

# Metode industrijskog inženjerstva

---

**Pongrac, Antun Stjepan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:235:404091>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Antun Stjepan Pongrac**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Antun Stjepan Pongrac

Zagreb, 2017.

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

Zahvaljujem se svojem mentoru prof.dr.sc. Nedeljku Štefaniću i asistentu Miri Hegediću na pruženoj stručnoj pomoći pri izradi završnog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i Jurici Juriši na pruženoj pomoći i podršci.

Antun Stjepan Pongrac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ANTUN-STJEPAN PONGRAC**

Mat. br.: **0035194787**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **METODE INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **INDUSTRIAL ENGINEERING METHODS**

Opis zadatka:

Industrijsko inženjerstvo je inženjerska grana koja se bavi projektiranjem složenih sustava, njihovom implementacijom i unapređivanjem. Pojavilo se početkom dvadesetog stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama i do danas je razvijen veliki broj metoda, koncepata, metodologija i alata koji se vrlo uspješno primjenjuju i u proizvodnim i uslužnim poduzećima (proizvodnja, banke, bolnice, škole, osiguravajuća društva, javna uprava). Industrijsko inženjerstvo ima za cilj iznaći nove pristupe za smanjenje troškova i povećanje efikasnosti proizvodnih i poslovnih procesa kroz integralni pristup upravljanju resursima poduzeća (zaposlenici, strojevi, energija, informacije).

U radu je potrebno:

- definirati pojam Industrijskog inženjerstva te opisati njegov razvoj kroz povijest
- sistematizirati područja primjene Industrijskog inženjerstva
- sistematizirati metode Industrijskog inženjerstva
- na proizvoljno odabranom proizvodu ili usluzi primijeniti metode Industrijskog inženjerstva
- ocijeniti postignute rezultate

Zadatak zadan:  
30. studenog 2016.

Rok predaje rada:  
**1. rok:** 24. veljače 2017.  
**2. rok (izvanredni):** 28. lipnja 2017.  
**3. rok:** 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 27.2. - 03.03. 2017.  
**2. rok (izvanredni):** 30. 06. 2017.  
**3. rok:** 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Nedeljko Štefanić

v.d. predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. POJAM I RAZVOJ KROZ POVIJEST INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA .....	2
2.1. Pojam Industrijskog inženjerstva .....	2
2.2. Razvoj Industrijskog inženjerstva kroz povijest .....	2
2.2.1. Industrijska revolucija.....	2
2.2.2. Fokus na troškove .....	3
2.2.2.1. Rani koncepti .....	3
2.2.2.2. Znanstveni menadžment .....	5
2.2.2.3. Era masovne proizvodnje.....	7
2.2.3. Fokus na kvalitetu .....	8
2.2.4. Fokus na kupca .....	10
3. PODRUČJA PRIMJENE INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA .....	12
4. METODE INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA .....	16
4.1. Linearno programiranje.....	16
4.2. Nelinearno programiranje .....	16
4.3. Dinamičko programiranje .....	17
4.4. Heurističko programiranje .....	18
4.5. Tehnike mrežnog planiranja.....	18
4.5.1. Metoda kritičnog puta (CPM – Critical Path Method) .....	18
4.5.2. Tehnika praćenja i pregleda projekta (PERT – Project Evaluation and Review Technique) .....	19
4.5.3. Gantogrami .....	20
4.6. Teorije repova .....	20
4.7. Upravljanje zalihama .....	20
4.8. Simulacije.....	21
4.9. Studij rada i vremena .....	21
4.10. Kontinuirano unapređenje – Kaizen .....	22
4.11. Procesni pristup.....	23
4.11.1. Lean proizvodnja .....	23
4.11.2. Reinženjering poslovnih procesa .....	25
4.12. Statističko upravljanje kvalitetom.....	26
4.12.1. Six sigma.....	26
4.12.2. Dijagrami toka, Pareto dijagrami .....	27
4.12.3. Kontrolne karte .....	28
4.12.4. Dijagrami uzroka i posljedica .....	28
4.13. Metode prognoziranja i predviđanja .....	29
4.13.1. Delfi metoda.....	29

---

4.13.2. Metode vremenskih serija .....	29
4.13.3. Metode regresije.....	30
4.14. Metode odlučivanja.....	30
4.14.1. Max-Min, Max-Max, i Min-Max kriteriji.....	30
4.14.2. LaPlaceov kriterij.....	30
4.14.3. Stablo odlučivanja.....	31
4.14.4. Analiza osjetljivosti .....	31
4.15. Metode generiranja ideja.....	32
4.15.1. Brainstorming .....	32
4.15.2. Dijagram afiniteta .....	32
4.15.3. Krugovi kvalitete .....	32
4.15.4. Intervjui.....	33
4.15.5. Benchmarking .....	33
4.15.6. 5W 2H.....	33
5. PRIMJENA METODA INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA U FSB RACING TEAMU	
34	
5.1. Formula Student.....	34
5.2. Povijest FSB Racing Teama .....	35
5.3. Struktura tima.....	36
5.4. Analiza stanja .....	36
5.5. Rješenja problema korištenjem metoda Industrijskog inženjerstva.....	37
5.5.1. Dijagrami toka .....	37
5.5.2. Gantogram.....	40
5.5.3. Kanban .....	41
6. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46
PRILOZI.....	49

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Parni stroj Jamesa Watta [2].....	3
Slika 2.	Adam Smith [3] .....	4
Slika 3.	Eli Whitney [4].....	5
Slika 4.	Frederick W. Taylor [5].....	6
Slika 5.	Lillian i Frank Gilbreth [6] .....	6
Slika 6.	Henry Gantt [7] .....	7
Slika 7.	Henry Ford i automobil Model T [8].....	7
Slika 8.	Walter A. Shewhart [9] .....	8
Slika 9.	Proizvodni pogon Toyote [10] .....	9
Slika 10.	Prikaz ERP strukture [13].....	10
Slika 11.	Primjer CPM dijagrama.....	19
Slika 12.	Primjer gantograma paralelnog ciklusa proizvodnje [20] .....	20
Slika 13.	Primjer mape toka vrijednosti [29].....	25
Slika 14.	Dijagram toka procesa proizvodnje aluminijske [31].....	27
Slika 16.	Primjer dijagrama uzroka i posljedica.....	29
Slika 17.	Shema stabla odlučivanja [37] .....	31
Slika 18.	Bolid Arctos .....	35
Slika 19.	Bolid Strix – trenutni projekt FSB Racing Teama .....	35
Slika 20.	Sučelje programa Camunda Modeler .....	37
Slika 21.	Dijagram toka razvoja dijelova bolida .....	38
Slika 22.	Dijagram toka proizvodnje dijelova bolida .....	38
Slika 23.	Dijagram toka modeliranja dijelova bolida .....	39
Slika 24.	Dijagram toka traženja sponzora .....	40
Slika 25.	Sučelje programa GanttProject.....	41
Slika 26.	Ploče stvorene na stranici Trella .....	42
Slika 27.	Prikaz ploče vezane uz izradu pogonskog sustava bolida.....	43
Slika 28.	Prikaz kartice 1 .....	43
Slika 29.	Prikaz kartice 2 .....	44



---

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Six sigma strategije, principi, alati i tehnike [30].....	27
Tablica 2. Značenje 5W 2H [1] .....	33
Tablica 3. Popis podtimova FSB Racing Teama i sažeti opis njihovih djelatnosti.....	36

---

**SAŽETAK**

Ovaj rad opisuje metode Industrijskog inženjerstva te područja njihove primjene. Nakon kratkog uvoda opisan je pojam Industrijskog inženjerstva te njegov razvoj kroz povijest. U trećem poglavlju sistematizirana su područja primjene Industrijskog inženjerstva. U četvrtom poglavlju sistematizirane su i opisane najčešće korištene metode Industrijskog inženjerstva. U petom poglavlju dokumentiran je praktični dio ovoga rada koji se odnosi na primjenu metoda Industrijskog inženjerstva u studentskoj udruzi. U prilogu I nalazi se gantogram izrađen za potrebe te udruge.

Ključne riječi: metode Industrijskog inženjerstva; područja primjene Industrijskog inženjerstva; povijesni razvoj Industrijskog inženjerstva

---

**SUMMARY**

This undergraduate thesis describes methods of Industrial engineering and areas of their application. After a short introduction, the thesis describes the term of Industrial engineering and its development through history. In the third chapter the application areas of Industrial engineering are systematized. In the fourth chapter the most commonly used methods of Industrial engineering are systematized and described. In the fifth chapter the practical part of this thesis which refers to the application of methods of Industrial Engineering in the student association is documented. Appendix I presents the gantt chart made for needs of this association.

Key words: methods of Industrial engineering; application areas of Industrial engineering; development of Industrial engineering through history

## **1. UVOD**

Industrijsko inženjerstvo je profesija nastala u kasnom 19. stoljeću kojoj su rast omogućili zahtjevi i izazovi u proizvodnji, vođenju država te uslužnim djelatnostima kroz 20. stoljeće. Također, to je profesija čija budućnost ne ovisi samo o sposobnosti njezinih praktikanata da olakšaju i reagiraju na operacijske i organizacijske promjene, nego na njihovoj sposobnosti da sami predvide i vode proces promjene.

Povjesni događaji koji su doveli do stvaranja Industrijskog inženjerstva pružaju značajan uvid u mnoge principe koji su dominirali u njegovoj praksi i razvoju kroz prvu polovicu 20. stoljeća. Dok ti principi i dalje utječu na profesiju, mnoga konceptualna i tehnološka otkrića koja trenutno čine i oblikuju praksu ove profesiju su nastala u drugoj polovici 20. stoljeća.

Industrijsko inženjerstvo nudi priliku za rad u raznim vrstama poduzeća. Kako se skoro sva poduzeća orijentiraju na menadžerske principe koji poboljšavaju produktivnost i kvalitetu, potreba za industrijskim inženjerima raste. Naime, industrijski inženjeri su jedini profesionalni inženjeri obučeni isključivo kao specijalisti za poboljšanje produktivnosti i kvalitete.

Kroz povijest se razvio velik broj metoda Industrijskog inženjerstva, gdje će u nastavku rada biti opisane neke od najčešće korištenih. Velik broj tih metoda ima matematičke i statističke temelje, dok su neke produkt logičkog menadžerskog razmišljanja.

Kako bi dokazali da je zanimanje industrijskog inženjera širokopojasno, u 5. poglavlju je opisana primjena metoda Industrijskog inženjerstva kod rješavanja problema provođenja projekta u studentskoj udruzi.

## **2. POJAM I RAZVOJ KROZ POVIJEST INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA**

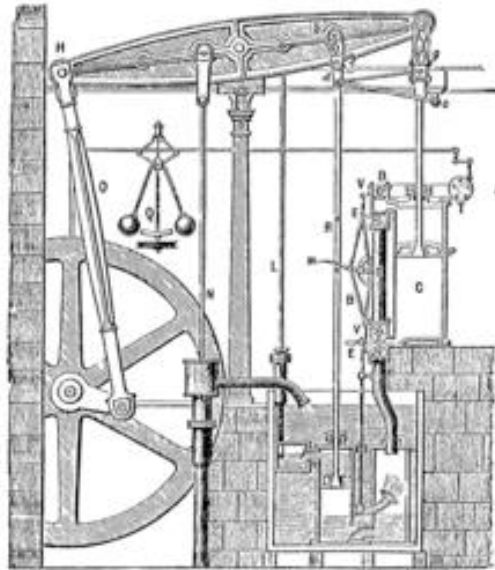
### **2.1. Pojam Industrijskog inženjerstva**

Definicija Industrijskog inženjerstva, koja se i danas koristi, usvojena je od strane Američkog Instituta Industrijskih Inženjera 60-ih godina 20. stoljeća te glasi: „Industrijsko inženjerstvo se bavi projektiranjem, unapređivanjem i implementacijom integriranih sustava ljudi, materijala, opreme i energije. Oslanja se na specijalizirana znanja i vještine u matematičkim, prirodnim i društvenim znanostima zajedno s principima i metodama inženjerske analize i projektiranja kako bi se odredili, predvidjeli i procijenili rezultati koji će biti dobiveni iz tih sustava.“[1]

### **2.2. Razvoj Industrijskog inženjerstva kroz povijest**

#### ***2.2.1. Industrijska revolucija***

Iako se povjesničari znanosti i tehnologije neprestano svađaju oko toga kad je industrijsko inženjerstvo zapravo nastalo, prihvaćen je generalni konsenzus da su empirički korijeni te profesije nastali pojavom Industrijske revolucije u Engleskoj sredinom 18. stoljeća. Događaji tokom te ere su dramatično izmjenili proizvodne prakse i poslužili kao geneza za mnoge koncepte koji su utjecali na pojavu znanstvenog područja industrijskog inženjerstva u sljedećem stoljeću. Izumi poput parnog stroja Jamesa Watta uvelike su doprinjeli slobodi lokacije industrijskih postrojenja i industrijske organizacije. Također, smanjili su se troškovi proizvodnje, a time i cijene proizvoda, što je dovelo do povećanja tržišta. Olakšavajući ulaganje kapitala u rad, te inovacije su omogućile masovnu proizvodnju u centraliziranim lokacijama. Koncept proizvodnih sustava, koji čini jezgru moderne prakse i istraživanja industrijskog inženjerstva, ima svoju genezu u tvornicama koje su nastale kao rezultat inovacija te ere. [1]



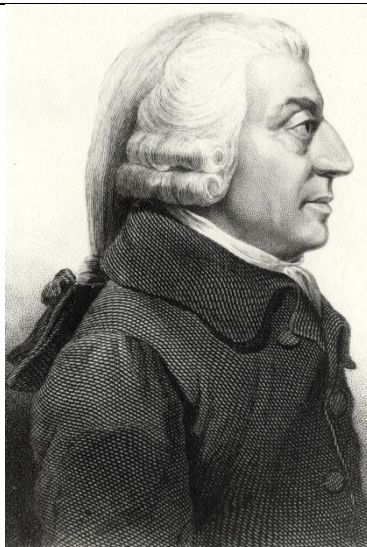
Slika 1. Parni stroj Jamesa Watta [2]

### 2.2.2. Fokus na troškove

Menadžment je u razdoblju od 1776. do 1980. godine pretežito bio fokusiran na troškove. Ovo razdoblje razvoja industrijskog inženjerstva možemo podijeliti na 3 ere: rani koncepti, znanstveni menadžment te era masovne proizvodnje. [40]

#### 2.2.2.1. Rani koncepti

Ova era trajala je od 1776. do 1880. godine. Najznačajniji koncepti koji su obilježili ovu eru su specijalizacija radne snage te standardizirani dijelovi. Koncepti koje je prezentirao Adam Smith u svom djelu „Bogatstvo naroda“ (eng. *The Wealth of Nations*) čine temelje teorije i prakse industrijskog inženjerstva. Podjela rada i „nevidljiva ruka“ kapitalizma, koje je prezentirao u svojem djelu, poslužili su kao motivacija mnogih inovatora Industrijske revolucije da osnuju i primjene proizvodne sustave. [1]



**Slika 2. Adam Smith [3]**

Jedan od primjera je Arkwrightova implementacija sustava menadžmenta kontrole za regulaciju proizvodnje i izlaznog produkta zaposlenih. Također, Watt se poslužio Smithovim konceptima te zajedno sa svojim suradnikom, Matthewom Boultonom, izgradio vrlo dobro organiziranu tvornicu parnih strojeva. Bila je to prva tvornica integriranih strojeva na svijetu, a koristili su koncepte kao što su sustav kontrole troškova projektiran tako da smanjuje otpad i poboljšava produktivnost te školu za obučavanje zanatlija. Charles Babbage je također bio jedan od velikih doprinositelja razvoju industrijskog inženjerstva iz te ere. Svoje djelo „O ekonomiji strojeva i proizvodnje“ je napisao na temelju iskustva koje je dobio posjećujući tvornice u Engleskoj i SAD-u. Knjiga uključuje teme kao što su vrijeme potrebno za svladavanje određenog zadatka, posljedice podjele zadataka na manje i manje detaljne elemente, vrijeme i uštede na troškovima povezane s promjenom jednog zadatka na drugi te prednosti dobivene uvođenjem ponavljajućih zadataka. Babbage tako proširuje djelo Adama Smitha o podjeli rada pokazujući da se novac može uštedjeti dodjelom manje zahtjevnih operacija manje plaćenim radnicima te da se više plaćenim iskusnim radnicima dodjeluju samo visoko zahtjevne operacije. U svom djelu također raspravlja o visini plaća, problemima vezanim uz raspodjelu profita te idejama vezanim uz organizaciju rada i radnih odnosa. Drugi važan koncept vezan uz ovu eru jest standardizacija dijelova koji je predstavili Eli Whitney i Simeon North kroz proizvodnju puški i pištolja za vladu Sjedinjenih Američkih Država. Prije uvođenja standardiziranih dijelova, sve elemente nekog proizvoda je proizvodio i sklapao jedan majstor. Unutar Whitneyjevog sistema, pojedinačni dijelovi su se masovno proizvodili u tolerancijama, dovoljno uskim za sklapanje bilo kojeg proizvoda. Rezultat je bilo značajno smanjenje specijaliziranih znanja radnika, što je konačno dovelo do industrijskog okruženja, predmeta istraživanja Fredericka W. Taylora. [1]



Slika 3. Eli Whitney [4]

#### 2.2.2.2. Znanstveni menadžment

Ovu eru, koja je trajala od 1880. do 1910. godine, započeo je Frederick W. Taylor svojom knjigom „Principi Znanstvenog Menadžmenta“ (eng. The Principles of Scientific Management). Jezgra Taylorovog sistema se sastojala od rastavljanja proizvodnih procesa na njihove komponente i poboljšavanje efikasnosti svake od tih komponenti. To je postigao proučavanjem svake komponente zasebno te eliminiranjem svih pogrešnih, sporih i nepotrebnih kretnji. Obradu je ubrzao uvođenjem šablona, stega i ostalih uređaja, od kojih je većinu sam izumio. U suštini, Taylor je pokušao napraviti za radne stanice ono što je Whitney napravio za dijelove, standardizirati ih i učiniti izmjenjivim. Poboljšanje radne efikasnosti Taylorovim sistemom je bazirano na analizi i poboljšanju radnih metoda, smanjenju vremena za izvršavanje rada i razvojem radnih standarda. S konstantnom vjerom u znanstveni menadžment, Taylorov doprinos studiji rada je bio njegov način traženja iste razine predvidljivosti i preciznosti za ručni rad koji je postigao s formulama za rezanje metala. Za Taylora, znanstveni menadžment je bio filozofija bazirana, ne samo na znanstvenoj studiji rada, nego i na znanstvenoj selekciji, obrazovanju i razvoju radnika.





**Slika 4. Frederick W. Taylor [5]**

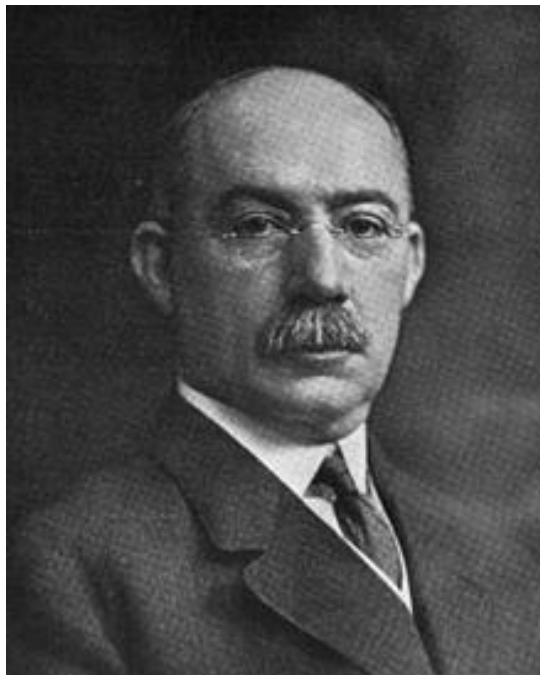
Predstavnici ove vrste menadžmenta su također bili supružnici Frank i Lillian Gilbreth, koji su proširili koncept znanstvenog menadžmenta na identifikaciju, analizu i mjerenje temeljnih gibanja uključenih u izvršenje rada. Analizom kretnji snimljenih kamerom, kategorizirali su elemente kretnji čovjeka u 18 osnovnih elemenata. Ovo istraživanje je napravilo velik iskorak prema analizi ljudskog rada tako što je po prvi puta omogućeno projektiranje poslova sa znanjem koliko je potrebno da se isti obave. U mnogim aspektima njihov rad je označio početak mnogo šireg područja ljudskih čimbenika i ergonomije.



**Slika 5. Lillian i Frank Gilbreth [6]**

Još jedna od značajnijih ličnosti ove ere je bio Henry Gantt. On se razlikovao od ostalih predstavnika po tome što se, uz standarde i troškove, interesirao i za pravilnu selekciju i izobrazbu radnika te razvoj poticajnih planova za nagrađivanje. Gantt se dosta interesirao oko

planiranja problema te je najviše poznat po gantogramu, sustavnom grafičkom postupku planiranja i raspoređivanja aktivnosti koji se posebice koristi u projektnom menadžmentu. [1]



**Slika 6. Henry Gantt [7]**

#### 2.2.2.3. *Era masovne proizvodnje*

Masovna proizvodnja se protezala skoro kroz cijelo 20. stoljeće (1910.-1980.). Kao začetnika ove ere možemo staviti Henrija Forda. On je koristeći znanstveni menadžment izumio pokretnu traku pomoću koje je drastično povećao proizvodnju svojeg automobila Model T. Taj izum su kasnije uveli mnoga poduzeća, a koristi se i danas.



**Slika 7. Henry Ford i automobil Model T [8]**

Svojim statističkim uzorkovanjem u ovoj eri veliki značaj je imao i Walter A. Shewhart. On je smatrao da teorija statistike može poslužiti industriji. Uspješno je spojio statistiku, inženjerstvo

i ekonomiju te postao poznat kao otac moderne kontrole kvalitete. U svom najpoznatijem djelu „Ekonomična kontrola kvalitete izlaznih proizvoda“ je prikazao kompletne i temeljite osnovne principe kontrole kvalitete. Poznat je po kontrolnim kartama, jednostavnim i visoko efikasnim alatom koji prikazuje početni korak prema formulaciji znanstvene baze za osiguranje ekonomične kontrole. [1]



**Slika 8. Walter A. Shewhart [9]**

Ford Whitman Harris je obilježio ovo razdoblje svojom formulom za ekonomičnu veličinu narudžbe. Iako je njegov rad bio kratko napisan, motivirao je tisuće drugih znanstvenika. Njegov model zaliha je osnovni dio povijesti polja operacijskih istraživanja jer je vrlo lagan za primjenu te vrlo otporan na greške u ulaznim podacima parametara. Glavni fokus njegovog modela je u kompromisu troškova skladištenja zaliha i troškova narudžbe. George B. Dantzig je 1947. godine razvio simpleks algoritam za linearno programiranje. Taj algoritam se najviše koristi u operacijskim istraživanjima te je omogućio razvoj ostalih metoda koje su temeljene na njemu. Ovu eru su još obilježile pojave metoda kao što su CPM (eng. Critical Path Method), PERT (eng. Program Evaluation and Review Technique) te MRP (eng. Material Requirements Planning). [1]

### **2.2.3. Fokus na kvalitetu**

Tijekom ovog razdoblja, koja je trajala od 1980. do 1995. uloga industrijskog inženjera se značajno proširila izvan svojih tradicionalnih granica te je počela uključivati organizacijske voditeljske odgovornosti u konstrukciji i integraciji proizvodnih i uslužnih sustava. U slučaju proizvodnje, funkcije industrijskog inženjera često su uključivale konstrukciju i razvoj novih hardvera i softvera koji su omogućili automatizaciju mnogih proizvodnih i pratećih procesa te

su se te funkcije integrirale u operacijsko okruženje. Kako se u to doba proizvodno okruženje sastojalo od nizova računaliziranih strojeva, konstrukcija i integracija informacijskih sustava koji mogu efikasno kontrolirati i baratati podacima vezanim uz konstrukciju i materijal proizvoda, dijelove za zalihu, radne naloge i proizvodne sheme su postale sve veći dio uloge industrijskog inženjera. Također, ovo razdoblje je obilježio i uspjeh u računalnog pomognutoj konstrukciji (eng. Computer Aided Design, CAD), proizvodnji (eng. Computer Aided Manufacturing, CAM) i računlano integriranoj proizvodnji (eng. Computer Integrated Manufacturing, CIM). Ovo doba je i najviše obilježilo japansko gospodarstvo. Japanska poduzeća poput Toyote i Sonyja preispitala su osnovne proizvodne sustave i menadžerske prakse povezane s područjima kvalitete i pravovremenosti. Njihova predanost principima menadžmenta kvalitete je rezultirala u višoj razini kvalitete proizvoda i očekivanjima kupaca nego u Sjedinjenim Američkim Državama. Naime, značajno ulaganje tih poduzeća u obuku svoje radne snage prema principima pojednostavljenja rada, dovelo je do razvoja metoda proizvodnog menadžmenta kao što su Točno-Na-Vrijeme (eng. Just-In-Time) i Kanban. Time su pokazali da sofisticirane tehnike kontrole kvalitete ili upravljanja zalihama ne moraju nužno rezultirati u većoj organizacijskoj produktivnosti. [1]

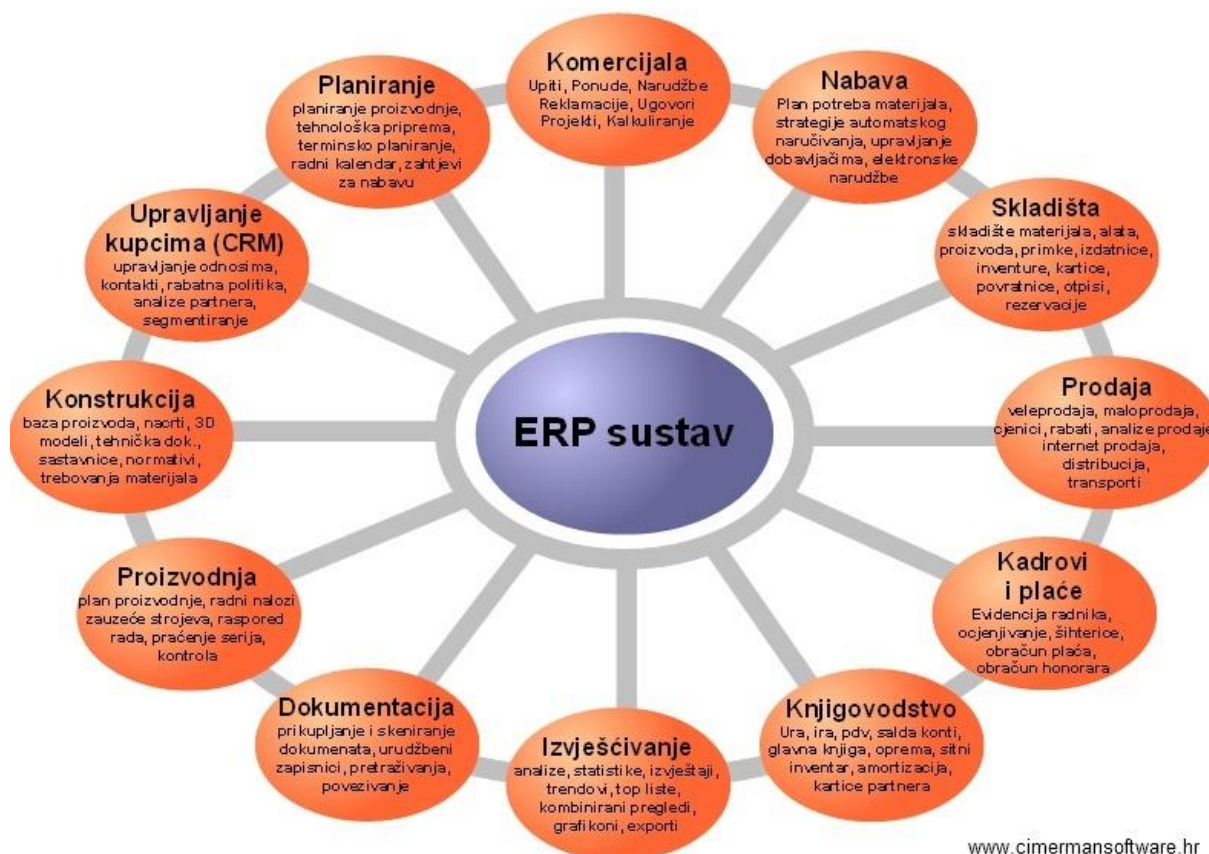


**Slika 9. Proizvodni pogon Toyote [10]**

U ovoj eri težilo se najvišoj mogućoj kvaliteti te je tako i nastao menadžment totalne kvalitete (TQM – Total Quality Management). Metode nastale u ovom razdoblju su dovele do pojma vitke proizvodnje (eng. lean production) po kojem je i razdoblje dobilo naziv „Era lean proizvodnje“. [1]

### 2.2.4. Fokus na kupca

Od 1995. godine do danas traje era masovne prilagodbe kupcima. Ovu eru je obilježila globalizacija te pojava interneta koji su omogućili jednostavnu i brzu interakciju s kupcima. U posao industrijskog inženjera se uvodi planiranje resursa poduzeća (ERP – Enterprise Resource Planning). Sustavi ERP-a olakšavaju poduzeću rad s lancem nabave: primanje, menadžment zaliha, menadžment narudžbi kupaca, planiranje i vođenje proizvodnje, dostava, računovodstvo, menadžment ljudskih resursa i ostalih aktivnosti u modernom poduzeću. Korištenjem ERP-a značajno se mogu smanjiti troškovi zaliha proizvoda i sirovog materijala te vrijeme isporuke, vrijeme proizvodnje i troškovi proizvodnje. Također, postoji i ERP za globalna poduzeća koja geografski imaju raspršenu proizvodnju, a naziva se planiranje resursa za proširena poduzeća (EERP – Extended Enterprise Resource Planning). Ukratko, planiranje resursa se uvodi kako bi vrijeme isporuke kupcu bilo točno, uz malo zaliha i kratko vodeće vrijeme te na najnižoj razini troškova proizvodnje. [11] [12]



Slika 10. Prikaz ERP strukture [13]

U današnje vrijeme se sve više teži učećoj organizaciji. Učeća organizacija predstavlja vrstu organizacijske kulture u kojoj se kroz ohrabrivanje zaposlenika za individualni razvoj i učenje

pokušava angažirati i maksimizirati doprinos svakog zaposlenika u cilju ostvarivanja organizacijskih ciljeva. [14]

Uvođenjem internacionalnih standarda kvalitete kupcima je omogućeno da budu uvjereni u kvalitetu proizvoda iako ne znaju ništa o poduzeću koje ga je proizvelo. Počinje se uvoditi upravljanje lancem nabave (engl. supply chain management - SCM) - koordinacija robnog, informacijskog i financijskog tijeka između povezanih poduzeća koja slijedno obavljaju aktivnosti na putu od sirovine do krajnjeg potrošača. Zahtjevi tržišta su promjenjivi, stoga poduzeća moraju biti fleksibilna. Zbog toga se sve više uvodi agilna proizvodnja, tj. proizvodnja koja lako, brzo i jeftino prijelazi s proizvodnje jednog na proizvodnju drugog proizvoda. [15]  
[16]

### 3. PODRUČJA PRIMJENE INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA

Industrijsko inženjerstvo nudi priliku za rad u raznim vrstama poduzeća. Kako se skoro sva poduzeća orijentiraju na menadžerske principe koji poboljšavaju produktivnost i kvalitetu, potreba za industrijskim inženjerima raste. Naime, industrijski inženjeri su jedini profesionalni inženjeri obučeni isključivo kao specijalisti za poboljšanje produktivnosti i kvalitete.

Područja fokusa rada industrijskog inženjera su: [17]

a) Projektni menadžment

- Razvoj detaljne strukture kompleksnih aktivnosti i njihovo uključivanje u integrirani plan
- Osiguranje temeljnog rasporeda vremena i raspodjela sredstava za složene planove ili implementacije
- Korištenje tehnika projektnog menadžmenta za izvođenje
- Analiza i istraživanje po principu Industrijskog inženjerstva
- Provođenje planiranja postrojenja i razvoj tlocrta postrojenja novih ili izmijenjenih proizvodnih pogona i poslovnih zgrada
- Oblikovanje i usmjeravanje malih i velikih timova koji rade u smjeru definiranih ciljeva, opsega i isporuka
- Provođenje analize rizika raznih projektnih mogućnosti i rezultata

b) Proizvodnja i distribucija

- Sudjelovanje u pregledima planova za osiguranje mogućnosti izrade proizvoda
- Određivanje metoda i procedura za aktivnosti proizvodne distribucije
- Stvaranje dokumentacije i radnih uputa za proizvodnju i distribuciju
- Upravljanje resursima kako bi se zadovoljili proizvodni i distribucijski rasporedi
- Optimizacija proces korištenjem simulacijskih alata
- Vođenje timova za poboljšanje procesa

c) Menadžment lanca nabave

- Vođenje komunikacije s dobavljačima
- Vođenje i izvještavanje vrhovnom menadžmentu o pokazateljima cijena/performance dobavljača
- Obavljanje provjere dobavljača i osiguravanje da se poštuju definirani nabavni procesi i procedure

- Rješavanje nesuglasica s dobavljačima
  - Rad s kooperantima kako bi se osigurala kvaliteta, isporuka i cijena proizvoda
- d) Proizvodni, upravljački i procesni menadžment
- Definiranje adekvatnih radnih metoda i zadataka
  - Definiranje adekvatnih procesa za aktivnosti radnog toka
  - Definiranje glavnih parametara proizvodnje
  - Definiranje ciljeva i dobavljanja/analize podataka za mjerenje parametara proizvodnje
  - Izvođenje analize uzroka kako bi se poboljšali procesi niskih performansi
  - Razvoj adekvatnih poticajnih planova za radne zadatke
  - Određivanje zahtjeva kapaciteta i naknadnih mogućnosti ulaganja
- e) Mjerenje i poboljšanje kvalitete
- Rješavanje svih problema poduzeća vezanih uz kvalitetu
  - Rad s konstrukcijskim i proizvodnim timovima te kooperantima kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda tijekom konstrukcijskih i proizvodnih faza
  - Provjera sljedivosti definiranih procesa i procedura
  - Koordiniranje i olakšavanje rada vanjskim kontrolama kvalitete
  - Pružanje mogućnosti obučavanja zaposlenika o problemima u kvaliteti i procesima korištenjem analitičkih alata i tehnika
  - Rješavanje problema s ulaznim materijalom
- f) Programski menadžment
- Predlaganje novih programa
  - Upravljanje program/projektnim timova kako bi se osiguralo da program prati rokove, budžet i zadane performanse
  - Koordiniranje matrice članova timova po odjelima unutar organizacije kako bi se osigurala završenost zadataka
- g) Ergonomski/ljudski resursi
- Osiguravanje uključivanja inženjerstva ljudskih resursa u konstrukciju novih proizvoda
  - Osiguravanje da discipline inženjerstva ljudskih resursa budu uključene u konfiguraciju i podešavanje proizvodnje



- Osiguravanje da su procedure ergonomije poduzeća definirane kako bi minimizirale uzroke ozljeda i nelagodnosti zaposlenika
- h) Razvoj tehnologija i logistike
- Prepoznavanje osnovnih poslovnih problema analize koje zahtijevaju
  - Ustanoviti jesu li tehnološka i procesna rješenja najbolja
  - Ocjenivanje ponuda, odabir uspješnog ponuđača i uspostavljanje tehničke izvodljivosti
  - Izvođenje testova za određivanje izvodljivosti operacija, implementacije metoda i potreba obučavanja
- i) Strateško planiranje
- Razvoj dugoročnih modela planiranja, obično u opsegu 5-10 godina
  - Podešavanje svih područja zahvaćenih operacijom
  - Određivanje investicija u postrojenje, kapacitet, umreženost, itd.
  - Definiranje preliminarnih troškova proizvodnje i operacija, predviđanje prodaje
  - Razvoj preliminarnih financijskih utjecaja, uključujući produktivnost i vraćanje investicije (ROI – Return on Investment)
- j) Menadžment promjena
- Osiguravanje da su procesi promjena koordinirani, da podržavaju jedni druge te da se kreću duž kritičnog puta
  - Formiranje i održavanje imperativa za promjenom, uspostavljanje prioriteta i pružanje vidljivog pokroviteljstva promjene
  - Pružanje vještina, znanja, procesa, organizacijske strukture i alata potrebnih za izvršenje promjene
  - Osiguravanje da svaka uključena osoba prihvati i aktivno podupire promjenu te da prilagodi svoje ponašanje prema tome
- k) Financijski inženjering
- Određivanje troškova proizvodnje koristeći specifične metode
  - Određivanje budžeta i prognoze za operativne troškove po centrima
  - Mjerenje stvarnih performansi u usporedbi s ciljevima budžeta i istraživanje varijanci
  - Određivanje kapitalnog budžeta i ostalih troškova za proširenje kapaciteta
  - Izvođenje analiza troškova/opravljanja za kapitalne i ostale izdatke
  - Izvođenje analiza proizvede-kupi-posudi

Područje primjene Industrijskog inženjerstva nije samo u proizvodnji, već i u uslužnim djelatnostima, zabavnoj industriji, dostavnim i logističkim poduzećima te zdravstvenim ustanovama.

Neke od najčešćih industrija i područja gdje se primjenjuje Industrijsko inženjerstvo su: [17]

- Zračno-kozmički prostor i avionska industrija
- Proizvodnja čelika i aluminija
- Bankarstvo
- Proizvodnja keramike
- Konstrukcija
- Konzultantske tvrtke
- Proizvodnja elektronskih sklopova
- Energetska industrija
- Zabavna industrija
- Šumarstvo i drvna industrija
- Osiguravajuća društva
- Testiranje materijala
- Medicinske usluge
- Vojna industrija
- Rudarstvo
- Naftna industrija
- Proizvodnja plastike
- Maloprodajne usluge
- Brodogradnja
- Državne i federalne vlasti
- Transport

## 4. METODE INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA

Do danas su se na području Industrijskog inženjerstva razvile mnoge metode, koncepti, metodologije i alati koji su dokazali svoju uspješnu primjenu. Neke metode dijele zajedničku matematičku, fizičku ili neku drugu pozadinu te ih tako možemo grupirati u skupine.

### 4.1. Linearno programiranje

Linearno programiranje je najstarija i zasigurno najuglednija tehnika operacijskog istraživanja. Ne samo da se koristi u privatnom i javnom sektoru, nego je i računalno najefikasnija od svih optimizacijskih tehnika. Zbog toga se niz problema u području cjelobrojnog i nelinearnog programiranja rješavaju koristeći slijed linearnog programiranja. Ova metoda se temelji na algoritmu zvanom simpleks metoda. Ukratko, ovaj algoritam omogućuje da se broj kandidata optimuma smanji s beskonačnog broja točaka na konačni broj rubnih točaka. Simplex metoda može riješiti bilo koji linearni program neovisno o veličini problema. Obično počinje sa središtem i onda inteligentno odabire susjedne kutne točke koje poboljšavaju objektivni iznos  $z$ . Ponavljanjem procesa dolazimo do konačne točke optimuma. Repetitivna i voluminozna priroda izračunavanja linearnim programiranjem nalaže razvoj računalno učinkovitih algoritama. Ti algoritmi su revidirani simplex (eng. revised simplex), dualni simplex (eng. dual simplex) i osnovni-dualni simplex (eng. primal-dual simplex).

Iako se simplex metoda koristi desetljećima kao najefikasniji algoritam za rješavanje linearnih programa, novi algoritam nazvan metoda unutarnje točke (eng. interior point method) je predstavljen 1984. godine kao alternativa simplex algoritmu. Razlikuje se po tome što iteracije ne prate rubove površine mogućih rješenja kao u simplex metodi, nego se linije rješenja sjeku unutar te površine. Navodno, algoritam unutarnje točke je pokazao obećavajuće rezultate u rješavanju ekstremno dugačkih linearnih programa. Nije često korišten kao simplex metoda jer softver nije u potpunosti dostupan prosječnom korisniku. [1]

### 4.2. Nelinearno programiranje

Iako se linearno programiranje koristi s neizmjenim uspjehom za aproksimaciju raznih primjena, činjenica je da je stvarni svijet većinom nelinearan. S tim stajalištem, inženjeri koji se bave operacijskim istraživanjem su oduvijek razvijali algoritme koji mogu riješiti čiste nelinearne probleme. Nažalost, trud na tom području nije bio u potpunosti uspješan. Nelinearni

problem je dokazano računalno vrlo kompliciran. Postoji samo mali broj dostupnih algoritama koji rješavaju specijalne nelinearne slučajeve.

Te algoritme možemo podijeliti u tri glavne kategorije:

a) Transformacijske metode

U ovoj metodi originalni model je zamijenjen drugim modelom koji je analitički više povodljiv. Savršen primjer za ovu metodu je kvadratično programiranje, gdje je funkcija cilja isključivo kvadratična i ograničenja su isključivo linearna. Primjenom Karush-Kuhn-Tucker nužnih uvjeta dobijemo linearan program čije je rješenje optimum za kvadratični model. Druga primjena se bavi geometrijskim programiranjem, koji je visoko nelinearan model čije funkcije zadovoljavaju specijalne postavke. Koristeći teoriju dualnosti, možemo konstruirati novi slobodan model čije nam rješenje daje optimum prvotnog problema.

b) Metode traženja gradijenta

One određuju točku optimuma prateći put naj strmijih uspona i padova funkcije cilja unutar površine mogućih rješenja. Naj strmiji uspon/pad je određen gradijentom funkcije cilja u točki unutar površine mogućih rješenja. Rješenje je dobiveno kroz iteracije, gdje se sa svakom iteracijom poboljšava iznos funkcije cilja duž puta gradijenta. Algoritam završava kad nove poboljšane funkcije cilja padnu unutar unaprijed definiranih tolerancija.

c) Metoda kazne

Ona pretvara nelinearni model u slobodan problem navodeći novu funkciju cilja koje je strogo kažnjena ako se točka rješenja prilikom iteracije pomakne prema granicama površine mogućih rješenja. Poštivajući ovo pravilo, metoda kazne je iskoristiva samo kada se zna da će optimalno rješenje pojaviti unutar površine mogućih rješenja. Kao i sa svim algoritmima nelinearnog programiranja, metoda kazne ne garantira pronalazak globalnog optimuma. Naprotiv, ovisno o postavkama modela, moguće je da će algoritam biti zarobljen u točki lokalnog optimuma. [1]

### 4.3. Dinamičko programiranje

Dinamičko programiranje je primarno konstruirano kako bi se poboljšala računalna efikasnost rastavljanjem prvotnog problema na manje podprobleme. Procedura obično rješava problem u etapama, gdje svaka etapa uključuje točno jednu optimizacijsku varijablu. Računi povezani s

uzastopnim etapama su povezani pomoću rekurzivnih jednadžbi na način koji garantira davanje ostvarivog rješenja cjelovitog problema.

Glavna jedinstvena teorija dinamičkog programiranja je princip optimalnosti. On govori da optimalna odluka svake etape može ovisiti samo o optimalnom rješenju prethodne etape. Ovaj princip nam omogućuje da ispravno podijelimo model na etape. Računalne poteškoće povezane s dinamičkim programiranjem su složene kada svaka etapa sadrži dva ili više ograničenja. U tom slučaju, lokalni računi u svakoj etapi mogu postati komplicirani te se taj slučaj naziva prokletstvo dimenzionalnosti. [1]

#### 4.4. Heurističko programiranje

Heuristici su pravila desne ruke koje nam mogu pomoći u nalaženju dobro ostvarivog rješenja, ali nikako optimalnog rješenja. Njih koristimo kada je teško ili nemoguće pronaći optimirajući algoritam za određeni problem. Također, mogu se koristiti kao zamjena za algoritme koji su slabo računalno efikasni. Najčešće je to slučaj kod cjelobrojno-programirajućih algoritama. Heuristici su korišteni kao nezavisna rješenja algoritama. U drugim slučajevima, korišteni su kako bi povećali računalnu efikasnost egzaktnih algoritama. Heuristici mogu poslužiti kao dobro ostvarivo rješenje cjelobrojnih problema, koji se tada mogu koristiti za ostvarivanje čvrste veze iznosa funkcije cilja. Neki od primjera heurističkog programiranja su MonteCarlo metoda, Teorija igara, Matrične igre, Teorija rojeva čestica, Rojevi pčela i Mravlje kolonije. [1]

#### 4.5. Tehnike mrežnog planiranja

##### 4.5.1. Metoda kritičnog puta (CPM – Critical Path Method)

Metoda kritičnog puta je matematički baziran algoritam za određivanje rasporeda skupa projektnih aktivnosti. Ona je važan alat za efektivno vođenje projekta. Moguće ju je koristiti kod svih vrsta projekata koji imaju međusobno zavisne aktivnosti. [18]

Važna tehnika prilikom korištenja CPM-a je konstrukcija modela projekta koji uključuje sljedeće: [18]

- Listu svih aktivnosti potrebnih za dovršenje projekta
- Vrijeme trajanja svake aktivnosti
- Međusobne zavisnosti aktivnosti

CPM izračunava: [18]

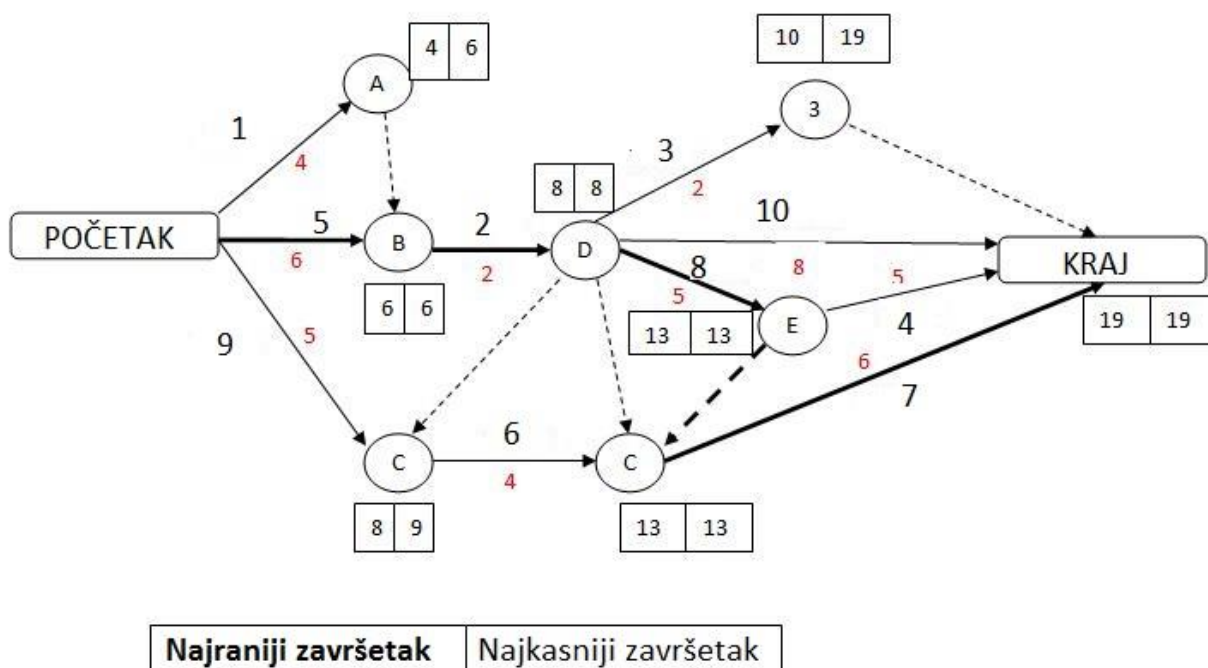
- Najdulji put planiranih aktivnosti do završetka projekta

- Najraniji i najkasniji početak i kraj svake aktivnosti bez produžetka trajanja projekta

Ovom metodom se određuju kritične aktivnosti, tj. aktivnosti najdužeg puta.

Prioritetne aktivnosti za učinkovit menadžment i skraćivanje planiranog kritičnog puta projekta se ostvaruju: [18]

- Skraćivanjem aktivnosti kritičnog puta
- Izvođenjem više aktivnosti paralelno
- Skraćivanjem trajanja aktivnosti kritičnog puta uvođenjem dodatnih resursa



Slika 11. Primjer CPM dijagrama

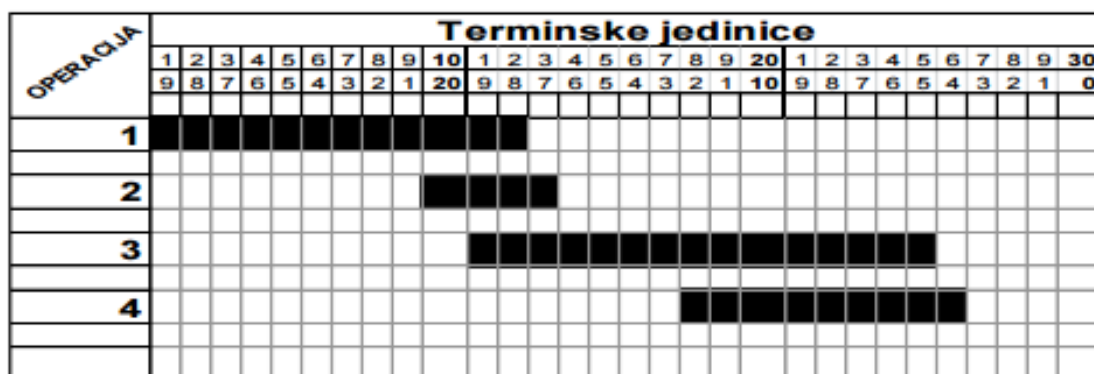
#### 4.5.2. Tehnika praćenja i pregleda projekta (PERT – Project Evaluation and Review Technique)

PERT je razvijen za predviđanje očekivanog trajanja projekata i praćenje napretka projektnih aktivnosti. Koristi razdiobu vjerojatnosti vremena aktivnosti kako bi omogućila varijacija. Baziran je na optimističnom, pesimističnom i najvjerojatnijem vremenu trajanja aktivnosti. Trajanje svake aktivnosti se procjenjuje. Pretpostavlja se da ova vremena prate beta razdiobu, koja može biti simetrična ili nakošena lijevo ili desno. Koristeći ta tri vremena, izračunavaju se očekivano vrijeme i varijanca vremena.

Pretpostavka je da ukupno vrijeme završetka slijedi normalnu razdiobu te da su vremena trajanja aktivnosti statistički neovisna. Obično se koristi za projekte čije se aktivnosti rade prvi put i ne zna se stvarno trajanje aktivnosti. [19]

### 4.5.3. Gantogrami

Gantogrami su karte vremenskih dijagrama kao oblik planiranja i praćenja proizvodnih zadataka. Aktivnosti su prikazane dužinom proporcionalnom njihovom trajanju. U gantogramima je moguće praćenje izvršenja aktivnosti. Postoje tri karakteristične vrste ciklusa proizvodnje koje se mogu prikazati gantogramom: postupni ciklus proizvodnje, paralelni ciklus proizvodnje i kombinirani ciklus proizvodnje. [20]



Slika 12. Primjer gantograma paralelnog ciklusa proizvodnje [20]

### 4.6. Teorije repova

Teorija repova jedna je od metoda operacijskih istraživanja koja proučava procese usluživanja slučajno pristiglih jedinica ili zahtjeva za nekom uslugom koristeći se pritom matematičkim modelima pomoću kojih se ustanovljava međuzavisnost između dolazaka jedinica, njihovog čekanja na uslugu, usluživanja, te na kraju izlaska jedinica iz sustava, sa svrhom da se postigne optimalno funkcioniranje promatranog sustava. Teorija repova je područje matematike koje modelira ponašanje redova. Cilj teorije repova je postizanje maksimalnih ekonomskih učinaka tj. donošenje optimalnih odluka. [21]

### 4.7. Upravljanje zalihama

Postoji velik broj shema upravljanja zalihama koje se koriste u današnje vrijeme. Upravljanje zalihama je bitan dio funkcije menadžmenta. Vremenski određene analize zaliha omogućuju menadžerima da odrede i kontroliraju probleme investicija vezanih uz zalihe. Praćenjem i kontroliranjem razina investicija, fluktuacija, vodećih vremena i dana u skladištu zaliha, poduzeća mogu značajno smanjiti svoja ulaganja u zalihe i ukupne troškove vezane uz zalihe.

Modeli upravljanja zalihama mogu biti korišteni za planiranje razina zaliha i odrediti problematična područja, kao što su nakupljanje zaliha i neuravnoteženosti istih. Svrha tekućeg (eng. flow) modela zaliha je modeliranje trenutnih zaliha prema protocima kako bi se detektirali problemi. Informacija potrebna za konstrukciju modela su materijal, materijal u procesu i opći troškovi kao postoci od troškova prodaje, godišnje potrebe i trenutnog stanja zaliha. Te informacije se koriste za modeliranje svake kategorije trenutnih zaliha: sirovi materijal, materijal u procesu i gotovi proizvodi, te za uspostavljanje ciljeva za svaku kategoriju i ukupne zalihe. [1]

#### 4.8. Simulacije

Simulacije su korisne jer možemo unaprijed pronaći eventualne probleme u realnom sustavu. Također, korisne su za procjenu rizika određenih aktivnosti ili čisto služe za vizualizaciju nekog procesa (3D vizualizacija). Jedna od najpoznatijih simulacija koju koriste industrijski inženjeri je Monte Carlo simulacija. Ova tehnika je slična PERT-u, a razlika je u proceduri izračunavanja. Izračunavanje vremena je isto kao i u CPM-u osim što se ponavlja više puta, uzorkovanja iz razdioba su povezane sa svakom aktivnošću i distribucije za vrijeme dovršetka svake aktivnosti su dobivene iz rezultata. Dakle, nesigurnosti svih aktivnosti koje prethode određenom događaju se uzimaju u obzir kod utvrđivanja neizvjesnosti tog događaja. Ova simulacija je vrlo korisna kod planiranja projekata za čije se kašnjenje dobivaju određene kazne tako što nam pruža kvantitavni način rješavanja problema koji uzrokuju kašnjenje. [1]

#### 4.9. Studij rada i vremena

Studij rada je znanstvena disciplina čiji je zadatak znanstvenim metodama, logičkim, cjelovitim i sustavnim analizama doći do: [22]

- optimalno oblikovanog načina rada pomoću prilagođavanja radnog mjesta, metoda i uvjeta rada čovjeku
- realno potrebnog vremena izrade i ispravno izračunane norme, koja mora biti organizacijsko mjerilo humano oblikovanog rada

Za ostvarenje zadataka, ciljeva i svrhe studija rada, potrebno je obuhvatiti sljedeće: [22]

- studij i analiza vremena, čime se utvrđuje u ovisnosti o metodama, sredstvima i radnim uvjetima, objektivno potrebno vrijeme za pravilno izvršavanje postavljenih zadataka, pri čemu se uzima u obzir uvježbanost, normalno zalaganje i umor izvršitelja rada



- pojednostavljenje (racionalizacija) rada kojim se pojednostavljuje, unapređuje, te olakšava rad radnika. Pri tom se u bilo kojem slučaju ne smije težiti povećanju brzine rada radnika već primjeni najprikladnijeg ritma rada

#### **4.10. Kontinuirano unapređenje – Kaizen**

Kaizen, ili kontinuirano unapređenje, je aktivnost unapređenja u kojoj sudjeluju svi zaposlenici te čiji se program neprestano širi i unapređuje. Ona uključuje poboljšanje produktivnosti, povećanje proizvodnih kapaciteta, prilagođavanje proizvodnje različitih proizvoda na malim mjestima i sl. Nema limita na količinu ideja za poboljšanje koje su produkt razmišljanja ili unutrašnjeg ili vanjskog okruženja. Npr., veća kvaliteta, modernizirani proizvodi, brža dostava i niže cijene su zahtjevi kupaca koji su vanjski utjecaj na unapređenje tvrtke. Najuspješnija implementacija unapređenja se događa kada se osnovne politike top menadžmenta točno prenose na sve razine organizacije poduzeća. Kako bi se shvatilo koje su želje top menadžmenta, potreban je širokopojasni, dugotrajan i postojan program unapređenja. Da bi smanjili razliku između stvarnog i željenog stanja, potrebne se kontinuirane kaizen aktivnosti. Potrebna je uključenost svih članova organizacije što dokazuje činjenica da ponekad ideje koje su predložili radnici u proizvodnom pogonu, imaju veću uspješnost primjene. Kako bi se primjenio uspješan program kontinuiranog unapređenja, potrebno je riješiti probleme kao što su stav „naš posao se radi kako treba“, nedostatak ideja za poboljšanje, loša prezentacija ideja za poboljšanje, preokupacija s dnevnim poslovima, nedostatak pritiska na generiranje novih ideja, atmosfera tvrtka gdje ideje za poboljšanje nisu dobrodošle, sporost implementacije, itd. Kako bi se riješili ti problemi, najbolje je primjeniti sljedeće:

- Održavanje periodičkih sastanaka za edukaciju svih članova o programu poboljšanja
- Održavanje sastanaka gdje bitni članovi pojedinog tima izvode praktične vježbe poboljšanja
- Uvođenje samopregleda na svakom radnom mjestu
- Davanje liste svih aktualnih programa poboljšanja svim članovima u formi brošure
- Održavanje prezentacija svim zaposlenicima o primjerima poboljšanja uključujući slike, video materijal ili poboljšane stvari
- Uvođenje programa posjeta radnika jedni drugima radi međusobne edukacije
- Održavanje radionica pisanja prijedloga

Indeks efikasnosti u poduzeću koje primjenjuje aktivnosti kontinuiranog unapređenja će biti određen:

- Brojem prijedloga za unapređenje od zaposlenika - u uspješnim tvrtkama je prosječno 20 prijedloga po radniku na godinu
- Proizvodnost rada - većina poduzeća ovaj indeks izražava kao volumen proizvedenog po zaposleniku
- Stvarna stopa iskorištenosti ključne opreme
- Proizvodno vodeće vrijeme
- Stopa pojave škarta

Kaizen ne samo da doprinosi većoj profitabilnosti, nego i omogućava poduzećima da otkriju svoje potencijalne snage i mogućnosti koje nisu prije prepoznale. [1]

## **4.11. Procesni pristup**

### **4.11.1. Lean proizvodnja**

Vitka proizvodnja – VP (eng. Lean Manufacturing) je filozofija upravljanja poslovnim procesima koja svoje ishodište nalazi u Toyota Production Systemu (TPS). Glavno usmjerenje Lean upravljanja je ka smanjenju 8 vrsta gubitaka koje je definirao Taichii Ohno. Gubici (engl.waste, jap.muda) se odnose na svaku ljudsku aktivnost koja crpi energiju, ali ne stvara nikakvu vrijednost: pogreške koje zahtjevaju korekciju, proizvodnja proizvoda koje nitko ne želi, koji se samo nakupljaju u skladištima, proizvodni koraci koji nisu potrebni, nepotrebno kretanje zaposlenika, transport dobara sa jednom mjesta na drugo bez ikakve svrhe, radnici koji čekaju u svojem radu zbog zastoja i ne dostavljanja proizvoda na vrijeme sa prethodnih operacija, te dobra i usluge koja se ne poklapaju sa potrebama kupaca. Srećom, „Lean thinking“(Vitko razmišljanje) je snažan alat za suzbijanje gubitaka. On pruža način da se specificiraju vrijednosti, poredaju aktivnosti koji donose vrijednost najkorisnijim redom, provode te aktivnosti bez ometanja kada postoji potreba za njima, te što učinkovitije provođenje tih aktivnosti. Ukratko Vitko razmišljanje je „vitko“ zato što pruža način da se napravi „više sa manje“-manje ljudskog napora, manje opreme, manje vremena, manje prostora- pri čemu se usporedno, sve više i više, približavamo ostvarenju onoga što kupac zaista želi. Tako su se razvila i osnovna načela Lean upravljanja: [23]

- Utvrditi vrijednost
- Mapirati tok vrijednosti
- Uspostaviti tok proizvodnje
- Uspostaviti povlačenje

- Težnja savršenstvu

Alati koje koristi Lean menadžment:

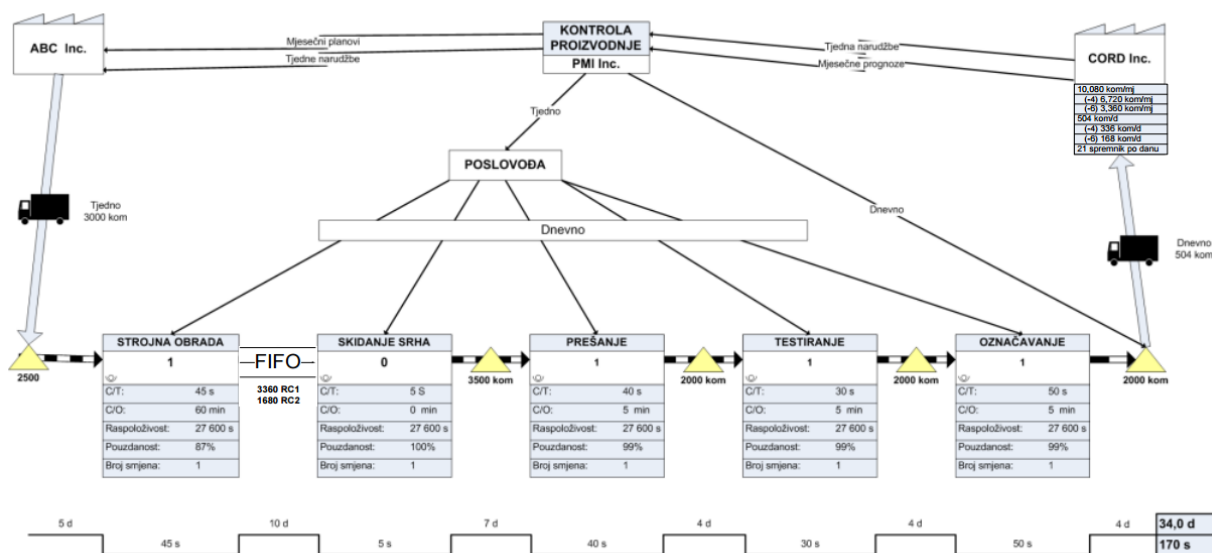
1. Just-in-time - odnosi se na proizvodnju određene količine proizvoda u točno određeno vrijeme
2. Kaizen - kontinuirano unapređenje
3. 5S - još jedna od mnogobrojnih metoda proizašlih iz japanske tvrtke Toyota nastalih s ciljem usavršavanja procesa rada. Sam naziv potječe od prvih slova japanskih riječi:  
[24]

- Seiri – Sort - sortiranje
  - Seiton – Straighten - red
  - Seiso – Scrub - čišćenje
  - Seiketsu – Standardise - standardizacija
  - Shisuke – Sustain - samodisciplina
4. Kanban - alat koji ima za cilj postizanje minimalne količine zaliha potrebne za proizvodnju nekog proizvoda u bilo kojem trenutku.

Četiri glavna principa Kanban-a: [25]

- Vizualizacija posla: Stvaranjem vizualnog modela faza određenog proizvoda, možemo promatrati tok kojim se kreće proizvod. Pošto su nam faze izrade proizvoda vidljive, to vodi boljoj komunikaciji i suradnji među zaposlenicima/radnicima.
- Ograničenje rada u procesu: Ograničavanjem nedovršenog posla u procesu, možemo smanjiti vrijeme koje je potrebno proizvodu da prođe kroz proces putem Kanban sistema. Također se mogu izbjeći problemi uzrokovani zamjenom zadataka, i smanjiti potreba za ponovnim određivanjem prioriteta u procesu izrade proizvoda.
- Fokusiranje na tok: Korištenjem limitiranja WIP-a(Work in Progress) i razvojem organizacijske politike može se optimizirati Kanban sistem i poboljšati „glatki“ tok proizvoda, skupljanje informacija, i analiziranje toka te čak dobiti indikacije o budućim eventualnim problemima u radu.
- Kontinuirano poboljšavanje: Jednom kada je Kanban sistem uspostavljen, on postaje temelj za buduća poboljšanja. Organizacija može mjeriti svoju efikasnost prateći tok, kvalitetu, propusnost. Eksperimenti i analize mogu promijeniti sistem i poboljšati efikasnost poduzeća.

5. Poka yoke - metoda za onemogućavanje grešaka u proizvodnji. U prijevodu s japanskoga „poka“ znači greška, a „yoke“ znači sprečavanje ili zajedno zaštita od grešaka. Poka yoke su uređaji koji ne dozvoljavaju da dođe do greške od strane radnika. [26]
6. SMED – metoda, čiji naziv potječe kao skraćena od: „Single-Minute Exchange of Dies“, je metoda koja ima za cilj smanjenje vremena potrebnog za izmjenu alata ili neke druge opreme u procesu proizvodnje. [27]
7. VSM – Mapiranje toka vrijednosti - VSM skraćena je od engleskih riječi: „Value Stream Mapping“, a predstavlja alat za vizualni prikaz toka materijala i informacija od trenutka narudžbe do isporuke proizvoda kupcu. To je zapravo posebna vrsta grafičkog prikaza koja upotrebljava znakove poznate kao „Lean jezik“ kako bi se opisao i poboljšao tok materijala i informacija kroz proces. [28]



Slika 13. Primjer mape toka vrijednosti [29]

#### 4.11.2. Reinženjering poslovnih procesa

Reinženjering poslovnih procesa je temeljita rekonstrukcija organizacije i njezinih operacija kako bi se postigla dramatična poboljšanja performansi u područjima troškova, kvalitete i ciklusnog vremena. Poslovni proces se može opisati kao grupa obično sekvencijalnih, logično povezanih zadataka koji pružaju proizvode i usluge vanjskim i unutarnjim kupcima koristeći organizacijske resurse. Uključuje dva tipa procesa:

- Operacijski/središnji procesi vršeni od strane radnika u dostavnim uslugama kupcima

- Potporni menadžerski proces koji potpomaže radnika u dostavi usluga kupcu

Kod reinženjeringa, postojeće pretpostavke koje se odnose na organizaciju su izazvane, stvarajući mogućnost za radikalne promjene u području poslovanja. To obično uključuje osnovno preoblikovanje poslovnih procesa, organizacijske strukture, informacijske tehnologije i fizičke infrastrukture te preusmjeravanje korporativnih vrijdnosti i kulture.

Ova metoda se praktički može primijeniti na bilo koju organizaciju u javnom i privatnom sektoru. Industrije koje postigle značajan uspjeh koristeći reinženjering poslovnih procesa uključuju bankarstvo i financije, građevinu, osiguravajuće kuće, zrakoplovne kompanije i proizvodnju.

Koristi reinženjeringa poslovnih procesa su: značajno smanjenje troškova, poboljšanje kvalitete, usmjereni procesi i poboljšana radna atmosfera. [1]

#### **4.12. Statističko upravljanje kvalitetom**

Velika važnost korištenja statistike u Industrijskom inženjerstvu je u kontroli procesa. Svi procesi imaju varijabilnost zbog razloga kao što su razlike u strojevima, operatorima i dobavljačima, varijacije u sirovom materijalu, promjene u okolišu postrojenja, itd. Metode statističke kontrole procesa nam pomažu u razlikovanju između varijabilnosti koje prate stabilni proces, često nazivane varijacije čestog uzroka, te onih vezanih uz neočekivane promjene, nazivane varijacije specijalnih uzroka.

##### **4.12.1. Six sigma**

Six sigma metoda je pristup unutar projektnog menadžmenta koji omogućuje poboljšanje proizvoda, usluge i procesa organizacije kontinuiranim smanjenjem defekata u organizaciji. To je poslovna strategija koje se fokusira na poboljšanje razumijevanja zahtjeva kupaca, poslovnih sustava, produktivnosti i financijskih performansi. Ova metoda ima dvije glavne perspektive. Podrijetlo six sigme dolazi od strane statistike i statističara. Sa statističkog stajališta, pojam six sigme je definiran kao posjedovanje manje od 3,4 defekata na milijun mogućnosti ili stope uspješnosti od 99,9997% gdje sigma predstavlja varijaciju prosjeka procesa. Prema tome, six sigma je vrlo rigorozan koncept kontrole kvalitete. U poslovnom svijetu, six sigma je definirana kao poslovna strategija koja poboljšava poslovnu profitabilnost, efektivnost i efikasnost svih operacija kako bi se opravdala ili čak prekoračila potrebe i očekivanja klijenata. Six sigma je sustavan, podatkovno pogonjen pristup koji koristi definiranje, mjerenje, analizu, poboljšanje i

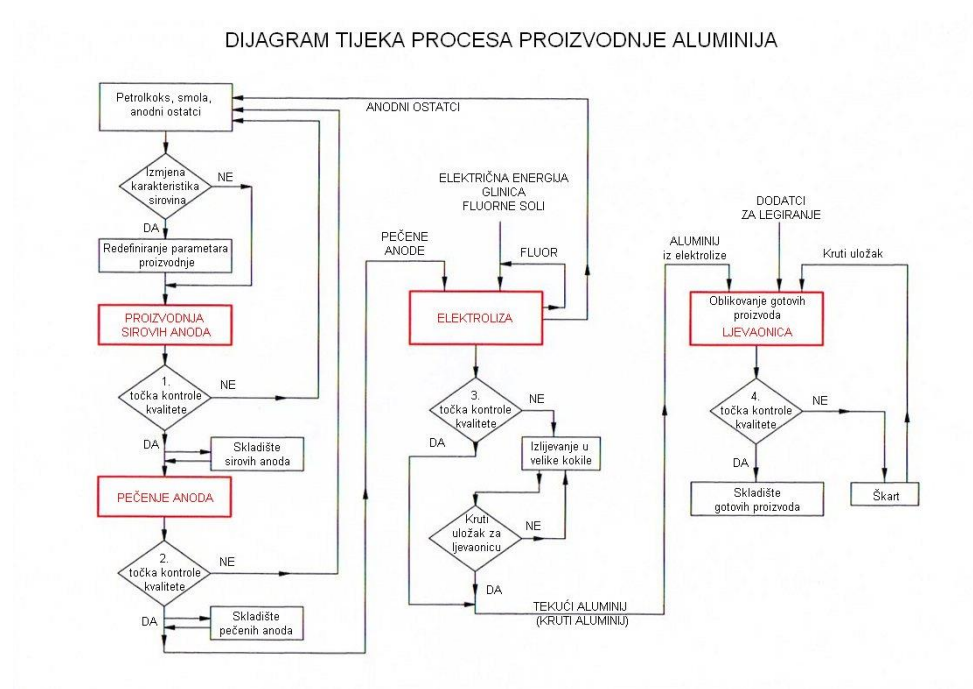
kontrolu procesa te iskoristiv dizajn za six sigma metodu. Osnovni princip six sigme je dovesti organizaciju na poboljšanu razinu sposobnosti sigme kroz rigoroznu primjenu statističkih alata i tehnika, Uglavnom se primjenjuje na probleme vezane uz proizvodnju. [30]

**Tablica 1. Six sigma strategije, principi, alati i tehnike [30]**

<i>Six sigma poslovne strategije i principi</i>	<i>Six sigma alati i tehnike</i>
Projektni menadžment	Statistička kontrola kvalitete
Odlučivanje na temelju podataka	Analiza sposobnosti procesa
Pronalazak znanja	Analiza mjernog sustava
Planiranje kontrole procesa	Projektiranje eksperimenata
Alati i tehnike za prikupljanje podataka	Robustna konstrukcija
Smanjenje varijabilnosti	Razvoj funkcije kvalitete
Sustav remenja	Analiza kvara i njegovih posljedica
DMAIC proces	Regresijska analiza
Alati menadžmenta promjena	Analiza sredstva i varijanci
	Testiranje hipoteze
	Analiza uzroka
	Mapiranje procesa

#### 4.12.2. Dijagrami toka, Pareto dijagrami

Dijagrami toka se često upotrebljavaju za praćenje postojećeg procesa radi njegove evaluacije ili za prikaz novog procesa koji će biti primijenjen. Pokazuju svaki korak procesa i vrlo su slični dijagramima toka povezanim s računalnim programima, pokazuju točke odluke te razne moguće smjerove zahvata. [1]



**Slika 14. Dijagram toka procesa proizvodnje aluminija [31]**

Pareto dijagrami kvantificiraju neispravnih ili manjkavih proizvoda i kvarove proizvoda te ih klasificiraju u grupe prema simptomima ili mogućim uzrocima. Imaju izgled stupčastog dijagrama te rangiraju grupe od najveće prema najmanjoj. Nadalje, obično se prikazuje i linija koja predstavlja kumulativne postotke uključenih grupa. Ovi dijagrami nam jasno prikazuju koji su uzroci najčešći te koji im je stupanj djelovanja. Pomoću toga možemo identificirati područja koja trebaju protumjere za ukidanje mogućih uzroka. Uglavnom, velika poboljšanja se mogu postići fokusiranjem na grupe s najvišom stopom pojavljivanja. [32]

#### **4.12.3. Kontrolne karte**

Varijabilnost karakteristika procesa se može pratiti uzimanjem uzoraka procesa na čestim intervalima i mjerenjem karakteristike svake stvari u uzorku. Kontrolna karta je prikaz vremenskog slijeda sažetka statistike mjerenja svakog uzorka te zajedno s granicama kontrole pokazuje prihvatljiv pojas varijacija za statističke parametre. Ukoliko su uzorci statistički unutar granica kontrole, ne mora se provesti promjena procesa, tj. proces je u kontroli. U suprotnom, proces je van kontrole i treba poduzeti odgovarajuće mjere uklanjanja bilo kojeg primjećenog uzroka. [1]

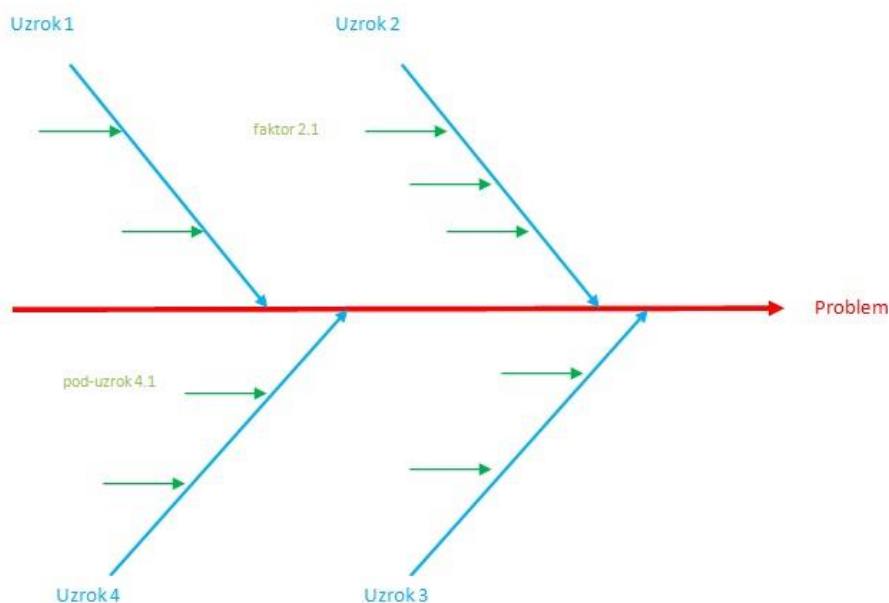
Kontrolne karte dijele se u dvije temeljne skupine: [1]

- Kontrolne karte za mjerljive karakteristike:  $\bar{x}$  - R karta,  $\bar{x}$  - s karta,  $\bar{x}$  - MR karta, CuSum karta, EWMA karta. Matematička podloga ovih karata je normalna raspodjela.
- Kontrolne karte za atributivne karakteristike: p karta, np karta, c karta, u karta. Matematička podloga ovih karata je binomna i Poissonova raspodjela.

#### **4.12.4. Dijagrami uzroka i posljedica**

Također poznati i kao dijagrami riblja kost ili Ishikawa dijagrami. Oni nam pokazuju značaj analize mogućih uzroka očekivanih defekata po redosljedu njihove važnosti. Faktori koji utječu na karakteristične veličine koje određuju kvalitetu su rangirani prema važnosti i prikazani kao sukcesivno manje kosti. Na primjer, u slučaju da su nekoliko faktora prvog reda očekivani s obzirom na određenu defektom uzrokovanu karakterističnu veličinu, jednak broj kostiju koje ulaze u glavnu kost bi bile nacrtane i imenovane. Zatim, za bilo koji od tih faktora, ako postoje faktori drugog reda, će biti dodani uzorku kosti tog prvo faktora. Na taj način, dijagram je razvijen u svrhu analize faktora koji uzrokuju defekte te ako dođe do pojave istih, dijagram

može poslužiti za izoliranje vjerojatnog uzroka. Naravno, treba provesti odvojenu provjeru kako bi se ustanovilo je li uzrok predložen dijagramom pravi ili ne. [1]



Slika 15. Primjer dijagrama uzroka i posljedica

#### 4.13. Metode prognoziranja i predviđanja

##### 4.13.1. Delfi metoda

Delfi metoda se može okarakterizirati kao metoda za strukturiranje grupnih komunikacijskih procesa kako bi proces bio efikasan u dopuštanju grupe individualaca kao cjeline nositi se s kompleksnim problemima. Korištenje Delfi metode za prognoziranje i identifikaciju problema može biti korisno u ranim stadijima procesa, posebno kod odabira teme i definiranja pitanja za istraživanje. [33]

##### 4.13.2. Metode vremenskih serija

Metode vremenskih serija zasnivaju se na nizu podataka koji su podjednako razmaknuti u vremenu (dnevni, tjedni, mjesečni i sl.). Predviđanje vremenske serije podataka pretpostavlja da se ubuduće vrijednosti prognoziraju isključivo na povijesnim podacima te da drugi promjenjivi, bez obzira koliko potencijalno važni podaci, mogu biti zanemareni. Rastavljanjem povijesnih podataka moguće je uočiti četiri glavne komponente vremenskih serija: trend, sezonske oscilacije, ciklusi i nasumični faktor. Trend je postupni rast ili pad potražnje u vremenu. Sezonske oscilacije su određeni uzorci koji se ponavljaju nakon nekog perioda. Ciklično ponašanje se obično primjećuje svakih nekoliko godina. Nasumičan faktor je



nasumičan i ne može se predvidjeti koliki će biti, ali se uključuje u prognostički model. Neke od metoda su naivna metoda, pomični prosjeci i eksponencijalno izjednačavanje. [34]

#### **4.13.3. Metode regresije**

Ako se dvije pojave javljaju zajedno, to ne mora značiti da su one međusobno povezane. Da bi se ustanovila međusobna ovisnost jedne pojave o drugoj ili više njih korist se regresijska analiza. U regresijskoj analizi pojave se predočuju varijablama. Varijable mogu biti nezavisne i zavisne. Zavisne varijable su one varijable čije se promjene objašnjavaju pomoću drugih varijabli. To su varijable koje se mijenjaju zbog promjene drugih varijabli. Nezavisne su one varijable kojima se objašnjava promjena zavisne varijable. Povezanost pojava može biti funkcionalna (deterministička) i statistička (stohastička). Statistička povezanost je pod utjecajem stohastičkih varijacija. Svaki regresijski model sadrži stohastičku varijablu i po tome se razlikuje od determinističkog modela. Regresijski model je jednačba ili skup jednačbi s konačnim brojem varijabli. Podaci za regresijsku analizu nastaju opažanjem ili mjerenjem u statističkim pokusima. [35]

#### **4.14. Metode odlučivanja**

##### **4.14.1. Max-Min, Max-Max, i Min-Max kriteriji**

Max-Min kriterij ili kriterij pesimizma pretpostavlja najgore posljedice koje se mogu dogoditi donositelju odluke za svaku od raspoloživih alternativa, a potom izbor akcije za koju je najgora posljedica najpovoljnija za donositelja odluke. Takav pristup odlučivanju je i razlog za ime ovog kriterija (Max-Min), a kako se pri njegovom provođenju nikad ne može dogoditi gora situacija od one koju sam donositelj odluke izabere, jasno je i porijeklo drugog naziva (kriterij pesimizma). Definicija ovog kriterija je izabrati akciju za koju je minimalni profit (po alternativama) maksimalan.

Ako se donositelj odluka ponaša izrazito optimistički prema odigravanju povoljnih stanja, tada mu se može preporučiti kriterij Max-Max ili kriterij optimizma. Definicija ovog kriterija je izabrati akciju za koju je maksimalni profit maksimalan.

Također, postoji kriterij Min-Max ili kriterij žaljenja čija je definicija izabrati akciju za koju je maksimalno žaljenje minimalno. [36]

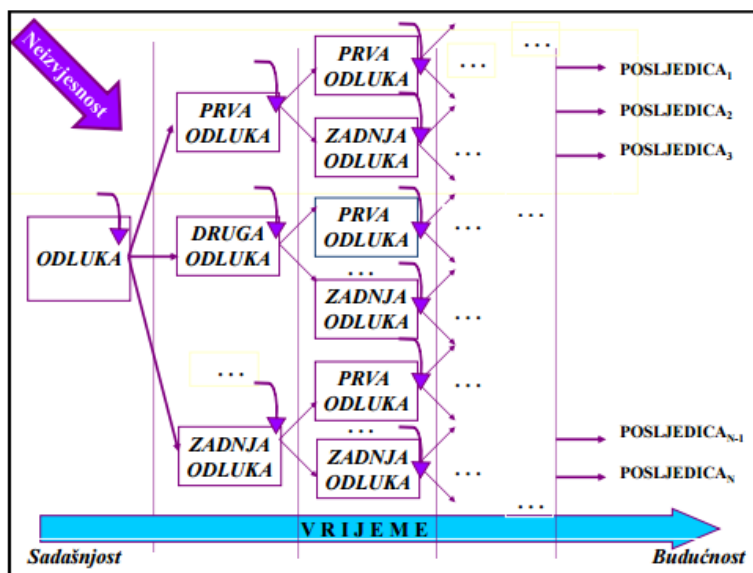
##### **4.14.2. LaPlaceov kriterij**

Ovaj kriterij polazi od pretpostavke da se ako donosioc odluke ne vodi računa o vjerojatnostima odigravanja pojedinih stanja, može prema njima ponašati kao da će se odigrati s podjednakom

vjerojatnošću. Definicija ovog kriterija je izabrati akciju za koju je očekivani profit maksimalan. [36]

#### 4.14.3. Stablo odlučivanja

Stablo odlučivanja je alternativni način prikazivanja i analize situacije odlučivanja. To je slikovit model koji reprezentira čitavu strukturu odlučivanja.



Slika 16. Shema stabla odlučivanja [37]

Pretpostavke uporabe stabla odlučivanja:

- donositelj odluke ima na raspolaganju većinu relevantnih inačica odluke,
- moguće posljedice inačica odluke mogu se na neki način kvantificirati,
- pri izboru se razmatraju samo ona obilježja inačica odluka koja se mogu kvantificirati,
- stablo odlučivanja može se analizirati ako postoje subjektivne vjerojatnosti nastupanja nesigurnih događaja.

Ova tehnika je pogodna za anлізу složenijih i dinamičnih situacija odlučivanja. Osobito je korisna kad postoji mogućnost da odlučivanje podijeli u niz manjih situacija izbora, koje se u vremenskom slijedu naslanjaju jedna na druge. [37]

#### 4.14.4. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti je proučavanje varijabilnosti izlaznih rezultata matematičkog modela u ovisnosti o varijacijama vrijednosti ulaznih veličina u modelu. Drugačije iskazano, to je tehnika sistematske promjene vrijednosti ulaznih veličina modela da bi se analizirale posljedice takvih promjena.

Analiza osjetljivosti služi:

- kao potpora donošenju odluka ili za izradu preporuka donositeljima odluka,
- za poboljšanje komunikacije između izraditelja modela i donositelja odluke (stvara preporuke razumljivijima, vjerodostojnijima, uvjerljivijima),
- za poboljšanje razumijevanja sustava (odnosa ulaznih i izlaznih varijabli),
- za poboljšanje modela.

U problemu odlučivanja, analitičar želi odrediti ključne nositelje troškova i odrediti veličine o kojima se zahtjeva bolje znanje kako bi se donijele informiranije odluke. S druge strane neke veličine ne utječu značajno na rezultate tako da je na njima moguće uštedjeti. [38]

#### **4.15. Metode generiranja ideja**

##### **4.15.1. Brainstorming**

Kod generiranja ideja za poboljšanje, brainstorming može biti jaka metoda. Ovu tehniku je razvio A. F. Osborne i bazirana je na formaciji tima od nekoliko članova koji će raditi na generiranju ideja i planova za poboljšanje. Ako se tim sastoji od reprezentanata s različitih područja poduzeća, ideje kreirane s različitih perspektiva će iskrsnuti i pojaviti će se rezultati. Postoje neka pravila za maksimiziranje rezultata: ne kritiziraj tuđe ideje, poželjno je podržati tuđe ideje, ekstremne ideje su zabranjene, pokušaj generirati što je više ideja moguće, limitiraj vrijeme i vodi zapisnik svih ideja. [1]

##### **4.15.2. Dijagram afiniteta**

Dijagram afiniteta organizira velik broj ideja pomoću njihovih prirodnih poveznica. Ova metoda spaja kreativnost i intuiciju tima. Koristi se kad se suočavamo s mnogo činjenica i ideja u očiglednom kaosu, kad se problemi čine prevelikima i prekompleksnim za shvatiti te kada je potreban grupni konsenzus. Takve situacije su tipične nakon brainstorminga ili nakon analize verbalnih podataka. [39]

##### **4.15.3. Krugovi kvalitete**

Krugove kvalitete čini grupa od 8 do 10 članova ljudi koji rade sličan posao i redovno se nalaze kako bi razgovarali o problemima u radi i kvaliteti. Grupa analizira uzroke problema i predlaže rješenja upravi. Članovi grupe također mogu pomoći kod implementacije preporučenih rješenja. Aktivnosti kruga kvalitete obično povećavaju motivaciju i sveukupnu kvalitetu radnog vijeka. Vođa kruga kvalitete je obično nadglednik svih ili nekih članova grupe. Nadalje, svaka grupa ima svog posrednika koji je zadužen za edukaciju članova i vođe grupe. Posrednik stvara

vezu između svakog kruga i ostatka organizacije i ima aktivnu ulogu u mjerenju i ocjenjivanju poboljšanja. [1]

#### 4.15.4. Intervjui

Intervjui s osobama koje su direktno ili indirektno uključene u proces također mogu biti način generiranja ideja za razna poboljšanja.

#### 4.15.5. Benchmarking

Benchmarking je način izrade konkurentske usporedbe između tvrtkinih proizvoda, usluga i procesa te najbolje konkurencije u svrhu uspostavljanja standarda koje tvrtka treba postići ili nadmašiti. Treba se naglasiti da sam proces benchmarkinga nije konkurentan, niti tajan; naprotiv, to je otvorena obostrano korisna razmjena podataka između dva partnera koji su dobrovoljno odabrali sudjelovati u procesu. To naravno znači da sudionici ne mogu biti izravni konkurenti, barem ne s obzirom na predmete usporedbe. Na temelju nalaza, svaka od tvrtki sudionika radi svoju analizu, određuje značajne razlike u performansama i posljedične potrebe za poboljšanjem, postavlja ciljeve za ta poboljšanja i sastavlja posebne planove realizacije tih poboljšanja. Poduzimaju se određene aktivnosti, prate se rezultati i poduzimaju korektivne mjere po potrebi. Kada su rezultati zadovoljavajući, novi benchmarking projekti mogu biti razmatrani. [1]

#### 4.15.6. 5W 2H

5W 2H metoda je efikasna kod ostvarivanja važnog koraka provjere nužnosti postojećih radnih elemenata. Ona odgovara na pitanja zašto (why), što (what), tko (who), kada (when), gdje (where), kako (how to) i koliko (how much) Tablica 2. Značenje 5W 2H [Tablica 2]. [1]

Tablica 2. Značenje 5W 2H [1]

	Što	Tko	Kada	Gdje	Zašto	Kako	Koliko
<b>Problem</b>	Objekt		Vrijeme	Mjesto	Razlog	Način	Do kojeg stupnja
<b>Politika</b>	Analiza	Operater			Princip	Rješenje	

## 5. PRIMJENA METODA INDUSTRIJSKOG INŽENJERSTVA U FSB RACING TEAMU

### 5.1. Formula Student

Formula Student je natjecanje studenata tehničkih i njima srodnih fakulteta u osmišljavanju, konstruiranju i izradi bolida jednosjeda prema pravilima natjecanja. Prvo natjecanje je održano početkom 1980-ih godina u SAD-u te se kasnije proširilo na cijeli svijet. Danas se ovo natjecanje održava u preko 20 zemalja. U Europi neka, od većih natjecanja se održavaju u Engleskoj, Njemačkoj, Italiji, Austriji, Mađarskoj i Španjolskoj. Cijelo natjecanje je koncipirano tako da potiče inovativnost i razvijanje sposobnosti studenata da teoriju konstruiranja, kao i marketinške i menadžerske sposobnosti vođenja tima, primjenjuju u praksi. Jedan od najvažnijih segmenata o kojima tim mora voditi brigu su financije jer cijeli projekt financiraju sponzori i donatori. Ocjenjivanje se sastoji od statičkog i dinamičkog djela natjecanja. Statički testovi obuhvaćaju prezentaciju vozila, objašnjenje same konstrukcije vozila i obrazloženje cijene vozila po pojedinim djelovima i tehnologijama izrade. Gotovi bolidi moraju proći tehnički pregled kako bi se osigurali minimumi sigurnosti na dinamičkim testiranjima. Tehnički pregled obavljaju stručnjaci koji se aktivno bave automoto sportom dugi niz godina, bilo kroz Formulu 1, WRC (World Rally Championship) ili DTM (Deutsche Tourenwagen Masters). U dinamičkim testiranjima se boduje slalom, bočno ubrzanje, ubrzanje, utrka izdržljivosti te potrošnja goriva. Glavni cilj natjecanja nije sama vožnja već pokazivanje inovativnosti pri izradi i primjena teorijskih znanja stečenih tokom studija u praktičnom okruženju.

Ocjenjivanje se provodi na slijedeći način:

#### Statički dio:

Prezentacija	75
Projekt i konstrukcija	150
Analiza troškova	100

#### Dinamički dio:

Ubrzanje	75
Skid-Pad	50
Autocross	150
Mjerenje potrošnje	100
<u>Utrka izdržljivosti</u>	<u>300</u>

<b>Ukupno bodova</b>	<b>1000</b>
----------------------	-------------

## 5.2. Povijest FSB Racing Teama

FSB Racing Team je prva hrvatska momčad Formule Student. FSB Racing Team osnovan je 2004. godine, a čine ga studenti iz različitih sastavnica Sveučilišta u Zagrebu (FSB, FER, EFZG). Projekt prati i podržava Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Projekt ima mnogostruke aspekte, od promicanja, razvijanja i unapređivanja tehničke kulture u Hrvatskoj, poticanja stvaralačkog rada kojim studenti izražavaju svoje kreativne sposobnosti, do promidžbe Republike Hrvatske te kvalitete hrvatskog akademskog obrazovanja.

Do sada je FSB Racing Team uspio s četiri bolida prisustvovati na natjecanjima Formule student, redom su to bili bolidi: Kuna 2006. godine, Ris 2007., Likos 2012. te Arctos 2013. i 2014. godine.

Također, navedeni bolidi postigli su odlične rezultate na natjecanjima pa je tako bolid Kuna osvojio 35. mjesto u konkurenciji od 72 tima u Velikoj Britaniji, Ris 48. od 84 tima u Velikoj Britaniji, Likos 24. od 103 tima također u Velikoj Britaniji dok je Arctos osvojio 56. od 75 timova u Njemačkoj te izvanredno 10. od 97 timova u Velikoj Britaniji.



Slika 17. Bolid Arctos



Slika 18. Bolid Strix – trenutni projekt FSB Racing Teama

### 5.3. Struktura tima

FSB Racing Team broji 54 člana koji su podijeljeni u ukupno 6 podtimova. Vodstvo tima čini voditelj projekta i voditelji podtimova [Tablica 3].

**Tablica 3. Popis podtimova FSB Racing Teama i sažeti opis njihovih djelatnosti**

PODTIM	OPIS
<u>Ovjes i šasija</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Razvoj i konstrukcija šasije i ovjesa bolida</li> <li>- Razvoj i konstrukcija sustava upravljanja bolidom</li> </ul>
<u>Pogon</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Razvoj i konstrukcija pogonskog sustava bolida</li> </ul>
<u>Aerodinamika</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulacije aerodinamike bolida</li> <li>- Konstrukcija aero paketa bolida</li> </ul>
<u>Elektronika</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Razvoj i proizvodnja električnih sklopova bolida</li> </ul>
<u>Proizvodnja</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Izrada dijelova bolida</li> <li>- Komunikacija s tvrtkama partnerima</li> </ul>
<u>Prodaja i marketing</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traženje sponzorstava</li> <li>- Komunikacija sa sponzorima</li> <li>- Marketinške aktivnosti</li> <li>- Vođenje financija</li> </ul>

### 5.4. Analiza stanja

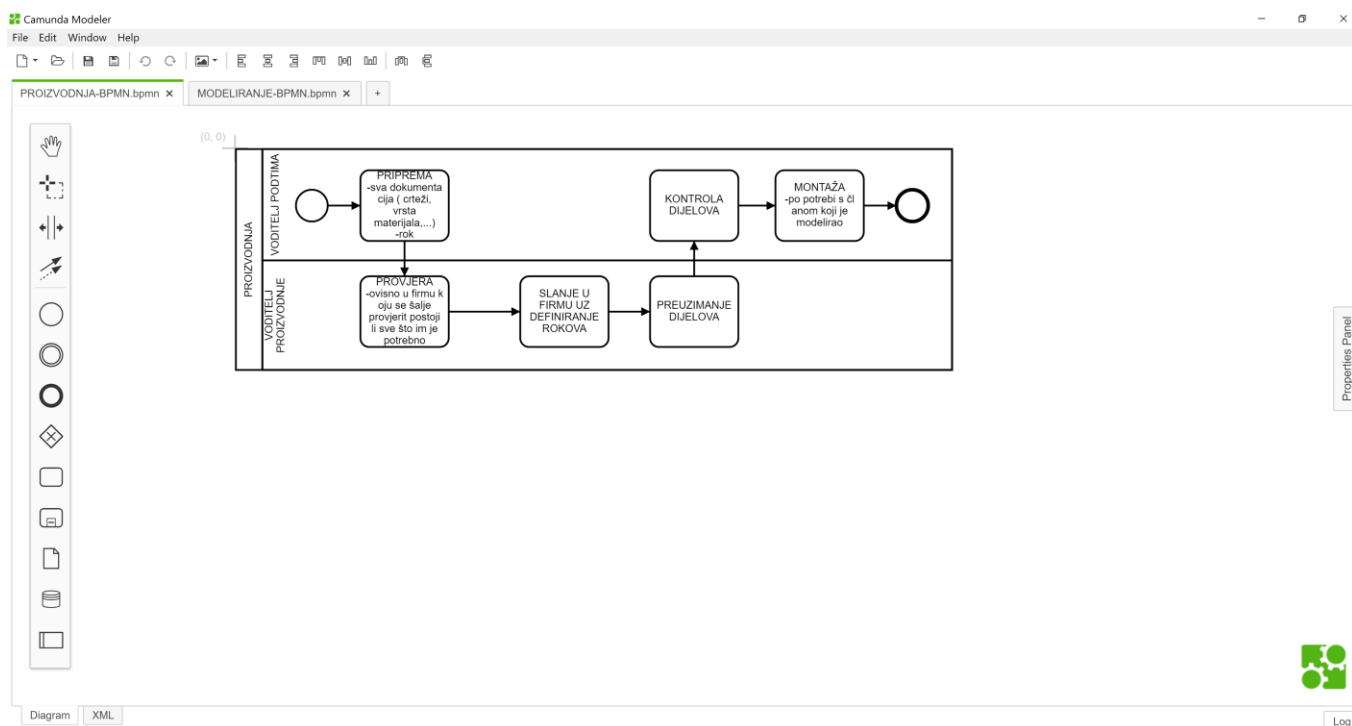
Kako sam postao voditelj projekta FSB Racing Teama, uočio sam mnoge probleme koji su utjecali na dovršetak projekta te na samu motivaciju članova. Najveći problem jest proizvodnja samog bolida na koju sam tim ne može previše utjecati jer se uglavnom izrada dijelova vrši u tvrtkama partnerima. Interni problemi koji su najviše kočili napredak su: nepotpuna dokumentacija dijelova, nedefinirane procedure izrade dokumentacije, nedefinirani zadaci potrebni za dovršetak bolida, kolektivna nesvjestanost o vremenima potrebnim za izradu bolida te neodostatak marketinških aktivnosti. Za većinu problema uzrok je bila drastična promjena

članova tima usred projekta pri kojoj neki članovi na odlasku nisu jasno objasnili što su i zašto napravili na projektu.

## 5.5. Rješenja problema korištenjem metoda Industrijskog inženjerstva

### 5.5.1. Dijagrami toka

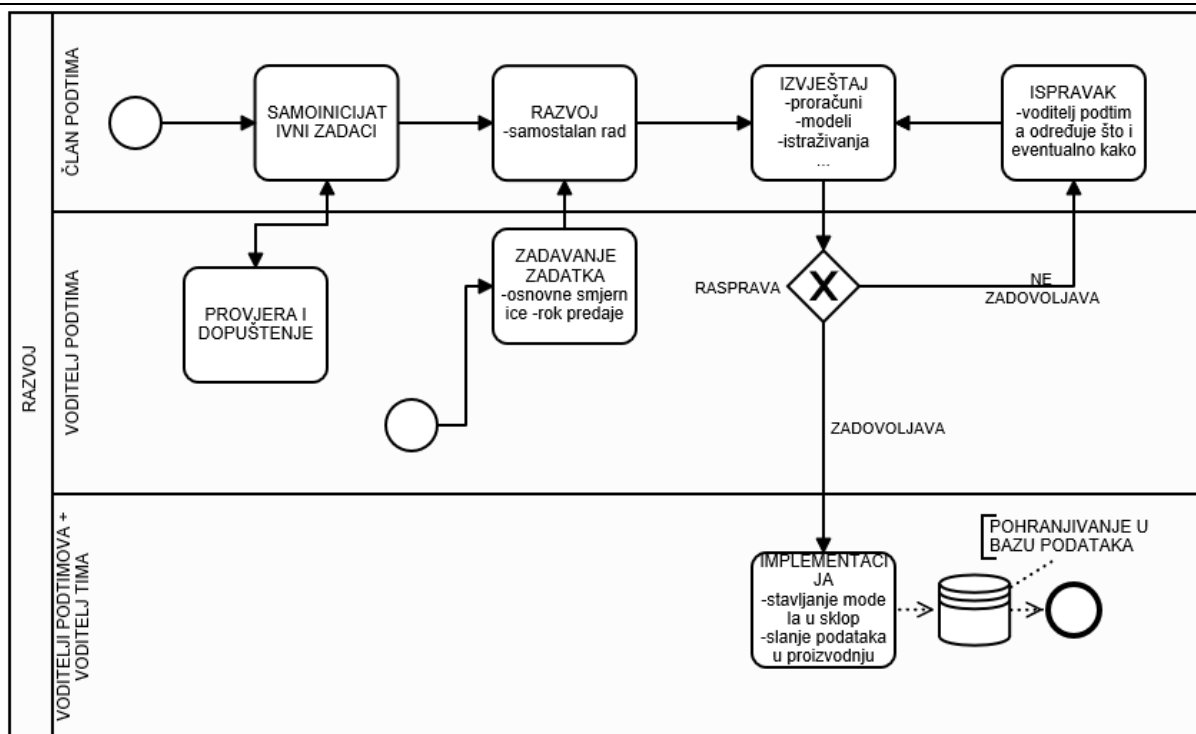
Nedostatak definiranih procedura se može riješiti uvođenjem dijagrama toka koji jasno prikazuju aktivnosti određenog procesa. Dijagrame sam radio prema normi BPMN 2.0 u programu Camunda Modeler.



Slika 19. Sučelje programa Camunda Modeler

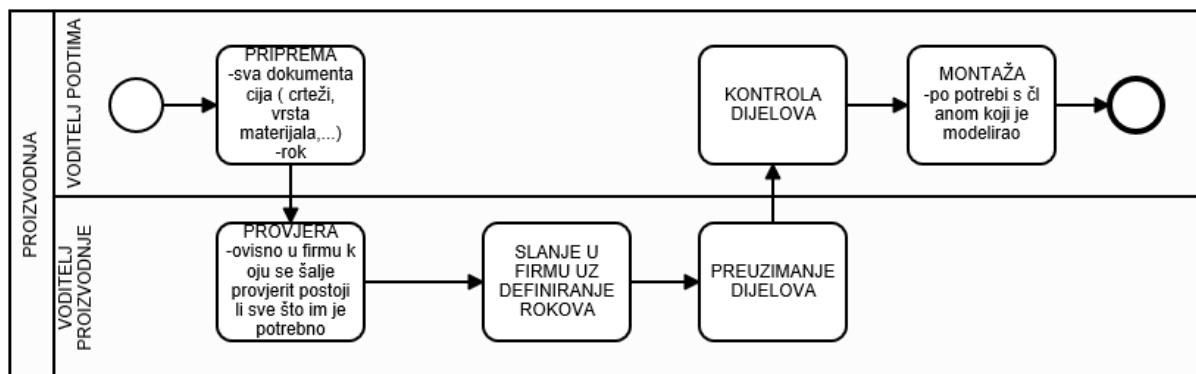
Definiranjem dijagrama toka za razvoj i poštivanjem istog bi se riješio problem nedostatka dokumentacije. Svaki član podtima izvršava zadatak koji si je sam zadao uz odobrenje voditelja podtima ili mu ga je zadao sam voditelj podtima. Voditelj podtima mu je dužan opisati zadatak te odrediti krajnji rok izvršenja. Član tima zatim samostalno radi na razvoju nekog dijela bolida te radi izvještaj koji se sastoji od korištenih proračuna, 3D modela i radioničkih crteža. Izvještaj predaje voditelju podtima koji ga pregleda te ga uz pomoć ostalih voditelja implementira u cijeli sklop bolida. Ako voditelj podtima prilikom pregleda izvještaja uvidi neku pogrešku, vraća ga članu tima koji ga je radio te ju je on dužan ispraviti [Slika 20].





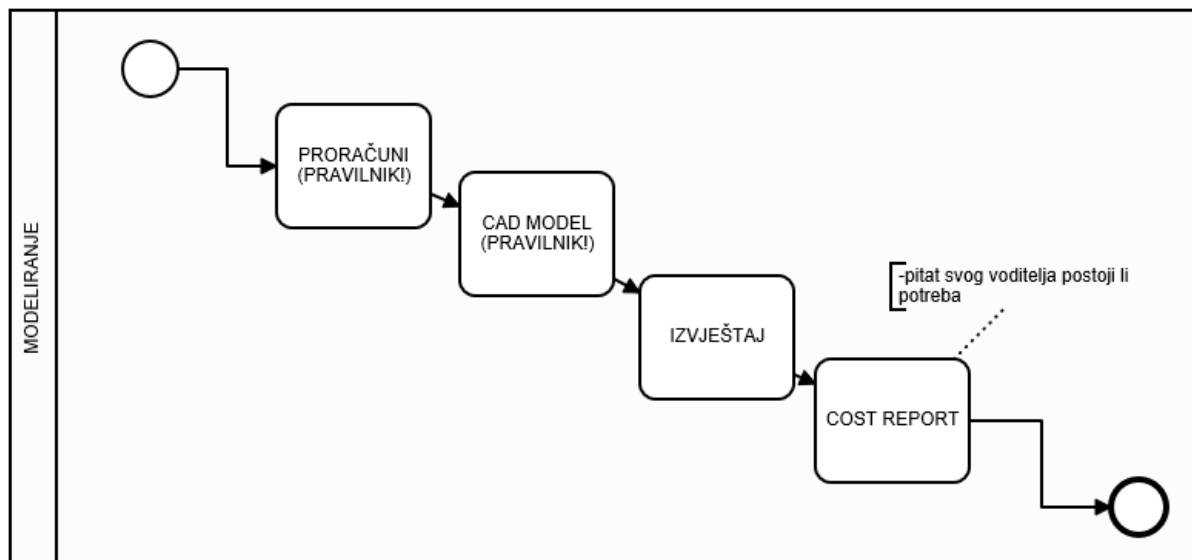
Slika 20. Dijagram toka razvoja dijelova bolida

Kako bi se zastoji u proizvodnji na koje tim može utjecati sveli na minimum, potrebno je definirati proceduru postupaka proizvodnje. Voditelj podtima šalje radioničke crteže voditelju proizvodnje te definira krajnji rok izrade. Voditelj proizvodnje zatim provjerava te crteže zadovoljavaju li potrebe poduzeća koje će izraditi taj crtež. Voditelj proizvodnje šalje sve potrebne materijale u poduzeće te s njima dogovara rok izrade. Nakon što je proizvodnja gotova, voditelj proizvodnje preuzima dijelove i daje ih voditelju podtima koji ih kontrolira. Prilikom montaže dijelova na bolid, voditelj podtima mora biti prisutan, dok je poželjno da bude prisutan i član koji je razvio pojedini dio [Slika 21].



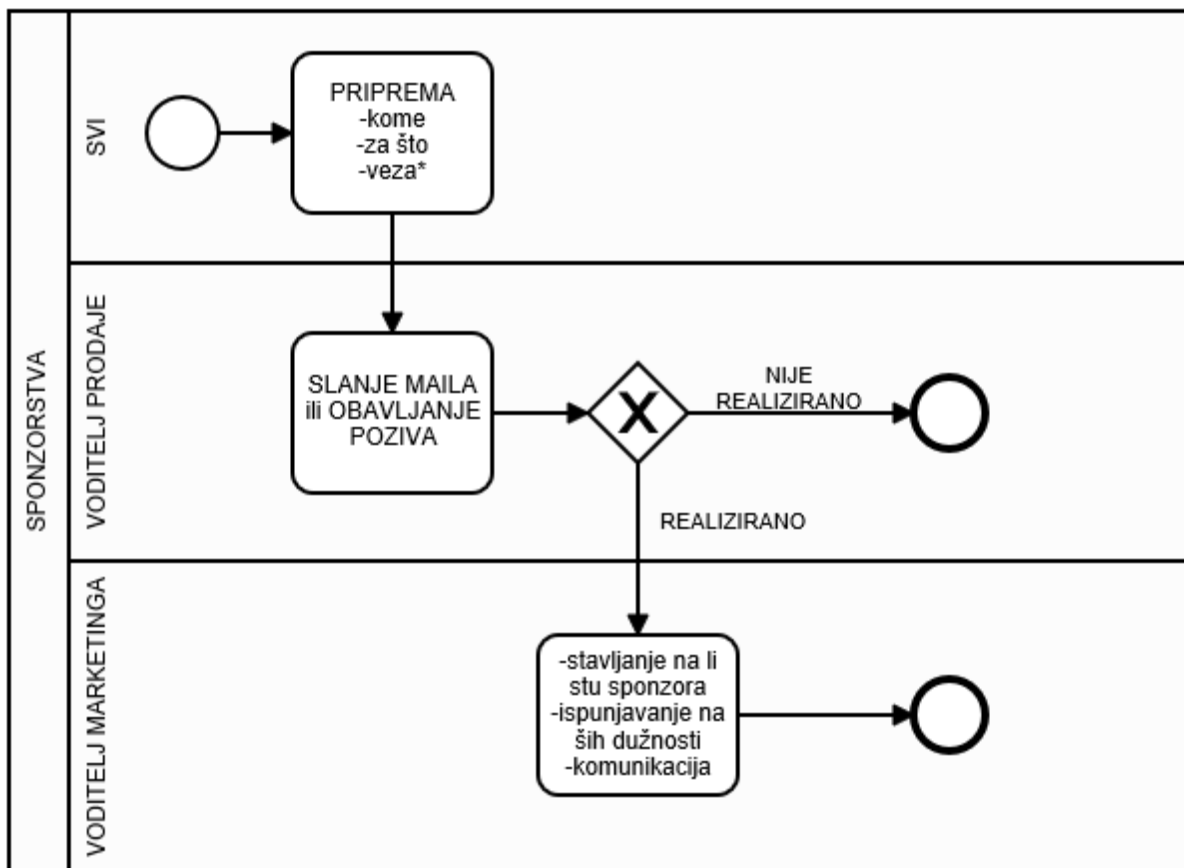
Slika 21. Dijagram toka proizvodnje dijelova bolida

Nedostatak pojedine dokumentacije dijelova je problem koji se može riješiti već pri samom modeliranju istih. Pri modeliranju nekog dijela bolida, osoba koja se time bavi mora detaljno proučiti pravilnik izdan od strane Formule Student. Član zatim radi proračun i 3D model dijela te piše izvještaj. Po potrebi se izrađuje izvještaj troškova tog dijela koji je potreban za natjecanje [Slika 22].



Slika 22. Dijagram toka modeliranja dijelova bolida

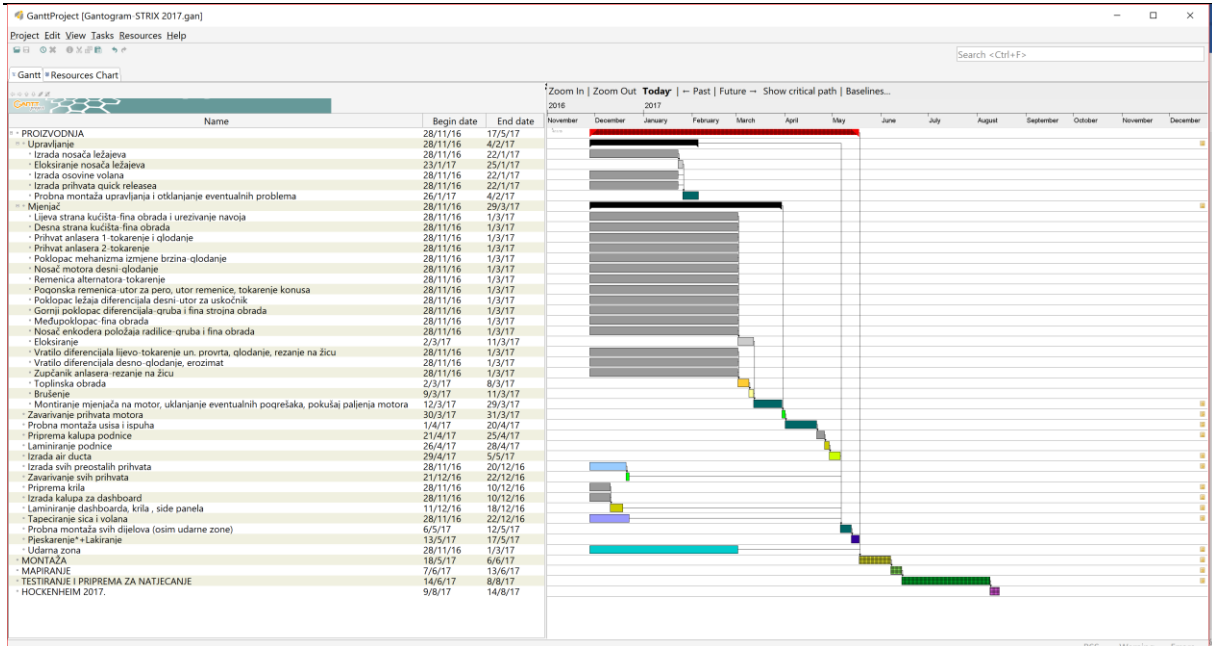
Nedostatak marketinških aktivnosti je bila posljedica neodgovarajuće komunikacije između prodaje i marketinga zbog nepostojanja jasno definirane procedure. Svi članovi tima sudjeluju u potrazi za sponzorima te svoje prijedloge uz eventualne kontakte daju voditelju prodaje. On zatim kontaktira sponzora te odlazi na sastanak, ako je potrebno. Ako je sponzorstvo realizirano, sve potrebne podatke o sponzoru daje voditelju marketinga koji slaže listu sponzora te se brine da su sve dužnosti prema sponzoru izvršene. Također, daljnju komunikaciju s tim sponzorom vrši voditelj marketinga [Slika 23].



Slika 23. Dijagram toka traženja sponzora

### 5.5.2. Gantogram

Za prikaz vremena potrebnih za dovršetak projekta odabrao sam gantogram zbog lako shvatljivog grafičkog prikaza. Na gantogramu su jasno vidljive povezane aktivnosti i vrijeme ciklusa potrebno za dovršetak projekta. Gantogram sam izradio pomoću programa GanttProject [Slika 24], a kompletan gantogram se nalazi u prilogu.

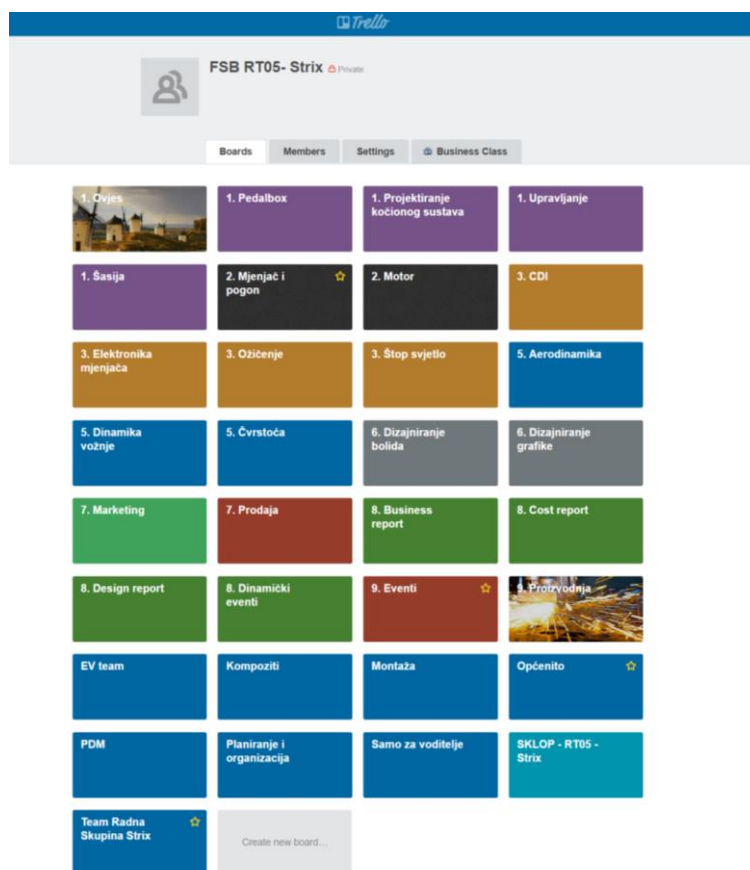


Slika 24. Sučelje programa GanttProject

### 5.5.3. Kanban

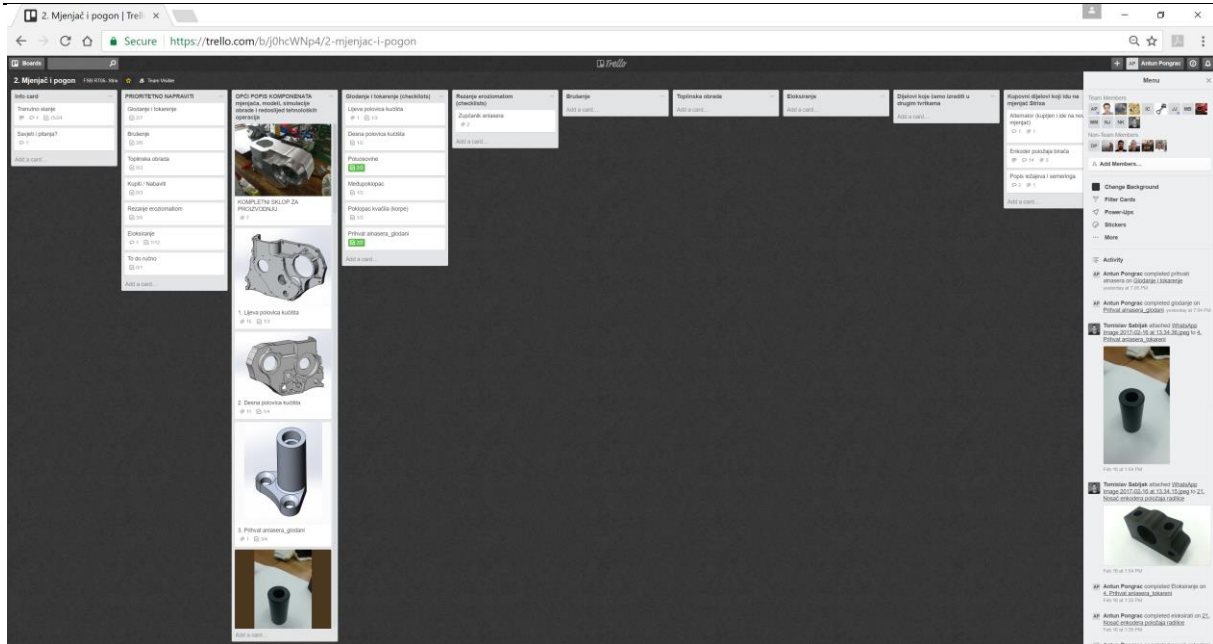
Za prikaz zadataka odlučio sam koristiti Kanban metodu. Ova metoda jasno prikazuje zadatke potrebne za dovršetak projekta i one koji su dovršeni kako ne bi došlo do pomutnje. Kako je to studentski projekt te članovi tima nisu u mogućnosti konstantno biti na jednom mjestu gdje bi se nalazila ploča sa zadacima, odabrano je internetsko rješenje pomoću stranice [www.trello.com](http://www.trello.com). Ona nam omogućava stvaranje beskonačnog broja ploča i kartica na njima. Također, dostupna je i mobilna aplikacija pomoću koje članovi tima mogu u bilo kojem trenutku provjeriti stanje ploče. Trello kombinira jednostavno i elegantno korisničko sučelje te snažne i fleksibilne značajke. Organizacija Trelle ovisi isključivo o korisnicima.

Napravio sam nekolicinu zasebnih ploča za koje smatram da su bitne za funkcioniranje tima. Organizacija ploče koja pripada određenom podtimu prepuštena je voditelju tog podtima uz savjetovanje s voditeljom projekta. Ostale ploče koje nisu direktno vezane uz određeni podtim koriste svi članovi tima te su posložene od strane voditelja projekta.

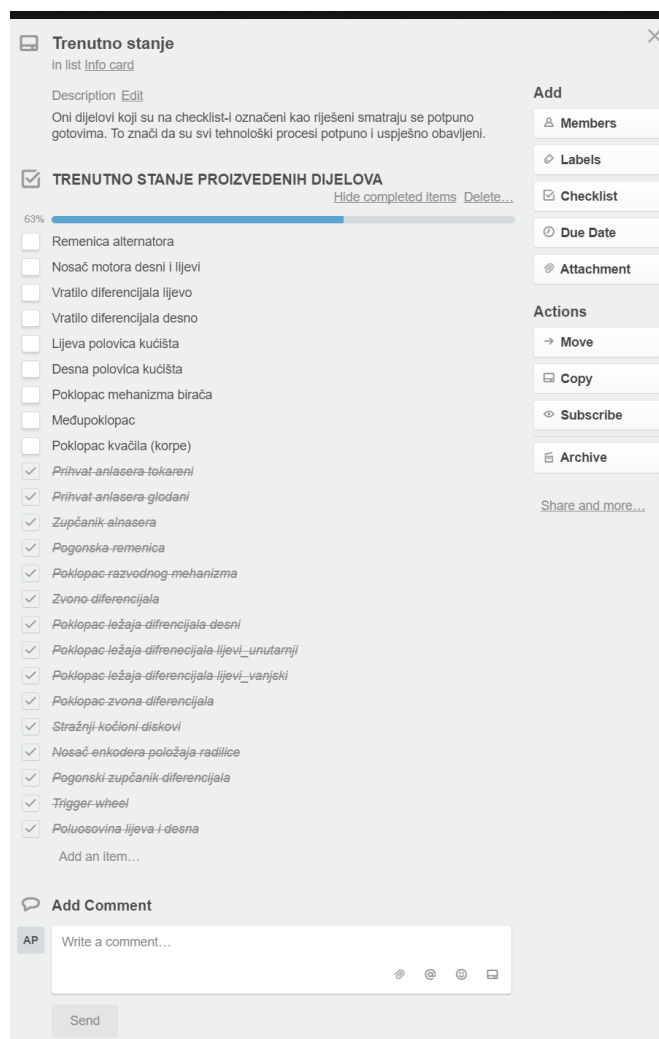


**Slika 25. Ploče stvorene na stranici Trela**

Alati dostupni na Trello nam omogućavaju jasan opis zadatka te jednostavno vođenje dovršenosti. Od velikog značaja je mogućnost korištenja spiska na kojem se mogu označiti gotovi zadaci te se automatski prikazuje postotak gotovosti zadataka. Također, mogućnost stavljanja različitih vrsta datoteka nam je od velike koristi. Naime, članovi podtimova mogu prenijeti kod svojeg zadatka svoje izvještaje što olakšava rad voditelju podtima.



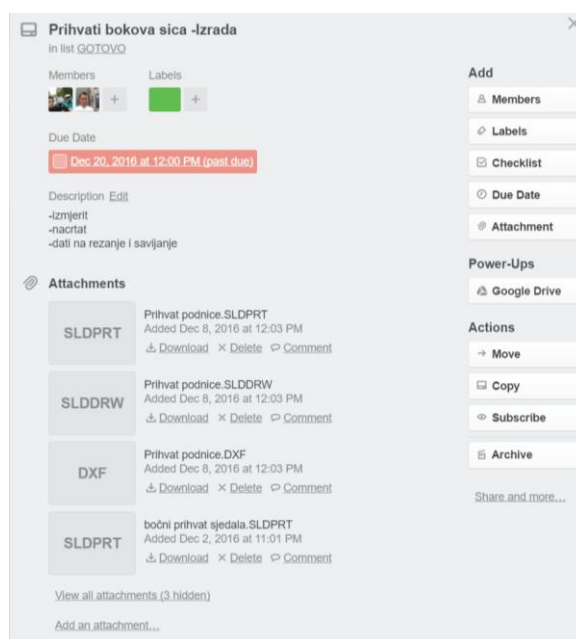
Slika 26. Prikaz ploče vezane uz izradu pogonskog sustava bolida



Slika 27. Prikaz kartice 1

Na slici se jasno vidi koji su izrađeni dijelovi te koji je njihov postotak [Slika 27] .

Stranica nam omogućuje stavljanje oznaka pomoću raznih boja. Odlučio sam staviti zelenu za gotov zadatak, žutu za zadatak koji je trenutno u izradi te crvenu za zadatak za koji se još ništa nije napravilo. Također, moguće je dodati datum izvršenja zadatka te razne priloge u bilo kojem obliku [Slika 28]. Za svaki zadatak se dodaju članovi odgovorni za njegovo izvršenje. Označavanje članova u pojedinim zadacima je vrlo jednostavno. Ovisno o tome želite li označiti sve članove ploče - @board, članove određene kartice - @card ili nekog posebno - @imečlana.



**Slika 28. Prikaz kartice 2**

Preglednost i jednostavnost programa je razlog zbog kojeg se korištenje Trella prihvatilo u timu.

---

## **6. ZAKLJUČAK**

Industrijsko inženjerstvo je bitan dio svakog industrijskog postrojenja od nastanka industrije. Kroz povijest mnogi su događaji i ljudi pridonijeli razvoju ove profesije i njezinih metoda. Područje primjene Industrijskog inženjerstva je vrlo široko jer skoro sva poduzeća teže većoj produktivnosti i kvaliteti. Zbog toga je ta profesija korištena u uglavnom svim područjima koja se ili bave proizvodnjom ili davanjem nekih usluga.

Metode navedene u ovom radu su nastale upravo radi potrebe povećanja produktivnosti i kvalitete. Pojedine metode su nastale na temelju razvoja nekih statističkih ili matematičkih modela, neke su nastale poboljšanjem postojećih metoda, dok su neke proizvod logičkog razmišljanja ljudi koji su trebali riješiti određeni problem.

Primjenjene metode u FSB Racing Teamu su olakšale i definirale princip rada tima te samim time ovaj rad predstavlja odličnu podlogu za buduće naraštaje studenata koji će se baviti izradom bolida za natjecanja Formule Student u FSB Racing Teamu.



**LITERATURA**

- [1] Kjell B. Zandin, MAYNARD'S INDUSTRIAL ENGINEERING HANDBOOK, 5.izdanje, The McGraw-Hill Companies, 2004. godine
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/James\\_Watt](https://en.wikipedia.org/wiki/James_Watt) (18.2.2017.)
- [3] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Adam\\_Smith](https://hr.wikipedia.org/wiki/Adam_Smith) (18.2.2017.)
- [4] <https://www.nps.gov/resources/person.htm%3Fid%3D129> (18.2.2017.)
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Frederick\\_Winslow\\_Taylor](https://en.wikipedia.org/wiki/Frederick_Winslow_Taylor) (18.2.2017.)
- [6] <https://www.asme.org/career-education/articles/management-professional-practice/lillian-moller-gilbreth> (18.2.2017.)
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Gantt](https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Gantt) (18.2.2017.)
- [8] <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2013/08/05/model-t-facts.html> (18.2.2017.)
- [9] <http://www.quality-assurance-solutions.com/Walter-Shewhart.html> (18.2.2017.)
- [10] <http://knote.com/2015/02/02/toyota-revolutionized-the-car-industry-whos-next/> (18.2.2017.)
- [11] Arik Ragowsky, Toni M. Somers, ENTERPRISE RESOURCE PLANNING, Journal of Management Information Systems, 2002. godine
- [12] Florent Frederix, AN EXTENDED ENTERPRISE PLANNING METHODOLOGY FOR THE DISCRETE MANUFACTURING INDUSTRY, European Journal of Operational Research, 2001. godine
- [13] <http://www.cimermansoftware.hr/erp.aspx> (18.2.2017.)
- [14] Alpeza M. UČEĆA ORGANIZACIJA, predavanja, Ekonomski fakulte, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, 2010. godine
- [15] Knežević B., UPRAVLJANJE LANCEM NABAVE, predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, 2012. godine
- [16] F. Veljović, M. Imamović, H. Bajrić, AGILNA PROIZVODNJA U FUNKCIJI ODRŽAVANJA, SIGURNOSTI I KVALITETE, *Sigurnost*, 1 (4), 2006. godina
- [17] INDUSTRIAL ENGINEERING ROLES IN INDUSTRY, Institue od Industrial Engineers -Industry Advisory Board, prezentacija
- [18] J. Santiago, D. Magallon, CRITICAL PATH METHOD, Stanford University, 2009. godine
- [19] N. Štefanić, TEHNIKE MREŽNOG PLANIRANJA, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016. godine

- [20] N. Štefanić, M. Hegedić, VREMENSKI DIJAGRAMI – GANTOGRAMI, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016. godine
- [21] Lj. Šimunović, TEORIJE REPOVA/REDOVA, predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2012. godine
- [22] D. Taboršak: Studij rada, Orgadata, Zagreb, 1994.
- [23] James P. Womack, Daniel T.Jones, LEAN THINKING: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated, Free Press, 2003.
- [24] Štefanić N., Tošanović N., LEAN PROIZVODNJA, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 18.04.2012.
- [25] Nor Azian Abdul Rahman, Sariwati Mohd Sharif, Mashitah Mohamed Esa; LEAN MANUFACTURING CASE STUDY WITH KANBAN SYSTEM IMPLEMENTATION ; International Conference on Economics and Business Research 2013
- [26] <http://leanmanufacturingtools.org/494/poka-yoke/> (17.2.2017.)
- [27] <http://www.leanproduction.com/smed.html> (17.2.2017.)
- [28] [http://courses.washington.edu/ie337/Value\\_Stream\\_Mapping.pdf](http://courses.washington.edu/ie337/Value_Stream_Mapping.pdf) (17.2.2017.)
- [29] Štefanić N., Hegedić M., VSM – VALUE STREAM MAPPING, MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2017.godine.
- [30] Y.H. Kwak, F. T. Anbari, BENEFITS, OBSTACLES, AND FUTURE OF SIX SIGMA APPROACH, Technovation, 2004. godine
- [31] <http://miroslavjakovljevic.iz.hr/o-aluminiju/dijagram-tijeka-procesa-2/> (17.2.2017.)
- [32] QC (QI) ALATI – GRAFIČKO PRIKAZIVANJE, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2003.
- [33] H. A. Linstone, M. Turoff, THE DELPHI METHOD, University of Southern California, 2002. godine
- [34] Ž. Turkalj, M. Briš Alić, PREDVIĐANJE POTRAŽNJE, predavanja, Ekonomski fakultet, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
- [35] F. Galetić, METODE REGRESIJSKE ANALIZE, predavanja, Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- [36] R. Tanjga, M. Tanjga, TEORIJA ODLUČIVANJA, Visoka škola za ekonomiju i informatiku, Prijedor, 2014. godine
- [37] M. Daraboš Longin, STABLO ODLUČIVANJA, predavanja, Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 11.11.2011.

- 
- [38] D. Mundar, ANALIZA OSJETLJIVOSTI, predavanja, Fakultet organizacije i informatike, Sveučilište u Zagrebu, 17.10.2011.
- [39] <http://asq.org/learn-about-quality/idea-creation-tools/overview/affinity.html> (20.2.2017.)
- [40] N. Štefanić, INDUSTRIJSKO INŽENJERSTVO, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2011. godine

## **PRILOZI**

- I. Gantogram
- II. CD-R disc

