje i potencijalno povećava dostupnost opreme. Strojni vid planira se integrirati kako bi roboti precizno prepoznavali i pozicionirali dijelove tijekom montaže, uz mogućnost visokokvalitetne inspekcije proizvoda radi otkrivanja i ispravljanja eventualnih nedostataka.

Dodatno, planira se **IoT** povezivanje komponenata robota kako bi se omogućilo praćenje performansi u stvarnom vremenu te prikupljanje podataka o temperaturi, brzini i drugim parametrima. Ova kontinuirana analiza imat će potencijal omogućiti brzu reakciju i optimizaciju procesa.

Ove tehnološke inovacije razmatraju se kao temelj za stvaranje pametnijeg, prilagodljivijeg i održivijeg proizvodnog okruženja. Planira se integracija ovih tehnologija kako bi se stvorila konkurentna prednost na dinamičnom tržištu.

9. ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje temeljito je analiziralo i primijenilo različite strategije, alate i tehnologije kako bi unaprijedilo proizvodne procese u industriji. Fokus je bio na konceptima lean menadžmenta, industrije 4.0, te primjeni tehnoloških inovacija poput Interneta stvari (IoT), umjetne inteligencije (AI), 3D printanja i digitalnih blizanaca. Kroz usporedbu postojećih platformi i softverskih rješenja identificirane su prednosti i nedostaci, a razvijen je primjer okruženja za unaprjeđenje proizvodnje.

Implementacijom Lean alata postignuto je značajno smanjenje vremena sastavljanja, što je rezultiralo povećanjem efikasnosti proizvodnog procesa za više od 30%. Korištenjem principa Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) prilagođen je dizajn vozila radi olakšavanja proizvodnje, što je rezultiralo smanjenjem broja defektnih dijelova za 80%. Standardizirani radni postupci osigurali su dosljednost u izvođenju zadataka, eliminirajući varijacije i poboljšavajući kvalitetu proizvoda.

Smanjenjem grešaka, optimizacijom procesa i povećanjem stručnosti radne snage postignute su ne samo financijske uštede, već su doprinijele i održivosti proizvodnje. Ove promjene nisu samo tehnološke prirode, već odražavaju posvećenost održivoj proizvodnji, kontinuiranoj edukaciji zaposlenika i stalnom usavršavanju kako bi se postigla visoka kvaliteta proizvoda uz optimalno iskorištavanje resursa.

Također, predložena su potencijalna rješenja u smislu pametnih tehnologija, poput integracije umjetne inteligencije, Interneta stvari i automatiziranih robotskih sustava. Ova rješenja mogla bi dodatno unaprijediti efikasnost i produktivnost sustava te povećati konkurentnost na suvremenom tržištu.

Ukupno, predloženo okruženje za unaprjeđenje proizvodnje ne samo da je efikasno smanjilo vrijeme i greške u procesu, već je i stvorilo temelje za konkurentnu, održivu i visokokvalitetnu proizvodnju. Implementacija ovakvih strategija ključna je u suočavanju s izazovima industrije, osiguravajući da tvrtke ostanu konkurentne, prilagodljive i usmjerene prema budućnosti.

LITERATURA

- [1] <https://theleanway.net/what-is-lean> , pristupljeno 30.9.2023.
- [2] <https://corporate.ford.com/articles/history/moving-assembly-line.html>, pristupljeno 30.9.2023.
- [3] <https://corporate.ford.com/articles/history/the-model-t.html>, pristupljeno 30.9.2023.
- [4] <https://www.biography.com/business-leaders/henry-ford>, pristupljeno 30.9.2023.
- [5] <https://clickamericana.com/topics/culture-and-lifestyle/cars-trucks/see-ford-assembly-lines-from-100-years-ago-mass-producing-model-t-cars>, pristupljeno 30.9.2023.
- [6] <https://www.lean.org/explore-lean/a-brief-history-of-lean/>, pristupljeno 30.9.2023.
- [7] The Origins and Evolution of Lean management System, Łukasz Dekier
- [8] https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/, pristupljeno 1.10.2023.
- [9] Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation, James P.Womack, Daniel T. Jones, 2003.
- [10] Predavanja Lean proizvodnja, Prof. Dr.sc. Nedeljko Štefanić, Nataša Tošanović, pristupljeno 1.10.2023.
- [11] <https://www.kanbanchi.com/what-is-kaizen>, pristupljeno 1.10.2023.
- [12] <https://www.6sigma.us/six-sigma-articles/understanding-5s-of-kaizen/>, pristupljeno 1.10.2023.
- [13] <https://businessmap.io/lean-management/improvement/what-is-kaizen>, pristupljeno 1.10.2023
- [14] <https://www.5stoday.com/what-is-5s/>, pristupljeno 1.10.2023
- [15] <https://www.forbes.com/advisor/business/software/what-is-kanban-board/>, pristupljeno 1.10.2023.
- [16] Toyota Production System: Beyond large-scale production, Taiichi Ohno, 2001.
- [17] <https://www.rnaautomation.com/insight/poka-yoke-in-manufacturing/>, pristupljeno 5.10.2023.
- [18] <https://pdcahome.com/english/124/poka-yoke-a-method-to-create-a-safe-design/>, pristupljeno 5.10.2023
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Value-stream_mapping, pristupljeno 6.10.2023
- [20] <https://hrcak.srce.hr/file/281554>, pristupljeno 10.10.2023
- [21] <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>, pristupljeno 10.10.2023.

- [22] <https://medium.com/@kunalmohta/what-is-meant-by-the-term-internet-of-things-iot-287cfc233865>, pristupljeno 20.10.2023.
- [23] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20200827STO85804/sto-je-umjetna-inteligencija-i-kako-se-upotrebljava>, pristupljeno 20.10.2023.
- [24] <https://towardsdatascience.com/how-can-artificial-intelligence-be-applied-in-manufacturing-8662eaaea999>, pristupljeno 20.10.2023.
- [25] <https://www.wevolver.com/article/robots-in-the-manufacturing-industry-types-and-applications>, pristupljeno 20.10.2023
- [26] <https://hrcak.srce.hr/file/413198>, pristupljeno 20.10.2023
- [27] <https://www.engineering.com/story/ep2-my-other-car-is-a-digital-twin>, pristupljeno 20.10.2023.
- [28] <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/fusion-360-additive-manufacturing-3d-printing-capabilities/>, pristupljeno 20.10.2023.
- [29] https://www.ibm.com/topics/mes-system?fbclid=IwAR0wgGYAn-gHlqSWqp0riXi0ZCYXbO_fwyeSi-A3Nih8YsVpg9xDTqaCnRY, pristupljeno 20.10.2023.
- [30] <https://joycar.joy-it.net/en/>, pristupljeno 5.11.2023.
- [31] <https://www.solidworks.com/media/solidworks-3d-cad-top-enhancements-2023>, pristupljeno 26.11.2023.
- [32] Concept of a data-based approach for the prediction and reduction of human errors in manual assembly - Bjoern Klages, Michael Zaeh, 2023.
- [33] <https://www.ultralibrarian.com/2021/05/04/the-importance-of-testing-electronic-components-ulg>, pristupljeno 20.11.2023.