

# Upravljanje životnim ciklusom električnog automobila

---

Šarić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*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:235:491754>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-25**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Antonio Šarić**

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

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

Student:

Antonio Šarić

Zagreb, 2019. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Nedeljku Štefaniću za ukazano povjerenje te pruženu pomoć i savjete tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se također Vedranu Tare, voditelju Digital Mock – up odjela unutar tvrtke Rimac automobili d.o.o, za stručno vodstvo i konstruktivne kritike tijekom pisanja ovog rada.

Hvala dragom prijatelju i kolegi Marinu te svim prijateljima, koji su obogatili studentski život na razne načine i poticali na iskrene vrijednosti, zabavu, ustrajnost i trud.

Posebna zahvala mojoj djevojci Ani koja je pružala ljubav, bezuvjetnu podršku i nesebičnu pomoć tijekom trajanja diplomskog studija te izrade diplomskog rada.

Velika Hvala baki Mili koja je molitvom dragom Bogu bila najveći zagovornik završetka mog studija. Hvala rodbini za svu pruženu pomoć.

Najveća zahvala ide mojoj majci Tonki te mojim sestrama Antoneli i Ivi koje su tijekom ovih godina imale ljubavi, strpljenja i savjeta te tako bile oslonac i snaga u svim životnim situacijama. Ovo je za vas.

Antonio Šarić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

|                                                              |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum                                                        | Prilog |
| Klasa:                                                       |        |
| Ur. broj:                                                    |        |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Antonio Šarić**

Mat. br.: 0035187915

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Upravljanje životnim ciklusom električnog automobila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Lifecycle management of the electric car**

Opis zadatka:

Kako bi tvrtke mogle plasirati svoje proizvode na strana tržišta, jedan od zahtjeva koji se postavlja pred njih je izrada studije upravljanja životnim ciklusom proizvoda. Takva studija obuhvaća sve aktivnosti vezane za odabrani proizvod: projektiranje proizvoda, izrada tehnoloških postupaka, proizvodnju, eksploataciju te proces recikliranja. Kako se radi o složenom postupku, to se na tržištu može pronaći veći broj softverskih rješenja koji se bave područjem upravljanja životnog ciklusa proizvoda.

U radu je potrebno:

- Obraditi teoretske osnove područja upravljanja životnim ciklusom proizvoda
- Detaljno opisati sve faze životnog ciklusa kroz koji prolazi neki proizvod
- Sistematizirati softverska rješenja koja se koriste za praćenje i upravljanje životnog ciklusa proizvoda
- Na primjeru električnog automobila, napraviti detaljnu analizu njegovog životnog ciklusa
- Izraditi softversku podršku za praćenje ključnih pokazatelja za vrijeme životnog ciklusa proizvoda
- Razraditi metodologiju upravljanja životnim ciklusom proizvoda
- Kvantificirati postignute rezultate

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

Zadatak zadan:

2. svibnja 2019.

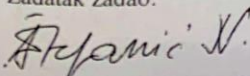
Datum predaje rada:

4. srpnja 2019.

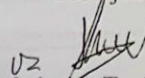
Predvideni datum obrane:

10., 11. i 12. srpnja 2019.

Zadatak zadao:

  
Prof.dr.sc. Nedeljko Štefanić

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| POPIS SLIKA .....                                                                        | III |
| 1. UVOD.....                                                                             | 1   |
| 1.1. Prije PLM-a.....                                                                    | 2   |
| 1.1.1. 1950. -e: Configuration managment .....                                           | 2   |
| 1.1.2. 1970. -e i 1980. -e .....                                                         | 2   |
| 1.1.3. Jeep Grand Cherokee .....                                                         | 3   |
| 2. Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (Product lifecycle managment – PLM).....      | 5   |
| 2.1. Paradigma.....                                                                      | 5   |
| 2.2. Što je PLM? .....                                                                   | 6   |
| 2.3. Proizvod .....                                                                      | 8   |
| 2.4. Životni ciklus proizvoda .....                                                      | 10  |
| 2.4.1. Razvoj proizvoda .....                                                            | 11  |
| 2.4.2. Razvoj, konceptualizacija te proizvodnja .....                                    | 11  |
| 2.4.3. Plasman proizvoda na tržište .....                                                | 13  |
| 2.4.4. Uporaba proizvoda – faza rasta i zrelosti.....                                    | 14  |
| 2.4.5. Faza opadanja.....                                                                | 17  |
| 2.5. Sustavi unutar PLM-a .....                                                          | 17  |
| 2.5.1. Upravljanje statusom/stanjem dokumenata i informacija.....                        | 18  |
| 2.5.2. Kreiranje dokumenta (part, assembly, drawing itd.).....                           | 18  |
| 2.5.3. Distribucijski menadžment .....                                                   | 19  |
| 2.5.4. Pretraživanje i sljedivost .....                                                  | 20  |
| 2.5.5. Upravljanje strukturama proizvoda.....                                            | 21  |
| 2.5.6. Upravljanje promjenama.....                                                       | 22  |
| 2.5.7. Transformiranje i transferiranje datoteka.....                                    | 24  |
| 2.5.8. Komunikacijski kanal .....                                                        | 25  |
| 2.6. Odjeli tvrtke u kojima se PLM koristi .....                                         | 25  |
| 2.6.1. Odjel istraživanja i razvoja (R&D) .....                                          | 25  |
| 2.6.2. Proizvodnja .....                                                                 | 26  |
| 2.6.3. Post – prodajne usluge .....                                                      | 26  |
| 2.6.4. Prodaja i marketing .....                                                         | 28  |
| 2.6.5. Dobavljači i kooperanti.....                                                      | 30  |
| 2.6.6. Odjel nabave .....                                                                | 31  |
| 2.7. Povezanost PLM-a s drugim sustavima .....                                           | 33  |
| 2.7.1. Enterprise resource planning – ERP .....                                          | 34  |
| 2.7.2. CAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing) aplikacije.....                     | 36  |
| 2.7.3. EAI (Enterprise Application Integration) – Integracija poslovnih aplikacija ..... | 37  |
| 2.8. Rezultati primjene PLM-a.....                                                       | 38  |
| 2.8.1. Maschio.....                                                                      | 39  |
| 2.8.2. Grand Soleil .....                                                                | 39  |
| 2.8.3. Toyota .....                                                                      | 39  |
| 2.8.4. Volvo.....                                                                        | 40  |
| 3. Programska rješenja na tržištu .....                                                  | 42  |
| 3.1. Siemens .....                                                                       | 42  |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. Dassault Systemes 3DEXPERIENCE .....                         | 45 |
| 3.2.1. Rimac automobili i Dassault systemes 3DExperience.....     | 46 |
| 3.3. Ostali PLM sustavi.....                                      | 47 |
| 4. Razvoj električnog automobila .....                            | 49 |
| 4.1. Povijest razvoja električnih automobila .....                | 49 |
| 4.2. Rimac automobili d.o.o.....                                  | 53 |
| 4.3. Vremenski tijek nastajanja automobila .....                  | 54 |
| 4.4. Faze životnog ciklusa električnog automobila.....            | 55 |
| 4.4.1. Idejna faza .....                                          | 55 |
| 4.4.2. Konceptualna faza.....                                     | 56 |
| 4.4.3. Konstruiranje i razvoj električnog automobila.....         | 57 |
| 4.4.4. Proizvodnja i montaža.....                                 | 75 |
| 4.4.5. Eksploatacija .....                                        | 76 |
| 4.4.6. Kraj životnog vijeka automobila.....                       | 78 |
| 5. Softversko rješenje za praćenje razvojnog ciklusa .....        | 80 |
| 5.1. Microsof Excel.....                                          | 80 |
| 5.2. Digitalni blizanac .....                                     | 84 |
| 5.2.1. Koncept digitalnog blizanca u električnom automobilu ..... | 87 |
| 6. ZAKLJUČAK.....                                                 | 91 |
| LITERATURA.....                                                   | 93 |
| PRILOZI.....                                                      | 95 |

## POPIS SLIKA

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Jeep Grand Cherokee 1992. godine [] .....                                                                                                                  | 3  |
| Slika 2. PLM struktura .....                                                                                                                                        | 7  |
| Slika 3. Proizvodi .....                                                                                                                                            | 8  |
| Slika 4. Prikaz strukture razina automobila [vlastito 2019.] .....                                                                                                  | 9  |
| Slika 5. Dijagram životnog ciklusa proizvoda [7].....                                                                                                               | 10 |
| Slika 6. Prototip.....                                                                                                                                              | 12 |
| Slika 7. Steve Jobs(pok.) prezentira prvi iPhone .....                                                                                                              | 13 |
| Slika 8. BMW Serija 3 sedan (gore lijevo); Serija 3 Touring (gore desno); Serija 4 Coupe<br>(dolje lijevo); Serija 4 Cabrio (dolje desno) .....                     | 15 |
| Slika 9. Unutrašnjost Volkswagena Golf VII (2013. godina) .....                                                                                                     | 16 |
| Slika 10. Unutrašnjost Volkswagena GOLF VII nakon redizajna (2017.godina) .....                                                                                     | 16 |
| Slika 11. Primjer stanja kroz koje dokument prolazi unutar PLM sustava .....                                                                                        | 18 |
| Slika 12. Shematski prikaz procesa promjene.....                                                                                                                    | 24 |
| Slika 13. Položaji oznake identifikacijskog broja vozila .....                                                                                                      | 27 |
| Slika 14. Mercedes - Benz on – line konfigurator EQC modela.....                                                                                                    | 29 |
| Slika 15. Proces traženja i nabave .....                                                                                                                            | 32 |
| Slika 16. PLM povezanost s drugim sustavima .....                                                                                                                   | 33 |
| Slika 17. Struktura funkcioniranja ERP sustava [11].....                                                                                                            | 34 |
| Slika 18. Veza između PLM sustava i ERP sustava .....                                                                                                               | 35 |
| Slika 19. Integracija poslovnih aplikacija .....                                                                                                                    | 37 |
| Slika 20. Nekadašnji način integracije među sustavima .....                                                                                                         | 37 |
| Slika 21. Virtualno (gore) i stvarno (dolje) okruženje pogona .....                                                                                                 | 40 |
| Slika 22. KAMAZ model 5490 CAD model podvozja u Siemens NX-u .....                                                                                                  | 43 |
| Slika 23. Simulacija proizvodnog procesa u Siemens Teamcenter sustavu.....                                                                                          | 44 |
| Slika 24. 3DExperience kompas. ....                                                                                                                                 | 45 |
| Slika 25. Bosch Head Up display.....                                                                                                                                | 46 |
| Slika 26. Električno vozilo Thomasa Parkera .....                                                                                                                   | 50 |
| Slika 27. Tesla roadster 2008. godine .....                                                                                                                         | 51 |
| Slika 28. Modeli električnih automobila: Renault Zoe (gore lijevo); VW e-Golf (gore desno);<br>Hyundai Kona Electric (dolje lijevo); Audi e-tron (dolje desno)..... | 52 |
| Slika 29. Sjedište tvrtke u Sv. Nedelji pored Zagreba .....                                                                                                         | 53 |
| Slika 30. Vremenski prikaz programa nastajanja automobila [3] .....                                                                                                 | 54 |
| Slika 31. Konceptualni prikaz dizajna sustava aktivne aerodinamike .....                                                                                            | 56 |
| Slika 32. V dijagram u SE pristupu.....                                                                                                                             | 60 |
| Slika 33. Timovi unutar Vehicle engineering odjela.....                                                                                                             | 61 |
| Slika 34. Body sustav automobila .....                                                                                                                              | 62 |
| Slika 35. Trim sustav automobila.....                                                                                                                               | 63 |
| Slika 36. Sustav podvozja automobila .....                                                                                                                          | 63 |
| Slika 37. Powertrain sustav automobila .....                                                                                                                        | 64 |
| Slika 38. Simulacija udara u ravnu prepreku .....                                                                                                                   | 65 |
| Slika 39. Analiza aerodinamike vozila: digitalno (gore); stvarno (dolje) .....                                                                                      | 66 |
| Slika 40. Digital Mock - up analiza interferencija .....                                                                                                            | 67 |
| Slika 41. Simultani inženjering – tim.....                                                                                                                          | 68 |
| Slika 42. Izrada testne mule Rimac C_Two .....                                                                                                                      | 70 |
| - Slika 43. Struktura naziva objekta unutar 3DExperience sustava.....                                                                                               | 72 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 44. Procedura sazrijevanja CAD i BOM dokumenata .....           | 73 |
| Slika 45. Zahtjev za promjenu na objektu .....                        | 75 |
| Slika 46- Proizvodno postrojenje u modulu Delmia .....                | 76 |
| Slika 47. Predviđanje cijene Li – ion baterije kroz godine [23] ..... | 77 |
| Slika 48. Broj korisnika 3DExperience platforme .....                 | 82 |
| Slika 49. Broj CAD objekata sa statusom „Spreman“ .....               | 82 |
| Slika 50. DMU analiza: broj pogrešaka .....                           | 82 |
| Slika 51. Kontrola kvalitete: analiza pogrešaka .....                 | 83 |
| Slika 52. Odjel proizvodnje: analiza pogrešaka .....                  | 83 |
| Slika 53. Odjel montaže: analiza pogrešaka .....                      | 83 |
| Slika 54. Ilustracija digitalnog blizanca automobila .....            | 85 |
| Slika 48. Infrastruktura digitalnog blizanca .....                    | 86 |
| Slika 49. Rimac C_two senzori .....                                   | 87 |
| Slika 57. Infrastruktura digitalnog blizanca .....                    | 90 |

## **SAŽETAK**

Napredak tehnologije, digitalizacija procesa planiranja, konstruiranja, proizvodnje te umreženost proizvoda pomoću Interneta stvari ključni su faktori nove industrijske revolucije koju se naziva Industrija 4.0. Najveći izazov tvrtkama u industriji koja se konstantno mijenja i značajno je zadržavanje pozicije na tržištu. U okviru ovog rada opisane su metodologije, pristupi i sustavi koji su sastavni dio integriranog pristupa upravljanja životnim ciklusom proizvoda. Na primjeru električnog automobila, uz naglasak na fazu razvoja, detaljno su opisane sve faze životnog ciklusa kroz koje tako kompleksan proizvod prolazi. Također, predložene su metode za praćenje i analiziranje cjelokupnog životnog ciklusa električnog automobila.

Ključne riječi: upravljanje životnim ciklusom proizvoda, električni automobil, Industrija 4.0, digitalni blizanac

## **SUMMARY**

Advancement of technology, digitalisation in processes of planning, design, manufacturing and networking of products with Internet of things are key factors of new industrial revolution which is now called Industry 4.0. Major challenge for companies in this constantly and significantly changing industry is holding a position on the market. In this master thesis, methodologies, approaches and systems have been described as key part of integrity approach to product life cycle management. In example of electric car, with a focus on development phase, all life cycle phases of this complex product have been thoroughly described. Moreover, methods for monitoring and analysing of overall electric car life cycle have been proposed.

Key words: Product lifecycle management, electric car, Industry 4.0, digital twin

## 1. UVOD

Svijet se nalazi pod reflektorima nove industrijske revolucije službeno nazvane Industrija 4.0. Ona zahvaća gotovo sva područja življenja današnjih generacija pod okriljem i uz pomoć Interneta stvari (eng. *Internet of things*). Pojam je to koji podrazumijeva tehnologiju, uređaje i sustave povezane u svakom trenutku realnog vremena pomoću Interneta.

U trendu silovitog razvoja je i automobilska industrija. Čvrsto utemeljeni argumenti:

- nužno smanjenje emisije štetnih plinova uzrokovanih izgaranjem fosilnih goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem,
- jeftinija i čišća energija,
- e-mobilnost,
- smanjenje ljudskih žrtava u prometu

usmjeruju planiranje, konstruiranje i proizvodnju automobila prema potpunoj elektrifikaciji pogona i uvođenju novih sigurnosnih sustava koji postaju standard. Svjedoči se tomu kako mnogi veliki proizvođači automobili već desetljeće unazad proizvode automobile s potpuno električnim pogonom koji se nalaze na tržištu. Također, aktivno se radi na razvoju sustava za autonomnu vožnju s ciljem smanjenja ljudskih žrtava u prometu. Preduvjet za to je uvođenje IoT-a.

Znatan iskorak tehnologije i tehničkih rješenja unutar automobila za sobom povlači velike količine znanja, podataka, vremena i truda inženjera, radnika, dobavljača i svih ostalih koji su direktno ili indirektno uključeni u razvojni proces od ideje do finalnog proizvoda. Planiranje i praćenje faza razvoja i proizvodnje automobila usustavljeno je pomoću raznih sustava integriranih u naziv **PLM** (od eng. *Product Lifecycle Management*), odnosno Upravljanje životnim ciklusom proizvoda. Sustav je to koji početke vuče sredinom 80ih godina prošlog stoljeća i u današnje je vrijeme apsolutni preduvjet za ozbiljan razvoj i planiranje procesa proizvodnje te plasiranje proizvoda na tržište.

Svrha je ovog rada čitatelju približiti teoretske osnove i procese integrirane u PLM. Glavna smjernica je na primjeru razvoja električnog automobila tvrtke Rimac Automobili prikazati kako integracija i digitalizacija kroz PLM sustav 3DEXperience (Dassault Systemes) koristi procesu razvoja automobila, razrada metodologije rada te ponuda softverskog rješenja za praćenje ciklusa.

### 1.1. Prije PLM-a

U industrijama koje su se bavile proizvodnjom zbog povećanja kompleksnosti proizvoda sredinom prošlog stoljeća osjećala se potreba za organizacijom toka znanja, informacija, ljudskih potencijala, proizvodnih procesa s konačnim ciljem povećanja koeficijenta korisnosti razvojnog i proizvodnog procesa. Slijedi kratak prikaz za PLM bitnih povijesnih događaja.

#### 1.1.1. 1950. -e: *Configuration managment*

Ovaj koncept uvelo je Ministarstvo obrane Sjedinjenih Američkih Država u godinama poslije Drugog svjetskog rata. Configuration managment služio je kao alat koji prati životni ciklus obrambenog sustava. Pomoću njega mnogo se lakše moglo kontrolirati svojstva sustava, njegove funkcije te stvarne fizičke atribute koji su uz sustav vezani. Promjene i nužna poboljšanja unutar takve strukture uz CM bilo je mnogo lakše provoditi iz razloga što je uzročno – posljedična veza važnih odluka bila uočljivija. Stoga, ukoliko bi došlo do krive odluke, ovakav sustav upravljanja „na vrijeme“ bi ju prepoznao kao opasnu za čitavu strukturu ili podstrukturu.

Razumljivo je kako institucija poput Ministarstva obrane SAD-a raspolaže novčanim sredstvima koji se mjere u milijardama i bilijunima. Tako je i tada korištenje prvih računala koja su pomagala Configuration Managment bilo rezervirano samo za takvu silu. Civilna industrija ovaj koncept je počela usvajati 60.-ih godina prošloga stoljeća.

Također valja napomenuti kako je Ministarstvo obrane kreiralo standarde kojih su se ugovorne strane trebali striktno pridržavati. Ti standardi bili su temelji na kojima su se zasnivala buduća tijela koja su donosili standarde iz područja upravljanja, kvalitete i interoperabilnosti uključujući: ISO, NATO, ANSI/EIA, GEIA itd.

#### 1.1.2. 1970. -e i 1980. -e

U desetljećima i godinama koje su uslijedile računala su postajala pristupačnija. Kompleksnost i raznolikost proizvoda rasla je eksponencijalno, a samim time i razvoj alata bez kojih praćenje trendova tehnološkog napretka jednostavno nije moguće.

Tvrtka United Computing u prodaju je 1972. godine pustila **UNIAPT**, prvo **CAM** (*Computer aided Manufacturing*) programsko rješenje.

1973. kupuje od tvrtke MCS programski kod ADAM (Automated Drafting and Machining) koji postaje temelj za proizvod, a komercijalno od 1975. prodavan je pod nazivom

Unigraphics. Unigraphics bio je jedan od prvih **CAD** ( *Computer Aided Design* ) alata, a postao je izrazito popularan u industriji. Kako je opseg podataka i **CAD** dokumenata postajao sve veći i veći, bilo je potrebno razviti sustav upravljanja tom količinom podataka. Iz te potrebe razvio se sustav koji se zove *Product Data Managment* (**PDM**) koji je u ranim fazama imao mnoštvo nedostataka iz razloga što su informacije bile dostupne isključivo konstrukcijskim odjelima.

Kroz 1980. -e ovi alati postali su apsolutni standard. Unigraphics (danas Siemens NX) jedna je od prvih kompanija koja je tržištu ponudila programsko sučelje koje objedinjuje navedene kratice (CAD, CAM, PDM) u preteču onoga što se danas naziva *Product Lifecycle Managment* (**PLM**).

### 1.1.3. *Jeep Grand Cherokee*

American Motor Corporation jedna je od kompanija koje su aktivno počele koristiti gore navedene sustave i sve njihove koristi kako bi ubrzala proizvodnju vozila. 1987. vlasnik AMC postao je Chrysler. Na sajmu u Detroitu 1992. godine predstavljen je prvi automobil u cijelosti konstruiran i proizveden uz pomoć CAD/CAM/PDM sustava. Bio je to Jeep Grand Cherokee, prikazan na Slici 1.



Slika 1. Jeep Grand Cherokee 1992. godine []

Na europskom tržištu prvo takvo vozilo bila je Opel (Vauxhall) Astra. Dakako da su i ostali proizvođači uvelike prepoznali te počeli koristiti prednosti poput:

- brže ocjenjivanja izvedivosti željenog dizajna
- brže planiranje i konstruiranje,
- reduciranje broja pogrešaka,
- povećanje kvalitete,
- . povećanje sigurnosti proizvedenih vozila

Iz svega navedenog može se zaključiti kako je u današnje vrijeme PLM osnova na kojoj tvrtke, kojima je glavni izvor prihoda specifičan proizvod, grade svoj uspjeh te bivaju konkurentne.

## 2. UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA (PRODUCT LIFECYCLE MANAGMENT – PLM)

### 2.1. Paradigma

Prema [1] PLM paradigma službeno se pojavila početkom 21. stoljeća. Do tada način upravljanja proizvodima koje je neka tvrtka proizvodila bila je segmentna odgovornost pojedinih odjela:

- Marketing je brinuo koje proizvode tržište traži
- Inženjeri su proizvod konstruirali
- Proizvodnja je proizvodila
- Post-sales odjel bio je podrška kupcima proizvoda (garancija, servis itd.)

Ovakav način poslovanja bilo je za vrijeme 20. stoljeća lako prepoznati unutar mnogo tvrtki, bio je općeprihvaćen. Pozadina toga jest ta da su stručnjaci zaposleni unutar pojedinog odjela bili najbolje obučeni za obavljanje aktivnosti za koje je odjel specijaliziran. Logički slijed bio je takav da su studenti na visokoškolskim ustanovama učili o potrebnim aktivnostima te potom kroz stručne prakse usvajali osnovna praktična znanja. Nakon toga uslijedilo bi zaposlenje u željenoj tvrtki na poziciju za koju su preduvjet bila stečena znanja na fakultetu. Zaposlenik bi od starijih kolega inženjera učio raditi posao i na istoj se poziciji godinama usavršavao. Vremenom je nastala potreba da odjeli ne rade isključivo ono za što su bili stručni. Odlučivalo se o organizaciji aktivnosti, dokumentaciji, računalnim sustavima te se radni djelokrug proširio. Problem je nastajao u situacijama kada npr. inženjeri nisu vladali dobrim organizacijskim sposobnostima ili kada je odjel marketinga odlučivao o računalnoj opremi u svojoj organizaciji. Kako je vrijeme odmicalo, granice između odjela su nestajale. Radili su se nepotrebno višestruki dokumenti s istom definicijom, protok informacija postajao je spor i netransparentan, a sve to vodilo je ka dužem razvojnem periodu te visokim troškovima. Naravno, u završnici putanje je kupac/korisnik koji proizvodom neće biti zadovoljan što direktno utječe na tvrtku koja od proizvedenog proizvoda prihvata novčana sredstva. Navedeno upućuje na to da je takvim organizacijama nužno potrebna strukturalna promjena pristupa poslovanju.

Potpuno novi način razmišljanja postupno je počeo poprimati oblike. Integracija i praćenje svih sustava usmjerenih na proizvod je neophodno. Product Lifecycle Managment postaje službena paradigma u poslovanju.

## 2.2. Što je PLM?

Postoji nekoliko obrazlaganja i definicija Product Lifecycle Managmenta. Prema [1] PLM je poslovna aktivnost upravljanja proizvodima koje tvrtka proizvodi tokom čitavog životnog ciklusa (od ideje do recikliranja) na najučinkovitiji mogući način. U [2] se navodi da je PLM alat koji popunjava prazninu između korporativnih poslovnih procesa tvrtke i razvojnih procesa proizvoda. Također kaže kako PLM figurativno radi kao ljepilo koje na okupu drži sve procese vezane uz nastanak proizvoda te povezuje sve funkcionalne strukture u horizontalno integrirani sustav. Saaksvouri i Immonen u [6] navode kako je PLM sistemski kontrolirani koncept upravljanja i razvoja proizvoda te svih podataka i informacija koji se tiču proizvoda. Takav način nudi upravljanje i kontrolu procesa vezanih za proizvod (razvoj proizvoda, proizvodnju i marketing) te procese naručivanja (od dobavljača) i isporuke.

Lako je zaključiti da sve tri definicije jasno upućuju na sustav odnosno strategiju integriranog upravljanja proizvodima, svim njegovim derivatima (sustavima, podsustavima, komponentama) te velikom količinom podataka koji proizvod u cijelosti definiraju. Takav sustav za konačni cilj ima sljedeće:

- Smanjenje troškova razvoja proizvoda,
- Bolja kontrola i optimizacija svih procesa vezanih uz nastanak proizvoda,
- Povećana kvaliteta proizvoda,
- Smanjenje vremena potrebnog za plasiranje na tržište,
- Podrška i praćenje proizvoda nakon isporuke,
- U konačnici povećanje prihoda i profita kompanije

Koristi od PLM se protežu i puno dalje od inkrementalnih ušteda i rasta prihoda postignutih implementacijom novih alata i tehnologija. Davanje važnosti često teškim promjenama u procesima, strategijama, metodama te postizanje kontrole nad životnim ciklusima te procesima vezanim uz životni ciklus također su faktori uključeni u korisne posljedice. Povrat investicije u PLM bazira se na širem korporativnom poslovanju, većem tržišnom udjelu te povećanoj profitabilnosti postignutoj racionalizacijom svih poslovnih procesa. Slijed toga je brže plasiranje na tržište inovativnih i pobjedničkih proizvoda s visokim imidžom marke kojega kolokvijalno nazivamo „brend“. Također zahvaljujući kontroli životnog ciklusa veoma lako se da raspoznati proizvode koje zbog manjkavih prodajnih rezultata treba povući s tržišta.

PLM je proširio načine na koje se atributi proizvoda pohranjuju, mijenjaju, pretražuju te dijele. Takav koncept razvijen je da bi se pospješilo upravljanje proizvodom i njegovim životnim ciklusima, no ne samo fizičkim komponentama, dokumentima i BOM-ovima (eng. *Bill of materials*) nego i:

- Rezultatima raznih analiza proizvoda,
- Kreiranja testova za proizvod,
- Standardima kvalitete,
- Inženjerskim zahtjevima na proizvod
- Zahtjevima promjene na proizvodu,
- Informacijama o performansama proizvoda
- Dobavljačima raznoraznih komponenti za proizvod.

Internet stvari (IoT) omogućio je tvrtkama koje su uvele digitalizaciju na svim razinama da veoma lako povežu sve svoje odjele i filijale te partnere, dobavljače pa čak i potrošače. Tako se kroz čitav lanac vrijednosti informacije dijele doslovno klikom u realnom vremenu bez obzira na udaljenosti, vremenske zone, a uz veliku mogućnost sljedivosti odgovornosti i informacija te visoku sigurnost dijeljenih podataka.

Sve navedeno ide u prilog tome kako je implementacija PLM-a nužan korak u poboljšanju rezultata poslovanja i premošćivanju krutih zastarjelih metodologija i strategija kojima se kompanije služe. Mnoge tvrtke izvješćuju kako su troškove uvođenja novih koncepata i pravila u poslovanje isplatile kroz godinu do dvije dana [6] i to samo uz reduciranje troškova razvoja proizvoda.



**Slika 2. PLM struktura**

Da bi se u potpunosti razumio PLM potrebno je definirati proizvod i jasno naznačiti što on znači za kompaniju koja ga proizvodi.

### 2.3. Proizvod

Osvrne li se čovjek oko sebe može shvatiti da su sve što posjeduje, osim vlastitog tijela, proizvodi. Proizvod je sve što kupujemo, sve čime se služimo, sve što konzumiramo. Od tehničke olovke, naslonjača, kruha do električnog hiperautomobila i velikih prekoceanskih brodova.



Slika 3. Proizvodi

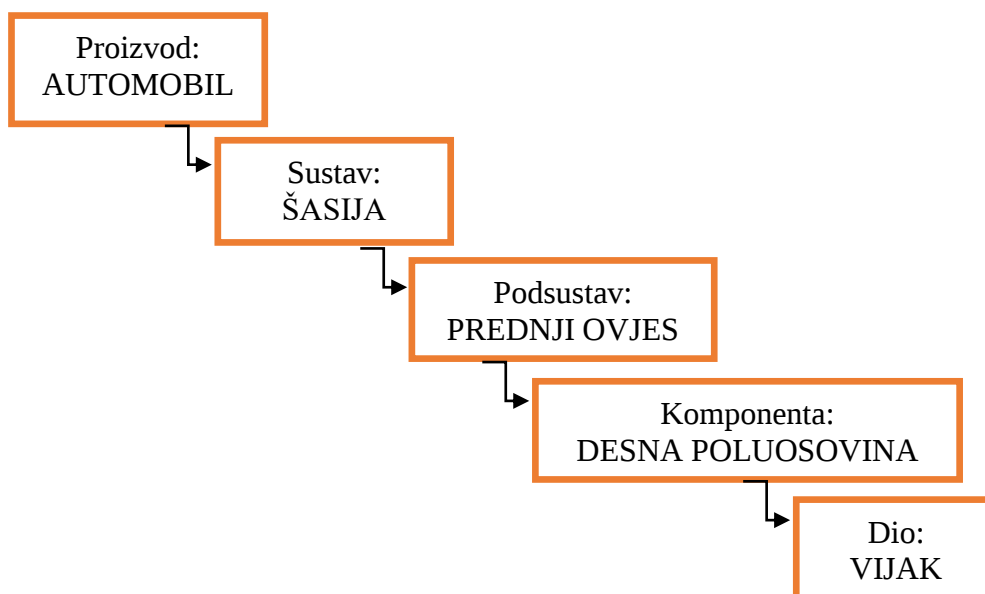
Važno je pojmiti da proizvod ne mora biti nešto što je fizički opipljivo. U eri modernih tehnologija proizvod su stoga i aplikacije, algoritmi, programska sučelja itd. U financijskom svijetu proizvod je nekakav kredit ili polica osiguranja. Uslužne djelatnosti također prodaju svoje proizvode npr. uslugu posluživanja hrane u restoranu ili organiziranje raznih događaja.

Bez proizvoda tvrtka nema svrhu postojanja niti će imati kupce/klijente. Po tom slijedu neće biti niti prihoda niti zarade. Dakle, proizvod je ono što je za tvrtku od krucijalne važnosti i težnja je da bude što kvalitetniji i konkurentniji. Najkvalitetniji proizvodi na tržištu čine tvrtke koje ih proizvode vodećima u sektorima u kojima su specijalizirane te donose najveće profite.

Razvoj kvalitetnog proizvoda ovisno o njegovoj kompleksnosti zahtijeva ulaganje značajnih financijskih sredstava, rad specijaliziranih timova stručnjaka iz raznih područja znanosti te veliku količinu vremena i strpljenja. Mnoge tvrtke svoje proizvode u čiji su razvoj uložile smatrale su revolucionarnim prekretnicama na tržištu, no događa se da tržište proizvod nije prepoznalo kao koristan ili potreban pa prodajni rezultati nisu tako dobri te tvrtka ne uspijeva povratiti uložena sredstva. Takvi scenariji pogubni su za tvrtke zbog velikih gubitaka i ne događaju se rijetko, pogotovo u vrijeme kada ima značajno više konkurencije.

**Tablica 1. Proizvodi i pripadajući broj dijelova [1]**

| Proizvod               | Broj dijelova |
|------------------------|---------------|
| Dezodorans             | 20            |
| Šampon                 | 50            |
| Sat                    | 300           |
| Obradni centar         | 2000          |
| Automobil              | 25000         |
| Zrakoplov              | 400000        |
| Svemirska letjelica    | 2000000       |
| Software (linije koda) | 20000000      |



**Slika 4. Prikaz strukture razina automobila [vlastito 2019.]**

Tablicom 1 prikazani su primjeri proizvoda te broj dijelova od kojih je takav proizvod sastavljen. Slika 4. prikazom razina sustava i podsustava prikazuje kompleksnost proizvoda

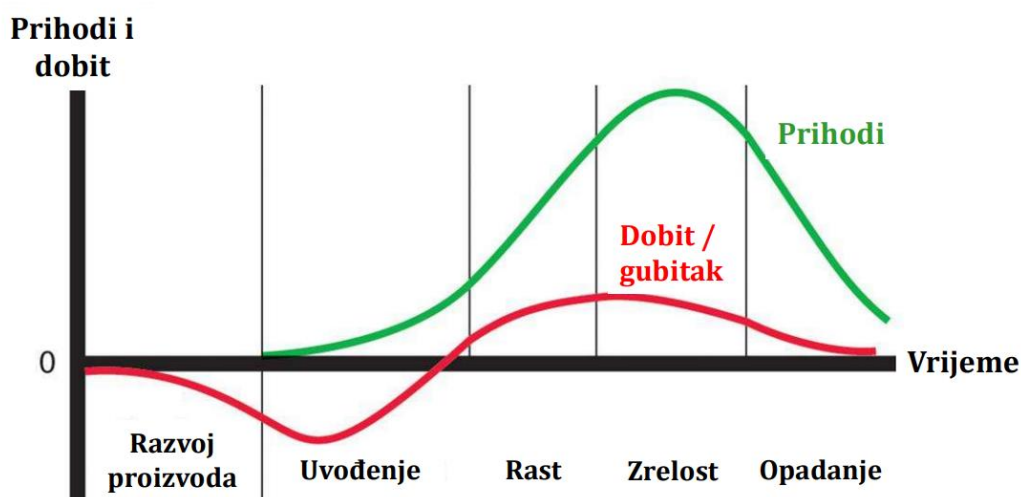
kao što je automobil. Kao što je tablicom 1 navedeno, automobil ima u prosjeku 25000 – 30000 dijelova, svaki od tih dijelova su proizvodi koji imaju svoj životni ciklus.

## 2.4. Životni ciklus proizvoda

Životni ciklus proizvoda su faze kroz koje proizvod prolazi od same ideje do kraja životnog vijeka. Važno je znati da se životni ciklus proizvoda može promatrati iz dvije perspektive koje imaju veze jedna s drugom, no postoji jasna granica. Tako postoji životni ciklus proizvoda promatrajući kroz prizmu toka novca te životni ciklus proizvoda iz perspektive samog proizvoda (Ideja, proizvodnja, korištenje, otpis). Ovo poglavlje detaljnije će opisati životni ciklus proizvoda promatrajući ga iz ugla rashoda i prihoda koje tvrtki donosi od same ideje pa nadalje. Kako je naslov ovog rada „Upravljanje životnim ciklusom električnog automobila“ svakako će se u okviru narednih poglavlja na konkretnom primjeru električnog automobila obraditi i detaljno prikazati faze životnog ciklusa kroz koje prolazi sam proizvod.

Životni ciklus proizvoda kroz perspektivu toka novca (Slika 5.) podijeljen je u sljedećih nekoliko faza:

- Ideja i istraživanje tržišta
- Razvoj te proizvodnja proizvoda
- Plasiranje proizvoda na tržište
- Korištenje proizvoda – faza rasta i zrelosti
- Opadanje i otpis proizvoda (reciklaža)



Slika 5. Dijagram životnog ciklusa proizvoda [7]

### 2.4.1. Razvoj proizvoda

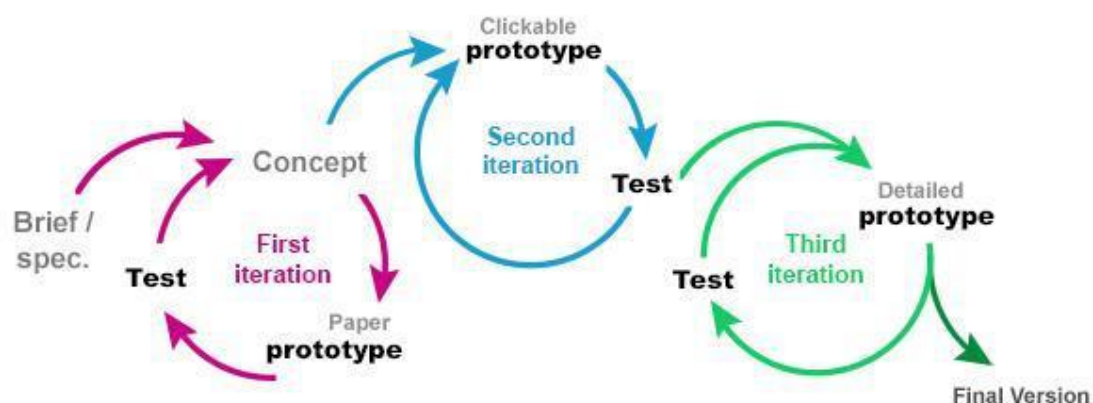
Sami početak životnog vijeka svakog proizvoda jest ideja koja za cilj ima jasno definiranje proizvoda koji je tržištu potreban. Odjel tvrtke zadužen za ovakav posao (obično Marketing) prije svega određuje način na koji će tržište istražiti. Istraživanje tržišta moguće je provesti metodama intervjua i anketa koje će od strane mogućih budućih korisnika dati odgovor kakav bi proizvod trebao biti. Ovo uključuje proizvode koji na tržištu postoje, no konkurentska tvrtka smatra da može ispuniti potrebna poboljšanja i unaprijeđeni proizvod ponuditi tržištu. Također, uključuje i proizvode koji na tržištu ne postoje. Valja spomenuti da je u epohi u kojoj se nalazimo u poslovnim krugovima čest pojam Start – up. Start – up kompanije uglavnom se osnivaju sa svrhom da tržištu ponudi proizvod ili uslugu koja dosad nije bila zastupljena s nadom i uvjerenjem da će tržište pokoriti i tako svojoj tvrtki dodati i podići vrijednost. Nakon što je istraživanje pokazalo kako bi ideja na tržištu mogla proći, ulazi se u sljedeću fazu životnog ciklusa proizvoda.



### 2.4.2. Razvoj, konceptualizacija te proizvodnja

#### Koncept

Sljedeća faza životnog ciklusa proizvoda je konceptualizacija. Ideja se nastoji pretočiti u konkretno dizajnersko i funkcionalno rješenje uz preduvjet da tvrtka ustanovi dostupna sredstva, tehnologiju te kapacitet proizvodnje. Nakon što se provede studija izvedivosti (*feasibility study*) i utvrdi da je proizvod moguće proizvesti, određuju se okvirno mogući troškovi te cijena proizvod. Također Marketing u ovoj fazi što bliže pokušava procijeniti minimalne i maksimalne prihode te konkurenciju i udio na tržištu.



Slika 6. Prototip

## Prototip

Korak koji slijedi iza koncepta naziva se prototipom. U prototipnoj fazi proizvod u glavni odgovara onom serijskom te se šalje fokus grupi na istraživanje i testiranje. Nakon provedenog ispitivanja ukoliko je potrebno korigira se uz eventualne sitne izmjene. Sada se definira ambalaža ukoliko se proizvod u njoj nalazi. Nakon što su sve povratne informacije od fokus grupe očekivano pozitivne, odjel zadužen za kontrolu kvalitete potvrđuje konačni proizvodni proces te se izrađuju alati za proizvodnju.

## Serijska proizvodnja

U finalnoj fazi prije uvođenja proizvoda na tržište odvija se proizvodnja. Predviđene količine uvodne serije se generiraju i pakiraju te transportiraju distributerima koji su (ako postoje u lancu) posrednici između proizvodne tvrtke i krajnjeg kupca. Budući da je danas i više nego aktualna internet trgovina posredovanje više nije potrebno u onoj mjeri kao nekada, naročito ako se radi od proizvodima u obliku aplikacija i ostalih softverskih rješenja. Za vrijeme proizvodnje, a prije samog plasiranja na tržište odjel marketinga svakako je trebao što kvalitetnije oglašiti i najaviti novi proizvod na tržištu. Bitno je da reklama bude što autentičnija i domišljatija. Na taj način će privući više znatiželjnih kupaca što predstavlja i cilj.

### 2.4.3. Plasman proizvoda na tržište

Nakon što je tvrtka proizvela dovoljne količine proizvoda kako bi zadovoljila inicijalnu potrebu tržišta slijedi plasman proizvoda. Na slici 5. prikazan je preminuli Steve Jobs na predstavljanju prve generacije Apple iPhonea, planetarno popularnog pametnog telefona koji je uz ostale proizvode tu kompaniju doveo do vrijednosti



**Slika 7. Steve Jobs(pok.) prezentira prvi iPhone**

od preko Bilijun američkih dolara [22]. Marketing i reklamiranje proizvoda u ovoj fazi su od iznimnog značaja pa se stoga znatna sredstva odvajaju za marketing kojemu je cilj masovno privlačenje pozornosti budućih potrošača na novi proizvod. Kako će proizvod prolaziti kroz predstojeće faze životnog ciklusa, budžet za marketing će opadati iz razloga što će se za proizvode već uvelike znati i usmenom predajom korisnika korisniku.

Određivanje početne cijene proizvoda također je tema na koju valja obratiti veliku pozornost. Na odjelu zaduženom za određivanje početne tržišne cijene proizvoda jest zadaća uzeti u obzir sve okolnosti koje se tiču samog proizvoda, tržišta, ciljane potrošačke skupine te donijeti odluku o cijeni. Početna cijena proizvodu može se odrediti na dva načina. Oba načina za posljedicu imaju određene prednosti i nedostatke.

- Niska početna cijena (eng. *Penetration pricing*)
- Visoka početna cijena (eng. *Price skimming*)

Kod niske početne cijene prednost je što se potrošači osjetljivi na cijenu proizvoda (iz mnoštva razloga) brzo privlače. Također, pretpostavka je da će se konkurentske tvrtke teško odlučiti na nisku cijenu proizvoda te su na taj način potrošači privučeni novom proizvodu. Nedostaci niske cijene proizvoda u početku su ti da se troškovi proizvodnje sporije pokrivaju, profit u startu nije visok (što se i očekivalo kod razvoja strategije), a kupci očekuju da će

cijena proizvoda konstantno ostati niska što nije održivo. Taktike koje se koriste su akcije na početku (prvih tjedan/mjesec dana), no kasnije cijena raste. Primjer ovakve strategije su usluge teleoperatera koji svojim klijentima u zamjenu za potpisivanje dugogodišnjeg ugovora nude pametne telefone niske cijene (ponekad i za 0 kuna).

U slučaju visoke početne cijene mnogo je teže privući veliki broj kupaca u odnosu na nisku početnu cijenu, no i tu postoje iznimke. Ova strategija koristi se kako bi se brzo akumulirao profit koji je zatim usmjeren u pokrivanje troškova razvoja i proizvodnje. Uglavnom su tehnološki proizvodi oni koji na tržište dolaze s visokom početnom cijenom. Već spomenuti pametni telefon Apple iPhone odličan je primjer takvog proizvoda. Dizajnom i naprednim mogućnostima koje nudi među potrošačima se postiže određeni „Wow“ efekt. Kupci velike platežne moći takve proizvode žele imati odmah, a oni nešto niže platežne moći uglavnom će pričekati da se cijena takvomu proizvodu spusti. Spuštanje cijene će se sigurno u određenom periodu vremena dogoditi. Kod predstavljanja sljedeće generacije novom uređaju zagaraniran je ponovo navedeni efekt, a uređaj iz prošle generacije daleko je pristupačniji nego što je bio na samom uvođenju na tržište.

#### **2.4.4. Uporaba proizvoda – faza rasta i zrelosti**

Uvođenjem proizvoda na tržište počela je i njegova uporaba. Korisnici ga aktivno koriste i ukoliko je prepoznat i dobro prihvaćen, proizvodnja se povećava što umanjuje specifičnu cijenu proizvoda po komadu – prodaja i profit za tvrtku rastu. Cilj je poduzeti sve mjere da ova faza traje što duže. Kako proizvod koriste velike grupe ljudi koji primjećuju njegove dobre i loše strane. Takve povratne informacije za tvrtku su bitne jer pomoću njih inženjeri koji su proizvod razvijali mogu usmjeriti pažnju otklanjanju poteškoća u sljedećim proizvedenim jedinicama. U ovoj fazi vjerojatno je i povećanje konkurencije koja vjeruje da je njihov proizvod napredniji i poboljšan. Zadatak odjela marketinga jest da ponovno pokuša raznim mehanizmima zadržati potrošače. Tvrtka u fazi zrelosti proizvoda može i treba razmotriti kreiranje raznih varijacija tog proizvoda koje bi trebala privući dodatne skupine potrošača. Za primjer se može uzeti automobil BMW serije 3. Ovaj model i njegove izvedenice najvažniji su proizvodi za tvrtku BMW još od predstavljanja prve generacije davne 1975. godine .



**Slika 8. BMW Serija 3 sedan (gore lijevo); Serija 3 Touring (gore desno); Serija 4 Coupe (dolje lijevo); Serija 4 Cabrio (dolje desno)**

Slika 6. Prikazuje 4 različita automobila izrađena na istoj platformi (Serija 3). Na taj način tvrtka je dodatnim, ne odveć velikim (u usporedbi s razvojem platforme) ulaganjem dobila dodatne 3 skupine potrošača. Ako se ode korak dalje pa se u obzir uzme i varijantnost paketa opreme, pogonskog sustava, transmisijskog sustava itd. dolazi se do zaključka da se proizvod kao što je npr. automobil (zbog svoje složenosti i količine dijelova) može prilagoditi željama kupaca.

### ***Faza zrelosti proizvoda***

U fazi zrelosti proizvoda prodaja polako počinje opadati. Odjel marketinga dodatnim mehanizmima pokušava još koliko toliko privući kupce i zadržati svoj udio na tržištu. Ova faza je faza koja traje najduže u životnom ciklusu proizvoda. U svrhu povećanja profita potrebno je, ukoliko je moguće, smanjiti troškove proizvodnje. Proaktivne tvrtke sredstva zarađena u fazama rasta i razvoja osim za pokrivanje troškova razvoja i proizvodnje trenutnog proizvoda usmjeruju ponajviše u razvoj nove generacije proizvoda ili nove vrste proizvoda

koji će također prolaziti kroz prethodno navedeni ciklus. Svjedočimo, naročito u auto industriji, kako blagi redizajn i sitna tehnološka poboljšanja također mogu izazvati blagi „Wow“ efekt među kupcima. Promjene koje na proizvodu nastaju su minorne u odnosu na potpuno novi model, a mogu dovesti dodatne kupce te na taj način osvježiti fazu zrelosti proizvoda i odgoditi konačnu fazu.



**Slika 9. Unutrašnjost Volkswagena Golf VII (2013. godina)**



**Slika 10. Unutrašnjost Volkswagen GOLF VII nakon redizajna (2017.godina)**

Na prethodno prikazanim fotografijama (Slike 9. i 10.) nalazi se unutrašnjost Volkswagen Golfa VII. Prva fotografija prikazuje prvu verziju automobila predstavljenu 2013. godine dok druga fotografija prikazuje redizajn automobila iz koji se na tržištu našao 2017. godine. Ako se detaljnije pogleda, mogu se uočiti sitne kozmetičke i funkcionalne razlike (kao što su digitalna kontrolna ploča te zaslon u potpunosti osjetljiv na dodir) u odnosu na prvotnu verziju. Ostale komponente i dijelovi u potpunosti su jednaki. Kako je rečeno, ovakva strategija osvježila je proizvod te kompaniji koja ga je proizvela donijela dodatan profit, a za to vrijeme razvojni tim inženjera radi na potpuno novom modelu.

Važno je napomenuti da postoje proizvodi (brendovi) na tržištu koji zbog svoje pouzdanosti uživaju svojevrsnu lojalnost kupaca tako da i u slučaju možda tehnološki naprednijeg, a cjenovno prihvatljivijeg konkurentskog proizvoda kupac i dalje odlučuje kupiti brend kojega je navikao koristiti i kojemu „vjeruje“.

#### **2.4.5. Faza opadanja**

Proizvod je, uz određena poboljšanja i razne varijante i podvarijante, nekoliko godina proveo na tržištu. Kako se u moderno doba tehnologija razvija rapidno, brzo zastarjeli proizvodi gube svoj udio na tržištu. Konkurencija nudi nova tehnička rješenja. Prodaja proizvoda, a samim time i profit tvrtke se smanjuje. Proizvod je ušao u konačnu fazu, a to je faza opadanja. Nakon što je kompanija razvila i proizvela proizvod koji bi trebao naslijediti proizvod u fazi opadanja, stari proizvod uglavnom se prestaje proizvoditi. Zalihe koje su ostale prodaju se uglavnom s popustima i promotivnim akcijama i na taj način prihodi se konačni kapital proizvoda na zalasku životnog ciklusa (promatrajući iz perspektive toka novca). Dakako da postoje i rijetki slučajevi kada tvrtke prodaju prava na proizvodnju proizvoda drugim kompanijama partnerima. Takav primjer je Volkswagen Beetle (Buba) koja se u Njemačkoj proizvodila do 1978. godine, a posljednji model izašao je iz tvornice Puebla u Mexicu dva i pol desetljeća kasnije, točnije 2003. godine. [8]

#### **2.5. Sustavi unutar PLM-a**

PLM se nikako ne može promatrati kao jednostavan sustav jer bez metodologija i aplikacija koje su u njega integrirane, kao takav nikako ne bi postojao. Ovo poglavlje čitatelju za svrhu ima približiti osnovne sustave koje sačinjavaju PLM.

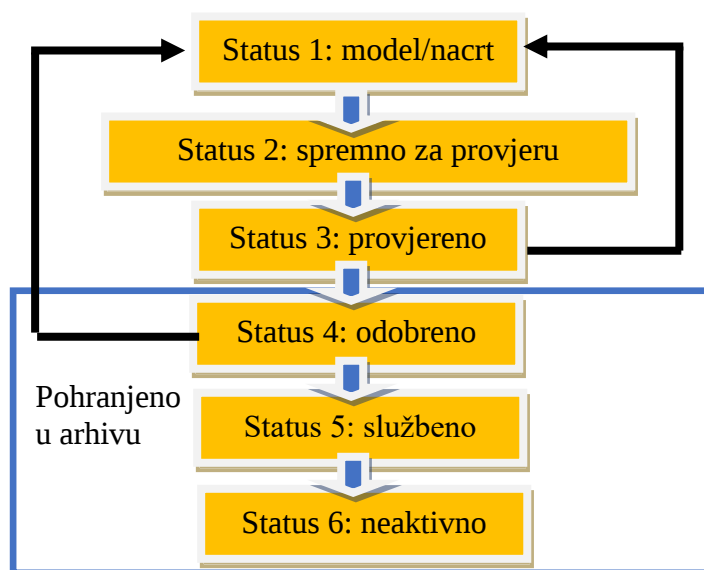
### 2.5.1. Upravljanje statusom/stanjem dokumenata i informacija

PLM sustav u mogućnosti je automatiziranim procesima imati kontrolu nad stanjem važnih dokumenata koje opisuju proizvod, njihovim priložima te statusu životnog ciklusa u kojem se nalaze. Kreiranje novog ili ažuriranje prethodne verzije dokumenta npr. CAD nacrtu PLM sustavi čine na sljedeći način:

- Konstruktor unutar R&D odjela koji u CAD programskom alatu modelira određeni dio proizvoda „informira“ središnji sustav kako je on „vlasnik“ tog istog CAD dokumenta. Dokument je pohranjen na serveru, a pristup stvaranju promjena ima isključivo osoba koja ga je kreirala (osim ako ne dozvoli drukčije). PLM software identificira korisnika „vlasnika“ CAD dokumenta pomoću korisničkih informacija (korisničko ime, lozinka, privilegije). Ukoliko konstruktor želi kreirati promjenu na dokumentu mora ga „pozvati“ sa servera. Nakon ažuriranja i kreiranja promjena na dokumentu npr. kreiranja pripadne tehničke dokumentacije, konstruktor promjene sprema te se one ponovo pohranjuju na središnji server. Ovakve funkcije obično se zovu *check out* i *check in* funkcije.

### 2.5.2. Kreiranje dokumenta (part, assembly, drawing itd.)

Kreiranje novog dokumenta kao što je CAD part ili CAD nacrt (drawing), odobravanje komponente proizvoda za proces nabave ili proizvodnje u tvrtkama koje se bave proizvodnjom obično se odvija prema sljedećem prikazu (Slika 11.)



Slika 11. Primjer stanja kroz koje dokument prolazi unutar PLM sustava

Status životnog ciklusa dokumenta ili komponente mijenja se kako radni proces napreduje. Prema (Slika 11.) na primjeru CAD parta: Konstruktor unutar određenog tima i odjela u okviru svojih dužnosti kreira nekakav CAD model, nakon toga voditelj tima provjerava isti model. Ukoliko je sve u redu dokument se šalje upravitelju odjela koji potom dokument odobrava te šalje dalje u distribucijski kanal (Project management, kontrola kvalitete, nabava, proizvodnja). Naručena ili proizvedena komponenta ponovo se provjerava, ukoliko je potrebno prema uputama uključenih strana inženjer kreira promjene unutar modela (promjene u geometriji, materijalu, tehnološkom oblikovanju radi boljeg pozicioniranja itd.) koji ponovo prolazi prikazani kontrolni slijed. Nakon završnih provjera i odobravanja proizvod može u serijsku proizvodnju.

Kao što je vidljivo kroz vrijeme razvoja događaju se veće ili manje promjene u dokumentu. Da bi se izbjeglo gomilanje nepotrebnih podataka i omogućilo jednostavnije i transparentnije praćenje, dokumentu se dodjeljuju atributi verzija i revizija. Verzije dokumenta imaju identičan broj dokumenta, a razlikuju se pomoću brojčanih oznaka (1,2,3,...) ili slovničkih oznaka (A,B,C,...). U arhivu sustava uglavnom se čuvaju odobreni i službeni dokumenti i na taj način PLM alati omogućuju uvid u povijest relevantnih promjena koje su se na dokumentu odvijale. Drugim riječima u sustavu je moguće locirati dokument radi:

- Pregleda
- Kopiranja
- Kreiranja novih promjena
- Komentiranja
- ECR-a (Engineering Change Requesta)
- ECO-a (Engineering Change Order)
- Ispisa

### **2.5.3. Distribucijski menadžment**

Upravljanje distribucijom i kanalima kojima dokumenti i informacije putuju implementirano je u situacije kao što je ona objašnjena u prethodnom poglavlju 2.5.2.. Odobreni i službeni dokumenti distribuiraju se u procesima koji su važni za tijek rada tvrtke i razvoj proizvoda. PLM sustav brine u automatiziranoj raspodjeli važnih dokumenata unutar procesa prema načinu i principima kako je definirano softverom. Bitno je znati da PLM

programska sučelja nisu rigidna što znači da se mogu vrlo lako prilagoditi načinu poslovanja i vođenja procesa koje svaka tvrtka individualno provodi, naravno u okvirima osnova funkcioniranja PLM-a kao cjeline.

Struktura dokumenata i informacija koje definiraju proizvod i način kako su sami dokumenti definirani i međusobno povezani, dopuštaju uvid u svu pripadajuću dokumentaciju vezanu za proizvod kada je to potrebno. Drugim riječima jasno su vidljive sve veze i atributi koje definiraju proizvod, procese, ovlasti itd.

#### **2.5.4. Pretraživanje i sljedivost**

Funkcije od ključnog značaja PLM sustava su pretraživanje dokumenata i sljedivost vezanih informacija. Prema [9] u tvrtkama u niši proizvodne industrije, inženjeri troše 15 – 40 % radnog vremena na pretraživanje dokumenata i informacija potrebnih za rad iz raznih implementiranih sustava kojima se služe (CAD, CAM, ECR, ERP itd). Preduvjet kvalitetne i brze pretrage relevantnih dokumenata i informacija jest sistematska klasifikacija tih informacija te pozornost predana ispravnom dodjeljivanju atributa. Kao što je već rečeno, takvi podaci detaljno opisuju proizvod ili komponentu te ukoliko su korektno definirani sustav ih vrlo lako analizira i daje korisniku ispravne i brze rezultate čak i ako se kriterij pretraživanja ne poklapaju u potpunosti.

U tvrtkama koje imaju mnogo zaposlenika i podijeljene su u više različitih odjela čest je slučaj da korisnici sustava, naročito početnici, kreiraju nove stavke iz prostog razloga što je ta radnja jednostavnija nego ulaganje vremena u pretraživanje već postojeće istoznačnice koja je definirana nešto imenom i kodom. PLM sustavi takve neželjene situacije nastoje smanjiti na minimalnu učestalost stoga je vrlo bitna prethodno provedena visoka točnost definiranju i konfiguraciji samog sustava. Ukoliko su svi uvjeti (klasifikacija, nomenklatura, faza životnog ciklusa, ispravni definirani atributi) zadovoljeni, PLM sustavi daju odgovor na pitanja kao što su npr:

- Status svake komponente svakog 3D parta unutar određenog projekta
- Kakva je promjena nastala unutar komponente/dokumenta? / Tko ju je napravio? / Kada je napravljena?
- Koje su sve promjene kreirane u dokumentima u posljednjih mjesec dana?

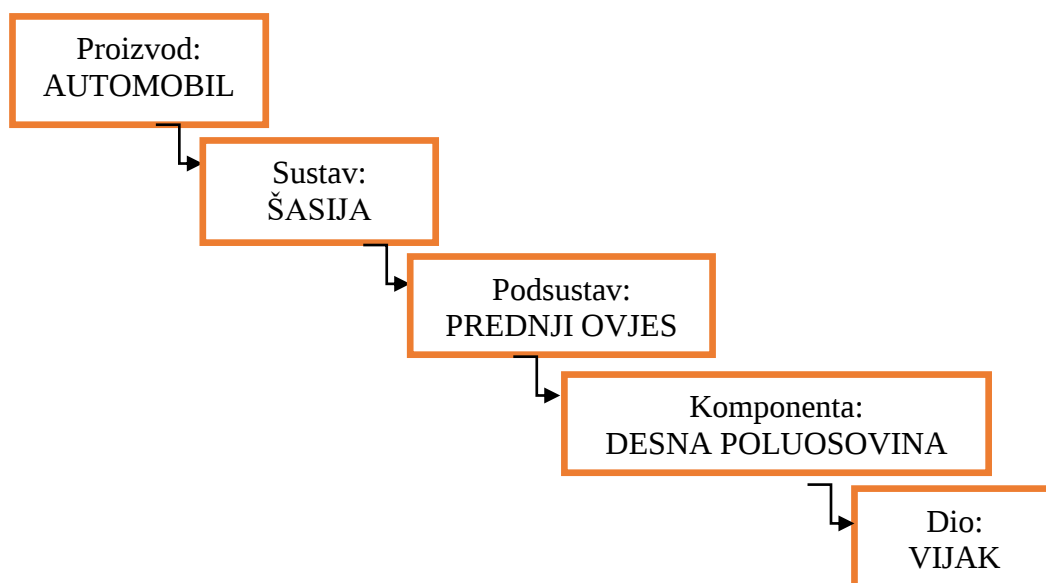
- Popis svih dobavljača za vijčanu robu s rokom isporuke od 2 tjedna
- Popis ugrađenih vijaka kvalitete 10.9

Lako je zaključiti da jasna sljedivost informacija i dokumenata može inženjerima uštedjeti znatne količine vremena koje mogu uložiti u konkretnije zadatke. To za rezultat ima povećanje produktivnosti radnika i u konačnici povećanje prihoda i krajnjeg profita tvrtke.

### 2.5.5. Upravljanje strukturama proizvoda

Upravljanje strukturama proizvoda jedna od ključnih funkcija cjelovitog PLM sustava. Značajke ovog sustava čine osnovu za izvršavanje mnogih drugih funkcija unutar sustava. Neka svojstva menadžmenta verzioniranja i revizioniranja, menadžmenta promjena, menadžmenta konfiguracija bazirana su na menadžmentu struktura proizvoda.

Struktura proizvoda predstavlja prikaz veza između različitih dijelova i sklopova koje čine proizvod. Prikaz razine sustava unutar automobila prikazan je prethodno Slikom 4. na stranici 9.



Struktura proizvoda može se analizirati na generičkom modelu podataka o proizvodu ili prema „hijerarhijskom“ popisu sustava i dijelova proizvoda, a kojeg se u inženjerskim krugovima kolokvijalno (krivo) naziva BOM od eng. *Bill of Materials* odnosno tablica materijala. BOM prikaz obično dozvoljava filtriranje prema zadanim hijerarhijskim kriterijima npr. moguće je prikazati sve podsustave automobila vezanih uz sustav grijanja i

hlađenja, a sve ostalo sakriti. Ovakav način omogućuje olakšano ispitivanje i pretraživanje proizvoda velikih i složenih struktura kao što je automobil.

Današnja PLM programska sučelja dozvoljavaju da se ista struktura proizvoda ovisno o potrebi promatra iz više gledišta kao npr. iz perspektive inženjeringa, iz perspektive nabave te iz perspektive proizvodnje. Izniman je oprez bitan kod upravljanja nekoliko različitih struktura kad se radi o vrlo kompleksnim proizvodima koji sadrže više od  $10^4$  dijelova. Kako se radi o ogromnoj količini podataka, informacija i veza između pojedinih strukturnih elemenata za sustav je to veliko opterećenje i lako dolazi do pucanja veza i stvaranja pogrešaka.

Kako faze životnog ciklusa proizvoda budu odmicale, tako na zahtjev Post – prodajnih usluga i servisa raste važnost pohranjivanja i održavanja individualnih struktura unutar sustava. Osim tvrtke koja je proizvod proizvodi i ovlašteni partneri koji se bave održavanjem, servisima, rezervnim dijelovima moraju lako moći pristupiti svim potrebnim informacijama i dokumentima vezanih za određeni proizvod i njegove sustave/podsustave. Razina baze podataka u ovom kontekstu seže tako daleko da se pohranjuju čak i informacije o vlasniku i trenutnoj lokaciji proizvoda. Ipak, ako se stvari sagledaju izravno kroz prizmu samog PLM sustava zbog kompleksnosti struktura, nije uvijek preporučljivo pohranjivati svaku informaciju koja definira jednu proizvedenu jedinicu. Proizvodi koji se sastoje od tisuća i tisuća dijelova postaju noćna mora ako je previše nepotrebnih informacija uključeno u definiciju. Stoga je jako važno unaprijed definirati razine detaljnosti potrebnih atributa i informacija. Tri vrste takvih informacija [7] su:

- Individualne informacije što je serijski broj određene komponente unutar proizvoda
- Generičke – tiču se generičkih proizvoda, sklopova i dijelova
- Korisničke – napomene i komentari

#### **2.5.6. Upravljanje promjenama**

Upravljanje promjenama također jer jedna od ključnih sastavnica cjelovitog PLM sustava. Ono omogućava široku kontrolu i transparentnost procesa kreiranja promjena unutar dokumenata i informacija koje definiraju proizvod na svim razinama organizacije. Upravljanje promjenama omogućuje sljedivost informacija o inženjerskim modifikacijama i

promjenama koje su se kroz faze životnog ciklusa na proizvodu događale. Ovaj koncept ima značajan potencijal za kontrolu svih procesa promjena unutar kompanije na načine:

- Kontrolirane promjene – proces promjene u kontroliranim uvjetima
- Informacije o izvršenim i nadolazećim promjenama – sredstvo informiranja kod kreiranja promjene može biti automatizirana elektronička pošta.
- Elektronički sustavi – racionaliziraju i ubrzavaju proces promjena
- Kontrolirane i u točno vrijeme promjene stavki koje se nalaze u proizvodnji ili distribuciji
- Odnosi između različitih informacija o proizvodu zadržane su u slučajevima promjena

#### 2.5.6.1. Proces promjene

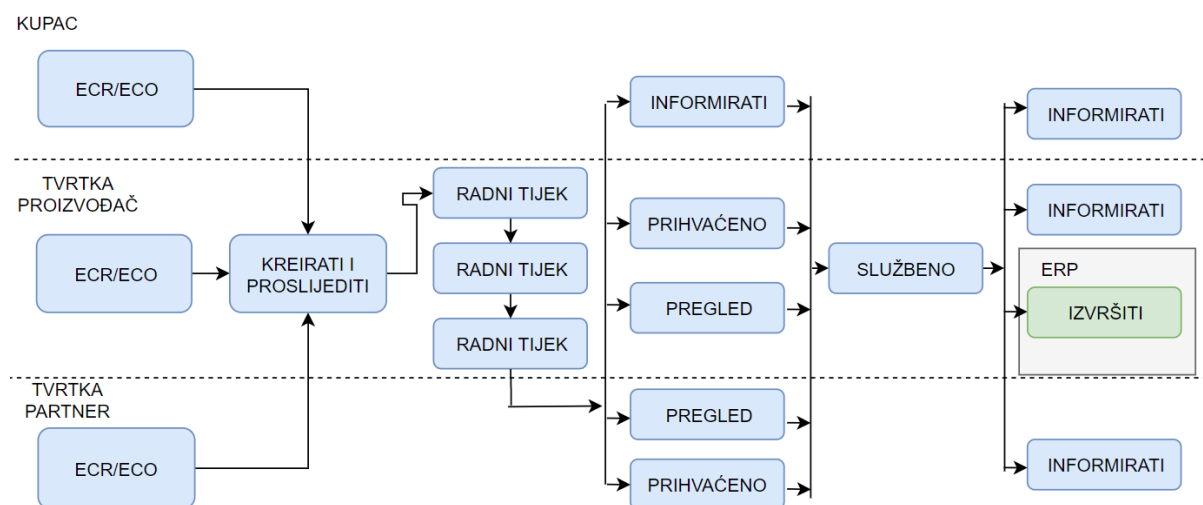
Proces promjene počinje kada se kreira zahtjev za inženjersku promjenu ECR (eng. *Engineering Change Request*) ili direktna narudžba inženjerske promjene ECO (eng. *Engineering Change order*). Razlozi promjene su višestruki:

- Odjel kvalitete ili montaže uočio je nedostatke
- Inženjeri su pronašli optimalnije rješenje
- Nabava je osigurala jeftiniju, a kvalitetniju komponentu
- Na zahtjev kupca

Odgovorna osoba koja je kreirala ECR jasno definira i argumentira predmet promjene, osigurava potrebnu dokumentaciju (CAD komponente, sklopove, nacрте) na kojoj su potrebne promjene istaknute. PLM sustav zadatak dodjeljuje osobama koje su prema tijeku rada zadužene za realizaciju promjene. Također, svaka donesena odluka ostaje pohranjena unutar sustava tako da je sljedivost osigurana.

Kada je jasno kakvu promjenu je potrebno napraviti, osoba koja je za promjenu zadužena kreira ECO koji može biti baziran na prethodno kreiranom ECR-u, ali može biti i kreiran direktno bez ECR-ova. Upravo ove opcije predstavljaju jednu od najučinkovitijih prednosti PLM sustava: ako je potrebno, veliki broj zahtjeva za promjene može biti brzo pohranjen i u globalnim organizacijama (s dislociranim pogonima). Sve promjene mogu se kanalizirati u jedan ECO što uvelike ubrzava proces dogovora i odluke te u konačnici proizvodnje. To sve

omogućuje kompanijama da izuzetno brzo odgovore na česte izazove različitih neplaniranih situacija u kojima su promjene zbog gore navedenih razloga nužne.



**Slika 12. Shematski prikaz procesa promjene**

Pomoću PLM sustava svi dokumenti i informacije vezani su na relevantni ECO. Po prikupljanju svih potrebnih informacija ECO je spreman, a sustav „zna“ prirodu mjera koje je potrebno izvršiti u sljedećim koracima i tako o koracima informira sve strane uključene u proces promjene. Slika 12. prikazuje dijagram toka procesa promjene (*Change management*). Kada su potrebne promjene izvršene, odgovorna osoba posljednji put kontrolira stanje. Ukoliko je sve u redu, dokumentacija za daljnju distribuciju postaje službena i može se nastaviti s koracima. Takva dokumentacija je u statusu „Released“ odnosno „službeno“ i automatski je spremljena u sustav koji dodjeljuje nove brojeve verzija odnosno revizija.

U slučajevima kada promjene postanu službene ili kada se mijenjaju verzije proizvoda, kada nastane promjena u životnom ciklusu proizvoda, obično se izvršava transfer informacija u ERP (*Enterprise Resource Planning*) sustav, što znači zeleno svjetlo za proizvodnju i nabavu. ERP sustav objasniti će se nešto kasnije.

### 2.5.7. Transformiranje i transferiranje datoteka

Kako u sustavu postoji mnoštvo aplikacija koje podržavaju rad PLM sustava svaka od njih ima definiran format dokumenta kakav može otvoriti. Kod transfera dokumenta između korisnika PLM sustav dohvaća datoteku te prepoznaje njen format. Format se preoblikuje u onaj koji aplikacija koju sljedeći korisnik u lancu koristi. Takva radnja se može usporediti sa

svojevrsnim prevodiocem koji olakšava komunikaciju važnih dokumenata i informacija među odjelima.

### **2.5.8. Komunikacijski kanal**

Upravljanje zadacima i komunikacijom među korisnicima sustava (vertikalno i horizontalo) čini u PLM sustavima temelje za pristup poslovanja i konstruiranju koji se zove Simultani Inženjering (eng. *Simultaneous/Concurrent Engineering*). Sustav brine o razinama i smjerovima komunikacije tako da svi uključeni korisnici imaju pravovremenu informaciju o statusima proizvoda i odlukama.

## **2.6. Odjeli tvrtke u kojima se PLM koristi**

Iz razloga što daje odgovor na mnoga pitanja i rješava široke strukturne probleme, dosada se već moglo zaključiti kako PLM sustave i njegove izvedenice koriste različite organizacije, od malih tvrtki sve do državnih institucija. Ipak, u slučaju proizvodne industrije, naročito velikih tvrtki u području planiranja, konstruiranja i inženjeringa PLM je došao na visoku razinu (PLM 3.0). Takva umreženost i evolucija aplikacija vezanih uz PLM sustava svakako je, osim odjelima razvoja i proizvodnje, dobrodošao alat odjelima marketinga, prodaje, nabave te postprodaje.

### **2.6.1. Odjel istraživanja i razvoja (R&D)**

Istraživanje i razvoj proizvoda i sve popratne inženjerske funkcije jedno je od najvažnijih područja primjene PLM-a. Upravljanje dokumentima izuzetno je bitno zbog velike količine kreiranih podataka koje prate određeni proizvod, ovisno o kompleksnosti. Inženjerski 3D CAD modeli komponenti, sklopova, njihovih tehničkih dokumentacija, proračuni i simulacije krutosti i čvrstoće, raznorazna testiranja čine šumu različitih informacija koje je nužno kvalitetno i točno pratiti. Ukoliko je tražena informacija nepouzdana, status dokumenta nije željeni te postoje više revizije tehničke dokumentacije koje nisu primijenjene razvoj proizvoda teče sporo i takav radni tijek stvara poprilične financijske gubitke za tvrtku. Tako vidimo da je uglađena i dobro organizirana distribucija ažuriranih informacija i dokumenata od nužne važnosti. Funkcionalno upravljanje promjenama (*Change management*) također je jedna od esencijalnih funkcija koja se koristi unutar navedenog odjela. Točno i pravovremeno zapažanje nedostataka na proizvodu te efikasno upravljanje promjenama znatno podiže kvalitetu i brzinu razvoja proizvoda.

### **2.6.2. *Proizvodnja***

Prema [1] koristi implementacije PLM-a unutar kompanije najmanje koristi odjel proizvodnje. Razlog tomu je što je integriranje sustava PLM-a i njihovo korištenje često ograničeno. Korelacija između konstruktora inženjera i proizvodnje može biti problematična iz više razloga. Neki od njih su organizacija, geografski položaj odnosno dislociranost proizvodnih pogona te tok informacije. PLM sustav služi poput mosta između konstruktora i proizvodnje. Upravljanje promjenama olakšava konstruktorima i dizajnerima upućivanje brze informacije o promjenama koje je potrebno provesti. Također proizvodnja kroz alat upravljanja promjenama definira promjene u procesima sa svrhom da proizvodljivost proizvoda bude bolja i učinkovitija. Računalno integrirana proizvodnja (CIM) također ima koristi od PLM sustava koji osiguravaju transfer informacije ka različitim proizvodnim sustavima i alatima. PLM se u proizvodnji može koristiti kako bi se poboljšala upravljivost proizvodnih strojeva i obradnih centara te unaprijedila kontrola kvalitete, kalibriranje uređaja za proizvodnju te sljedivost.

### **2.6.3. *Post – prodajne usluge***

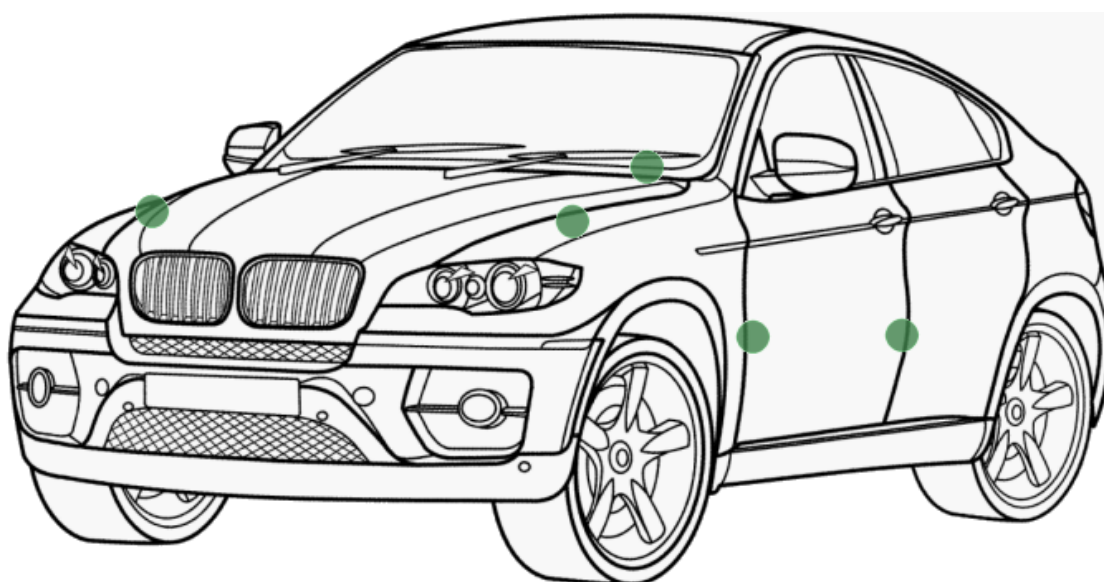
Kako razvoj proizvoda napreduje i vremenski se razmak između plasiranja trenutne i sljedeće verzije proizvoda smanjuje, potrebno je kvalitetno oformiti i proizvodnju rezervnih dijelova te sustave održavanja i servisiranja. U post – prodajnom ciklusu proizvoda iz tog se razloga razvilo široko područje poslovanja tvrtke koje je također potrebno kvalitetno strukturirati što omogućuju sustavi unutar PLM-a. Internet povezanost smanjila je svijet, omogućila direktnu i trenutnu komunikaciju sa svim stranama pa tako i dostupnost dokumentacije i informacija o proizvodu na klik miša s bilo koje točke na Zemlji s koje se može pristupiti Internetu.

Globalne tvrtke kao što su većinom svi renomirani proizvođači osobnih i gospodarskih vozila (Mercedes – Benz, Renault, Volkswagen, MAN...) ili ostali proizvođači razne tehnologije svoja zastupništva i pružatelje usluga održavanja i servisa imaju širom svijeta, odnosno u svakoj zemlji u kojoj prodaju svoje proizvode. Za ispravan odnos s kupcem proizvoda i pružanje kvalitetne usluge potrebno je da zastupničke tvrtke imaju siguran pristup svim potrebnim dokumentima i informacijama koje matična tvrtka izdaje i njima upravlja. Za primjer se može uzeti ovlašteni servis Volkswagen grupe. Kada kupac proizvoda primijeti

kvar na automobilu ili je potrebno pristupiti redovnom servisnom intervalu po dogovorenom terminu, vozilo se dovozi u servis. Uvidom u Prometnu dozvolu iščitava se Broj šasijske vozila pomoću kojeg se automobil identificira i operateru i servisu vidljiva je svaka komponenta koja je u automobil ugrađena što uvelike olakšava posao serviserima i štedi vrijeme i novac. Takva usluga ne bi bila na razini na kakvoj danas postoji da nema učinkovitih PLM sustava pomoću kojih je olakšano upravljanje dokumentacijom raznih konfiguracija proizvoda. Sustav npr. omogućuje da je uz svaki rezervni dio vezan pismeni dokument o uputama za ugradnju i daljnje održavanje koje je na licu mjesta moguće ispisati i tako operaterima dodatno olakšati posao i uštedjeti sredstva. Sve navedeno vrijedi i za ovlaštene trgovce rezervnim dijelovima koji također pomoću broja šasijske mogu pristupiti konfiguraciji vozila.

#### 2.6.3.1. Broj šasijske

Da bi sljedivost informacija, kao što je u prethodno opisanom slučaju, bila moguća svakom interesnom partneru proizvod se mora adekvatno označiti. U niši vozila takva oznaka zove se identifikacijski broj vozila (eng. *Vehicle identification number* – VIN) ili kolokvijalno zvan broj šasijske. Jedinstvena je to oznaka za svako motorno vozilo, vučeno vozilo, motocikl ili moped koje se vozilu po proizvodnji dodjeljuje. Prema standardima ISO 3779 i ISO 4030 jasno je definirano da se VIN broj sastoji od kombinacije 17 znakova (slova i brojeva) te su određena mjesta na vozilu na kojima mora biti postavljen. Slika u nastavku pokazuje na kojim se pozicijama u osobnom automobilu mora nalaziti.



Slika 13. Položaji oznake identifikacijskog broja vozila

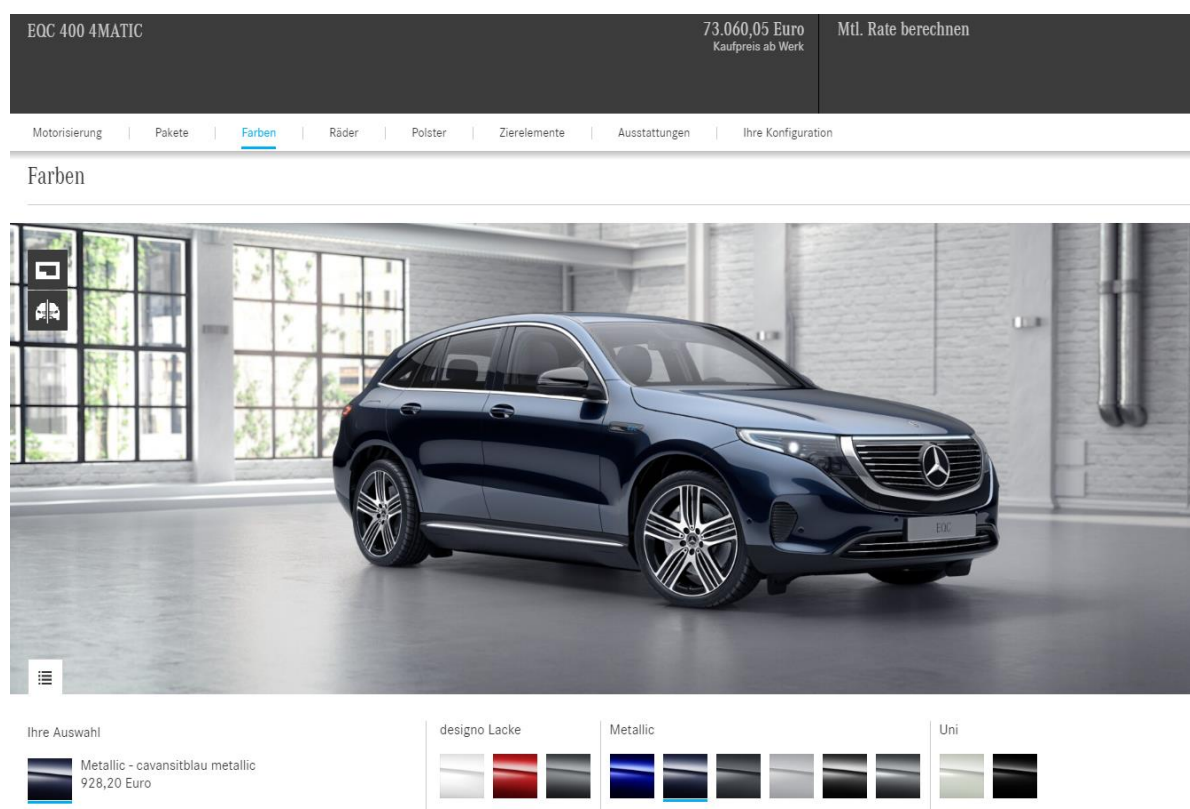
Takva oznaka ekvivalent je IMEI (eng. *International mobile equipment identity*) broju kod mobilne tehnologije ili bilo kojoj jedinstvenoj oznaci koja se dodjeljuje jednoj jedinici određenog proizvoda. Osim što je pomoću takvih oznaka moguće identificirati konfiguraciju proizvoda za potrebe post – prodajnih usluga važno je znati da je u slučaju otuđenja proizvoda takva oznaka jedini identifikator pomoću kojeg policija može povezati vlasnika s proizvodom. Kako je prikazano na slici 13. upravo više različitih položaja na kojima je utisnut identifikacijski broj vozila otežalo je krivotvoriteljima i zametanje traga vozilu što je u svijetu 70-ih i 80-ih godina, a naročito na ovim prostorima bila česta pojava.

#### **2.6.4. Prodaja i marketing**

Kako je rečeno, PLM sustav integriran je u sve strukture i razine poslovanja tvrtke pa je tako neophodan i u odjelima marketinga i prodaje. Sustav naročito podržava prodaju tako što je iskoristiv u procesima narudžbe proizvoda. Pod time se misli da je proizvod moguće konfigurirati i proizvesti prema individualnim željama kupaca. Modularne konfiguracije proizvoda kreiraju se uz pomoć prethodno definiranih pravila pa kada su proizvod ili konfiguracije kompleksne, PLM sustav svakako je esencijalna podrška procesu kreiranja ponude. Upravljanje strukturom proizvoda, dokumentacijom i specifikacijama uz takvu podršku svakako ubrzava provedbu procesa. U današnjici PLM sustav bez iznimke je glavni preduvjet za kvalitetnu funkciju „prve linije“ prodaje jer pomoću alata za konfiguriranje proizvoda, a koji je sastavni dio sustava moguće je:

- Sastaviti željenu konfiguraciju prema željama kupca,
- Interaktivnim modelom približiti kupcu budući izgled proizvoda,
- Dobiti uvid u izvedivost i vrijeme čekanja,
- Raspolagati informacijom o konačnoj cijeni proizvoda.

Rezultat konfiguriranja u odjelu prodaje je proizvod koji je najpovoljniji kompromis između kupčevih zahtjeva i želja te mogućnosti isporuke komponenti od dobavljača, koji je funkcionalan, prema pravilima konfiguriranja moguć te ima strukturu kod koje ne bi trebalo doći do neželjenih grešaka. Uz pomoć konfiguratora informacija o cijeni je točna jer upravo navedena pravila konfiguriranja ne dozvoljavaju neizvedive kombinacije ugrađenih komponenti. Kako bi ovakav alat davao točne informacije, nužno je neprestano održavanje svih struktura iz koje konfigurator povlači podatke te funkcionalno upravljanje promjenama (poglavlje 2.5.6.). Na taj način konfiguracija dogovorena s kupcem bit će točna i bez pogreške, rok isporuke će se ispoštovati, a kupac će biti zadovoljan. Mnogi proizvođači automobila na svojim Internet stranicama nude opciju konfiguriranja. Na taj način kupac bez odlaska u prodajni salon može definirati željeno vozilo te dobiti informacije o cijeni. Neki



**Slika 14. Mercedes - Benz on – line konfigurator EQC modela**

konfiguratoru omogućuju i ispis službene ponude s brojem računa za uplatu akontacije što također omogućuje da kupci kupe takav proizvod iz udobnosti vlastitog doma. Nedostatak takvog procesa je izostanak osobnog savjetovanja prodajnog predstavnika. Obično su za konačno definiranje proizvoda i slanje istoga u proizvodnju potrebne dodatne potvrde i kontakti prodajnog predstavnika s kupcem pa se navedeni nedostatak premošćuje. Primjer on – line konfiguriranja vozila sa stranica proizvođača Mercedes – Benz prikazan je slikom 14. Kao što je na slici 14. vidljivo, na automobilu kupac može birati sve od željenog izgleda eksterijera, interijera, veličine naplataka, dodatne opreme sve dok je birane komponente moguće izvesti na proizvodu što je utvrđeno prethodnim postavljanjem pravila u konfigurator.

## Marketing

Kada je marketing u pitanju, već je u poglavlju o fazama životnog ciklusa proizvoda, promatrano iz perspektive toka novca, spomenuto kako ovaj odjel ima značajnu ulogu kod procesa uvođenja novog procesa na tržište. Posebno je istaknuta uloga u fazi definiranja ideje te njene provedbe u koncept i proizvod. Također, marketing odgovornu zadaću ima i u fazi korištenja proizvoda kroz promoviranje post – prodajnih usluga proizvođača i ovlaštenih partnera. U navedenom kontekstu može se povući paralela između marketinga proizvoda i razvoja i inženjeringa tog istog proizvoda. Rana proizvodnja marketinških materijala može se povezati s prekretnim fazama u razvoju proizvoda koje prate radni tijek u PLM sustavima. Na taj se način veliki, globalni projekti razvoja proizvoda od samog početka podržavaju marketingom proizvoda. Rezultat toga je postizanje rane svijesti budućih kupaca o dolasku novog, željenog proizvoda na tržište.

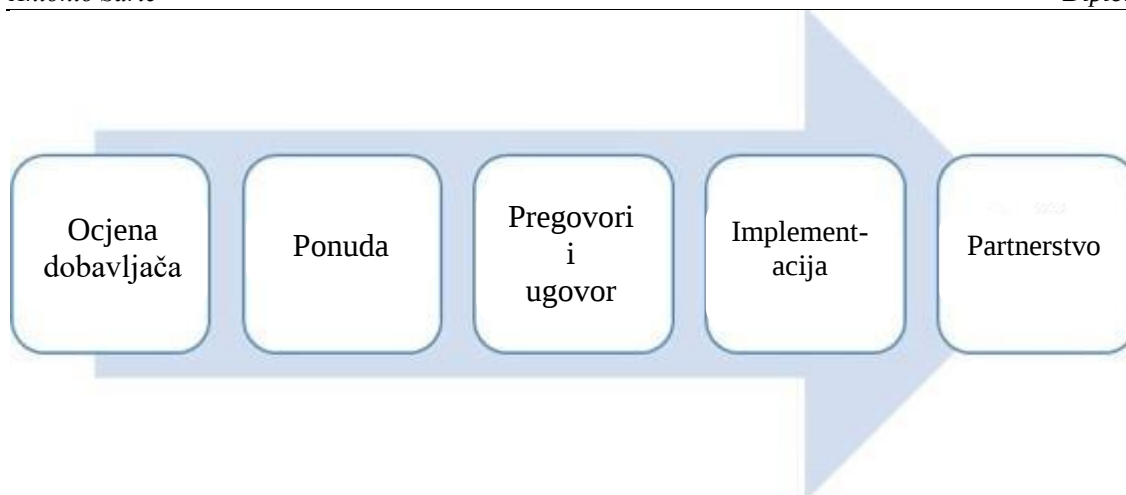
### 2.6.5. Dobavljači i kooperanti

PLM sustavi odličan su alat za podupiranje operacija koje izvode kooperanti i partneri koji preuzimaju dio posla koji je matična kompanija izdvojila iz svog pogona (eng. *outsources*). Pomoću navedenih sustava partneri se preko Internet mreže mogu spojiti na servere tvrtke i tako imati uvid i biti upućeni u potrebne procese. Bitno je razlikovati izdvojene inženjerske poslove i izdvojene poslove proizvodnje jer je PLM sustav u navedena dva slučaja drukčije postavljen. Upravljanje dokumentima, komponentama i strukturama proizvoda važna je uloga jednako kao transfer, konverzija, verzioniranje i revizioniranje dokumenata. Kako je na tržištu mnoštvo proizvođača raznih (CAD/CAM/CAx...) programskih sučelja tako se često događa da kompanija kojoj je dio posla, bilo inženjerskog ili proizvodnog, ne koristi isti softver kao

matična kompanija. Stoga je zbog takvih situacija bilo nužno postaviti standardne formate dokumenata koji se dijele kako bi ih adekvatno mogli „čitati“ softveri tih kompanija. Standardni formati su: DXF; STEP; CALS; IGES; SGML; XML. Upravljanjem licencama i korisničkim privilegijama moguće je izdvojenim tvrtkama koje obavljaju poslove za matičnu kompaniju dati izravan pristup njenim informacijskim procesnim sustavima, povjerljivim dokumentima koje je zbog potreba rada moguće samo pregledavati, no ne i uređivati. Takav oblik komunikacije koji PLM sustavi pružaju omogućuje im kreiranje zahtjeva i naloga za inženjerske promjene (ECR/ECO), distribuciju i dohvaćanje dokumenata i sve što je potrebno za uspješno i neograničavajuće partnerstvo bez obzira na dislociranost pogona. Zbog navedenog i u ovim situacijama postignuti su čvrsti temelji za Simultani inženjering (eng. *Concurrent engineering*) koji se može provoditi s nekoliko desetaka izdvojenih kompanija. Automobilska industrija zbog kompleksnosti proizvoda svakako je primjer u kojem se ovakav pristup koristi.

#### **2.6.6. Odjel nabave**

U sferi kompleksnih proizvoda s nekoliko desetaka tisuća različitih komponenti odgovorno se može tvrditi da proizvod nikada ne bi izašao na tržište da tvrtka razvija i proizvodi sve komponente. Takav pristup zahtijevao bi izdašna sredstva i proizvodnja bi bila neisplativa. Iz tog razloga tvrtke surađuju s proizvođačima raznih komponenti koje se u proizvod ugrađuju. Takve tvrtke nazivaju se dobavljači, a odjel koji prema zahtjevima inženjera traži podobne i kvalitetne dobavljače je odjel nabave. Zadatak odjela nabave je što učinkovitije i detaljnije pretražiti tržište za dobavljačem kako bi se razvojni odjel tvrtke mogao isključivo fokusirati na razvoj samog proizvoda. Faze životnog ciklusa proizvoda u novije vrijeme sve su kraće pa su tako i česte brojne promjene na proizvodu u svrhu optimiranja proizvoda i balansiranja troškova. Posljedica toga svakako je porast dinamike potrage za adekvatnim dobavljačima koji će tražene promjene zadovoljiti svojstvima, kvalitetom i cijenom. Slika u nastavku prikazuje tok procesa nabave.



**Slika 15. Proces traženja i nabave**

Važno je znati da se kod dogovaranja dobavljača u svrhu poštivanja tajnosti razvoja proizvoda svakako potpisuje određeni dokument koji tvrtku dobavljača obvezuje na zadržavanje informacija o proizvodu koji još nije prisutan na tržištu. Takav dokument naziva se NDA (od eng. *Non – disclosure agreement* ).

PLM sustav zbog svega navedenog i u ovom odjelu igra značajnu ulogu. Jasna putanja zahtjeva uz svu dokumentaciju i attribute koji opisuju traženi proizvod značajno skraćuje proces i štedi vrijeme traženja adekvatnog dobavljača. Dvije su važne faze u kojima se od odjela nabave očekuje najveća učinkovitost [6]:

- U fazi razvijanja proizvoda osigurati kvalitetne dobavljače,
- U fazi proizvodnje proizvoda osigurati dovoljne količine na stanju za nesmetan proces proizvodnje

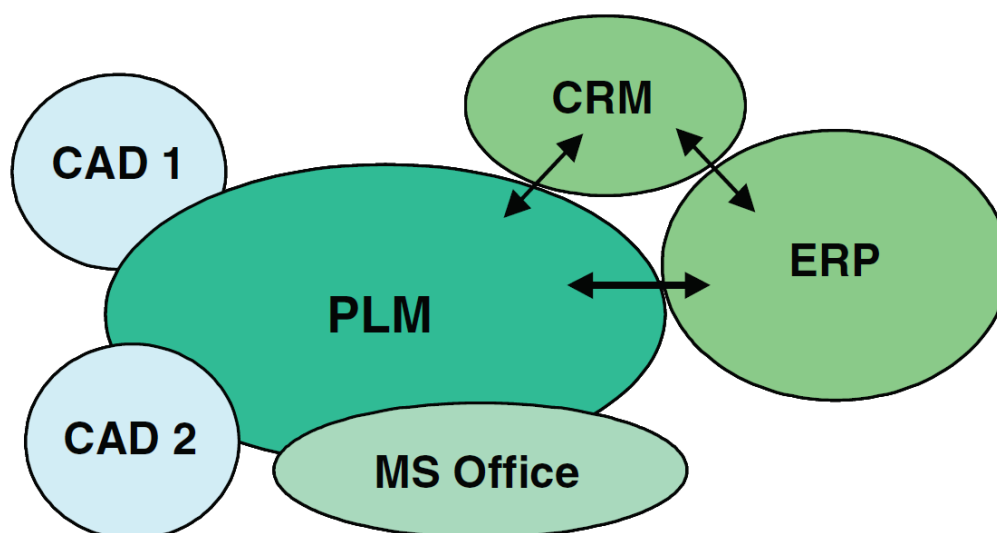
U fazi razvoja proizvoda ukupni su troškovi odluka inženjera prema [10] između 70% i 80%. Tijekom te faze, kako je i rečeno, najčešće dolazi do inženjerskih zahtjeva za promjene na proizvodu. Strukture proizvoda, dokumentacija, svojstva mijenjaju se kontinuirano u cilju kako bi proizvod bio što optimiraniji. U toj fazi proizvoda odluke o suradnji s pojedinim dobavljačima najzahtjevnije je donositi jer na konačan proizvod utječu u svakom smislu. Ne događa se rijetko da i kada nabava nađe adekvatnog dobavljača rokovi isporuke tražene komponente budu i do nekoliko mjeseci. Događa se također da se zbog ljudske pogreške naruče značajne količine proizvoda koji ne odgovara. Nabava bazirana na takvim netočnim i neažuriranim informacijama dovodi do gomilanja krivih proizvoda na skladištu, nepotrebnih

promjena u procesu proizvodnje te u konačnici stvara proizvod s greškom što stvara ogromne gubitke za tvrtku. Pomoću odgovornog korištenja PLM – a takve situacije u fazi razvoja mogu se izbjeći tako da se poštuje radni tijek, da su informacije ažurirane i odgovaraju zadnjoj verziji/reviziji proizvoda u razvoju te da su sva potrebna odobrenja postignuta. Tako se postiže fluidan proces koji ne koči razvoj proizvoda i dodaje mu dodatnu vrijednost.

U fazi serijske proizvodnje nabava je usmjerena zadovoljavanju potrebnih količina komponenti za proizvod. Plasiranjem proizvoda na tržište pa prema fazi zrelosti učestalost promjena na proizvodu značajno je smanjena. Isplativost masovne proizvodnje i reduciranje troškova proizvodnje dobivaju na važnosti. Iz svega navedenog zaključuje se kako je u svrhu povećanja učinkovitosti poslovanja u sve strukture i organizacijsku vertikalnu potrebno implementirati PLM sustave da bi se spomenute greške i gubici sveli na minimum.

## 2.7. Povezanost PLM-a s drugim sustavima

U samim počecima uvođenja u poslovanje PLM nije odmah zamijenio sve stare sustave koji su korišteni, umjesto toga donosio je nove vrijednosti infrastrukturi koja ga je primijenila. Uprava je pri donošenju odluke kod takvih koraka i uvođenja drastičnih promjena veoma oprezna. Danas PLM čini središnji digitalni sustav u industrijskim tvrtkama i moguće ga je povezati s drugim aplikacijama i sustavima koji u osnovi nisu dio PLM-a. Jedan od takvih sustava svakako je već prethodno spominjani ERP.

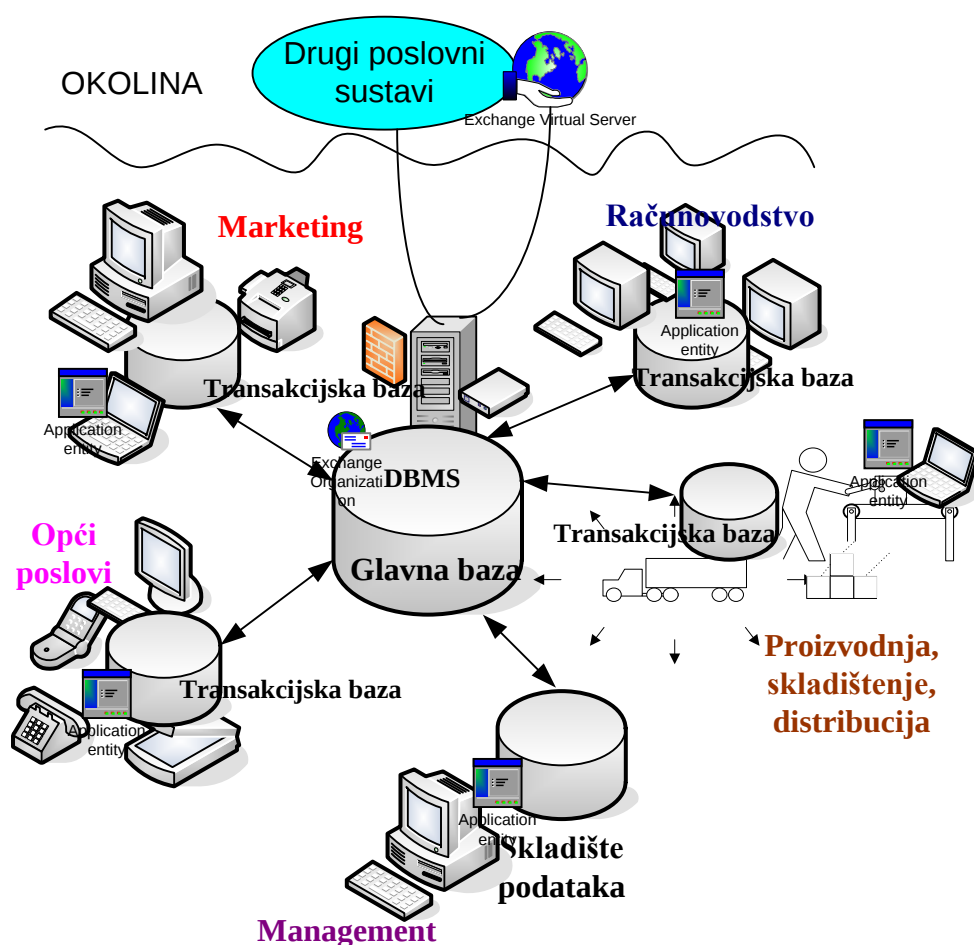


Slika 16. PLM povezanost s drugim sustavima

Za učinkovitu provedbu PLM – a u kompaniji svakako je važno odrediti koje informacije i podaci iz različitih faza životnog ciklusa proizvoda idu u koji sustav odnosno aplikaciju s kojom PLM surađuje.

### 2.7.1. Enterprise resource planning – ERP

Termin je uvela Gartner Grupa 1992. godine, a tada je definirao novu generaciju softverskih rješenja za proizvodne poslovne sustave [11]. Prema [12] ERP označava poslovni informacijski sustav koji omogućuje potpunu kontrolu nad poslovnim procesima u poduzeću. Glavna odlika ERP sustava je da svime upravlja iz iste baze podataka, pružajući na taj način priliku različitim poslovnim odjelima i sektorima da dođu do njima relevantnih podataka.

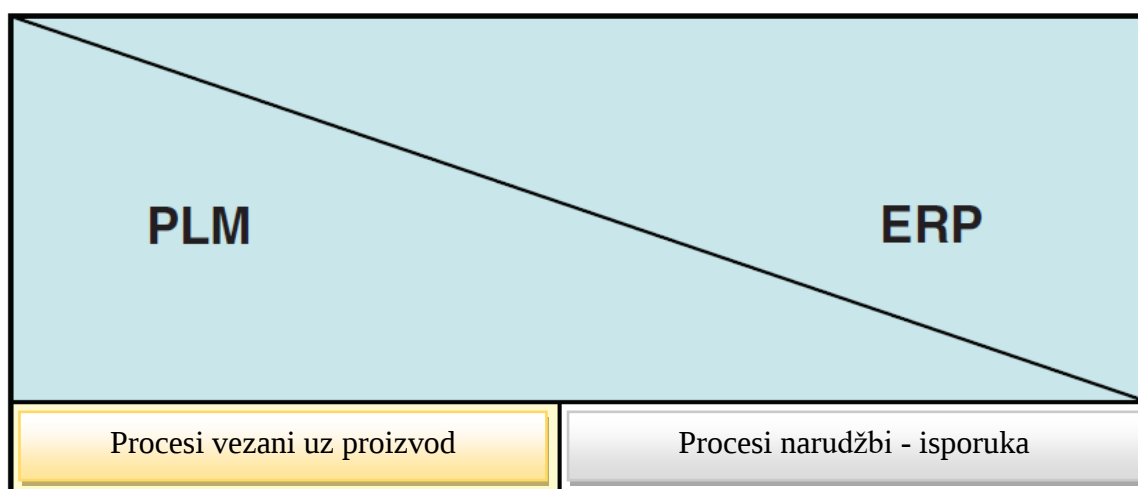


Slika 17. Struktura funkcioniranja ERP sustava [11]

Slikom 17. shematski je prikazano kako je ERP sustav na jedno mjesto, u glavnu bazu veže sve relevantne podatke iz svih odjela i poslovanja kompanije. Moderni ERP sustavi tako su podijeljeni u module:

- Modul za odjel proizvodnje,
- Modul za odjel nabave,
- Modul za odjel logistike,
- Modul za odjel financija,
- Modul za odjel održavanje,
- Modul za odjel prodaje

Različite module koriste različiti odjeli s različitim tipovima ulaznih podataka i informacija. Kroz takav sustav ustanovljena je konstantna kontrola poslovanja i pristup informacijama kao što su: podaci o kupcu, zahtjevi u proizvodnji/nabavi, potrošnja sredstava, stanje na skladištu, dostavljeni proizvodi itd. Bez obzira na takav i tako složen sustav većina bitnih informacija i ažuriranja nalazi se u PLM bazama podataka. Odnos između PLM sustava i ERP sustava najjednostavnije je prikazan slikom u nastavku:



**Slika 18. Veza između PLM sustava i ERP sustava**

Prema slici 18. PLM sustavi znatno se više koriste u fazi razvoja proizvoda, kod upravljanja podacima i informacijama vezanih uz proizvod dok ERP sustavi značajniju ulogu imaju kada proizvod ulazi u fazu proizvodnje. Stanje komponenti na skladištu kontrolirano je pomoću ERP – a, no osnovna odnosno opisna informacija o toj komponenti proizišla je iz PLM sustava. Ovisno od dijelu poslovanja u nekim se strukturama više koristi ERP dok je u drugim zastupljeniji PLM. Zbog toga je u velikim i razgranatim tvrtkama kolaboracija i međusobno nadopunjavanje dva sustava neophodno.

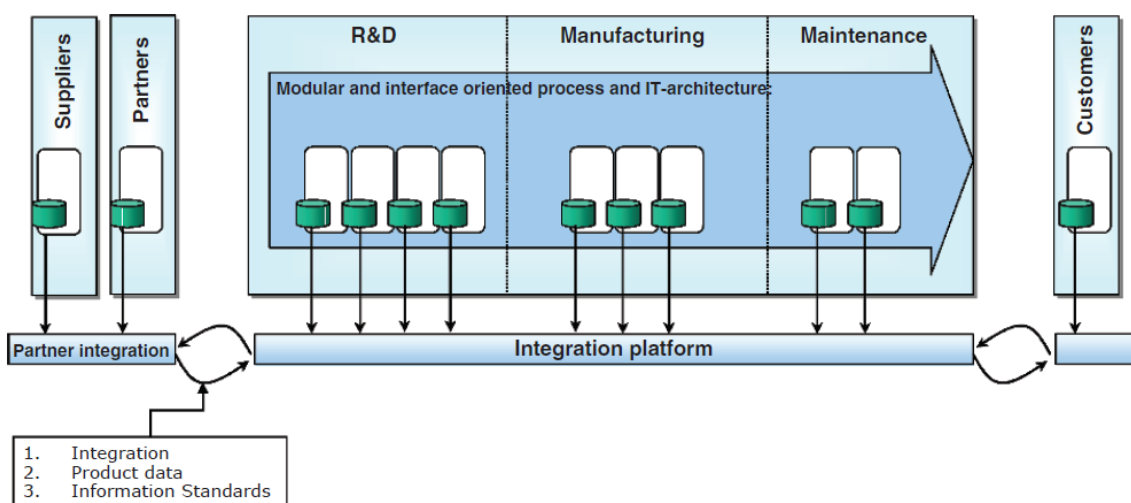
### 2.7.2. CAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing) aplikacije

U okviru strojarstva učenicima, studentima i struci svakako je poznat termin Računalno podržano konstruiranje – CAD. Ono podrazumijeva primjenu računala za dizajniranje, projektiranje, konstruiranje, prikaz budućeg tehničkog predmeta te izradu tehničke dokumentacije za proizvodnju. Ranih 90-ih godina prošlog stoljeća, PLM sustav u svom početku bio je dodatak unutar CAD program dok je danas situacija suprotna. PLM obavlja mnoštvo operacija među kojima je CAD samo jedna u nizu. Opće je poznato da su CAD sustavi 2D i 3D softveri. Dakako, postoji mnoštvo programa i modula pomoću kojih je osim modeliranja mehaničkih 3D modela moguće i projektiranje električnih shema, cjevovoda, hidrauličkih vodova itd. Granica je jasna, PLM sustav kontrolira CAD sustav i može služiti kao spremnik dokumentacije proizašle iz CAD-a. Uz dobru integraciju između dva sustava, koja je danas u određenim softverima prisutna konstruktor ne mora brinuti o tome kako povezati potrebne attribute u PLM sustav i to ručno raditi. Dovoljno je prijaviti se korisničkim imenom i lozinkom u PLM sustav i odabrati CAD aplikaciju i automatski se sve što je prethodno definirano kao bitno pohranjuje u sustav.

### CAM

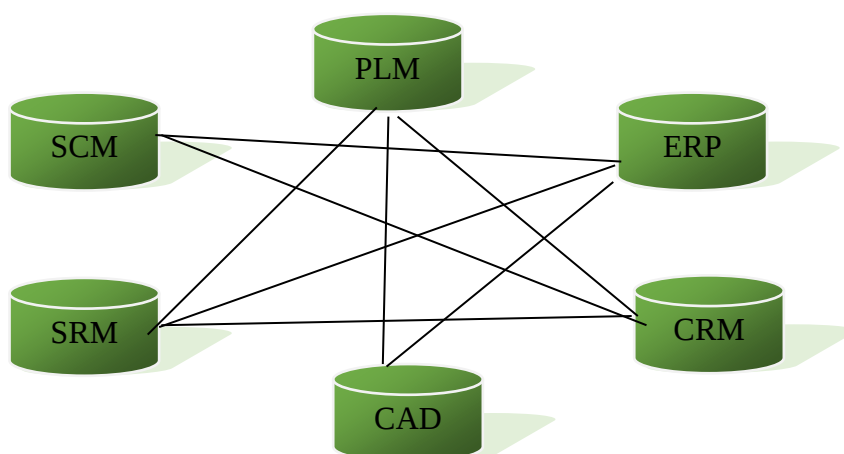
Računalom potpomognuta proizvodnja CAM (eng. *Computer aided manufacturing*) izravni je nastavak CAD – aplikacije i često je u nju integrirana. U CAM aplikaciji definiraju se postupci za cjelovito nadziranje i upravljanje industrijskom proizvodnjom. Ukoliko se uključe CNC numerički vođeni i programirani alatni strojevi, projektiranje i proizvodnja sprovedeni su u jedinstvenu koncepciju CAD/CAM koja je svakako trend u nekoliko različitih industrija. Kako je CAM dio odnosno nastavak CAD – a, svakako je i dio PLM – a te se podaci i informacije koji se generiraju u CAM aplikacijama pohranjuju u PLM.

### 2.7.3. EAI (Enterprise Application Integration) – Integracija poslovnih aplikacija



**Slika 19. Integracija poslovnih aplikacija**

Već nekoliko puta rečeno je da je PLM sustav baziran na kvalitetnom i pravovremenom dijeljenju informacija i podataka. To omogućuje Integracija poslovnih aplikacija koja se u određenim poslovnim sferama primjenjuje zasebno od PLM -a. Metoda je to koja distribuciju i transfer podataka, informacija i procesa između raznih sustava čini mogućim. Kako su u velikim tvrtkama ovisno o odjelu zastupljeni programi i sustavi koji generiraju različite tipove podataka međusobna integracija bila je prijeko potrebna. Prije implementiranja EAI arhitekture, integracija je provedena ručno link vezama (Slika 20.) te je bila kruta i spora. Zahtijevala je česta održavanja i čišćenja iz razloga što je svaki sustav unutar svog prostora za pohranu informacija gomilao hrpu podataka, nastajali su tzv. Silosi podataka.



**Slika 20. Nekadašnji način integracije među sustavima**

Proces integracije poboljšan i unaprijeđen je upravo pomoću EAI arhitekture kako je prikazano Slikom 19. Aplikacije koje podržavaju određene faze životnog ciklusa proizvoda te uključene strane (partneri, dobavljači, kupci) prikazani su zelenim cilindrima dok je tok informacije prikazan strelicama. Vidljivo je da sve informacije i podaci iz raznih aplikacija putuju u jednakom smjeru, prema integracijskoj platformi. Integracijska platforma prikuplja informacije svih sustava na jednom mjestu te ovisno o potrebi šalje zainteresiranoj strani. Na taj način protok informacija mnogo je fluidniji, zaposlenicima je pozornost usmjerena na zadatke koji su višeg prioriteta dok sustav logistike informacija obavlja svoj dio i tako podržava razvojne procese kako proizvoda tako i kompanije i njenih struktura.

## 2.8. Rezultati primjene PLM-a

Potpredsjednik IBM-a za tehnologiju i proizvodnju izjavio je kako je PLM jedan od najvećih iskoraka u industriji proizvodnje još od Henry Fordova izuma trake za serijsku proizvodnju. Mnoge tvrtke prepoznale su potencijal ovog pristupa poslovanju, no važno je napomenuti kako zasigurno kompanijama s dugom tradicijom nije bilo jednostavno usvajati drastične promjene, odgovorne strane teško su donosile odluke. Razlog tomu sigurno leži u tome što je koncept PLM – a relativna novost. Prema autoru nekoliko knjiga o PLM-u John Starku [1] paradigma neće biti u punom sjaju prihvaćena sve do 2030. godine. Promjene koje se moraju napraviti unutar strukture opsežne su, naročito ako se uvode u korporacije kao što su multinacionalne kompanije. Dosljednost metodologiji svakako donosi pozitivne rezultate i vraća investirani novac u provođenje promjena. Već je napomenuto kako su glavni ciljevi PLM – a:

- Razvoj inovativnih proizvoda uz visoku kvalitetu
- Plasiranje proizvoda na tržište bez odgoda
- Olakšano upravljanje različitim tipovima podataka i sustavima podrške
- Transparentna kontrola i smanjenje troškova kroz faze životnog ciklusa
- Povećanje profita

Sljedećih nekoliko primjera iz realnog sektora kvantitativno prikazuju koliko je PLM danas u poslovanju neophodan ukoliko se želi ostvariti konkurentnost.

### **2.8.1. Maschio**

Ovaj talijanski proizvođač poljoprivredne opreme i strojeva s preko 50 godina postojanja i 2200 zaposlenika (podaci iz 2017.) uveo je u poslovanje PLM – metodologiju. Prema riječima direktora marketinga Paola Cere [13] ostvarena vrijeme plasiranja proizvoda na tržište smanjeno je za 55%, kvaliteta konstrukcija poboljšana za 60% te je poboljšana dinamika rada razvojnog tima koji za svaki proizvod koji razvijaju razmotre 50% više opcija konstrukcija nego je to bilo prije uvođenja PLM – a. Korist takvog pristupa svakako je brzo prilagođavanje potrebama tržišta.

### **2.8.2. Grand Soleil**

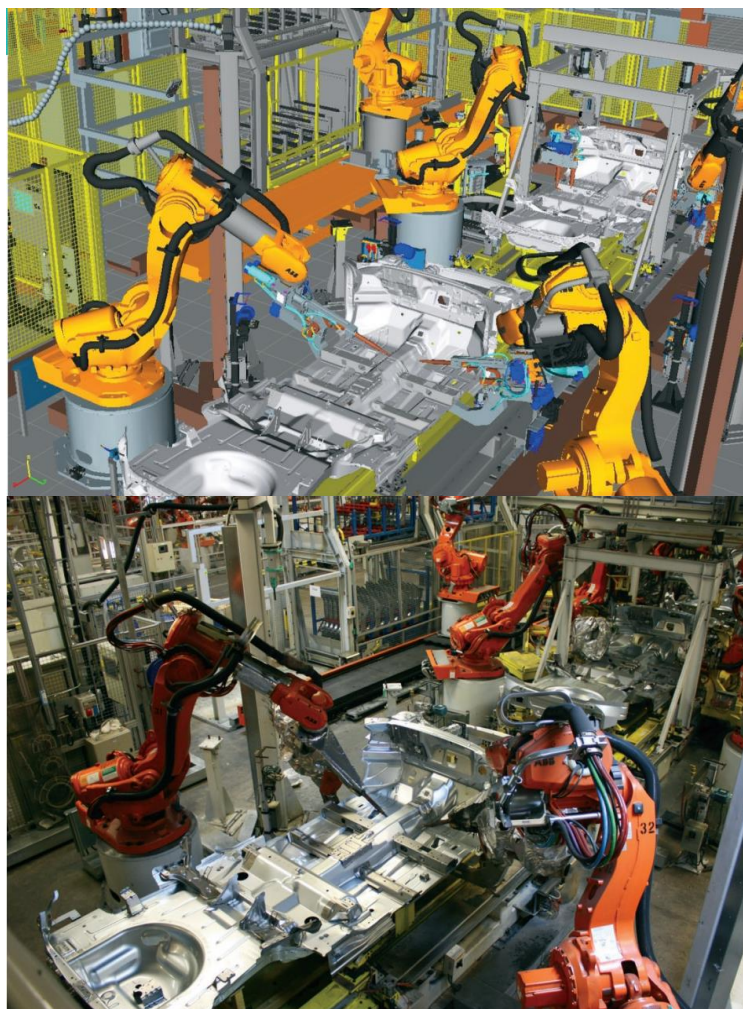
Proizvođač igračaka i vrtnog namještaja prema [13] u samo osam mjeseci od usvajanja nove metodologije rada konstruirali su i na tržište izbacili 12 novih proizvoda. Programsko sučelje CATIA V5 omogućilo im je uštedu vremena od 10% kod konstruiranja i kreiranja dokumentacije te 20 -30 % vremena kod inženjerskih promjena izjavio je Gianni Grazioli, direktor razvoja i marketinga.

### **2.8.3. Toyota**

Osim spomenutih ušteda pri planiranju, konstruiranju i procesima valja spomenuti i uštede u vidu izbjegnutih ljudskih žrtava te sudskih troškova. Naime, Toyota je krajem 2018 godine objavila da s tržišta povlači više od 2,4 milijuna hibridnih vozila [14] zbog problema u ožičenju koji može izazvati požar u automobilu. Ovo je kompaniju koštalo više od Milijardu dolara što je „ništa“ u usporedbi s izbjegnutim ljudskim žrtvama i troškovima nadoknade štete. Upravo je PLM omogućio jasan uvid u to koji su modeli zahvaćeni, na kojem se tržištu nalaze te podatke o prvom kupcu. Pohranjene su također i informacije o odgovornima za nastalu situaciju što omogućuje tvrtki poduzimanje nužnih koraka.

#### 2.8.4. Volvo

Sa sjedištem u Švedskoj Volvo je jedan od svjetskih proizvođača vozila iz premium segmenta. Do 2010. godine vlasnik Volva bio je Ford Motor Company, dok ga nije preuzela kineska grupacija Zhejiang Geely Holdings Group of China. Volvov udio na tržištu je 1-2 %, a tvrtka je od 2011 – 2015. godine u strategiju i plan razvoja među kojima se nalaze novi PLM – sustavi uložila više od 10 milijardi dolara [13] sa ciljem postizanja prodajnih rezultata od 800.000 vozila na godinu. 2008. godine kada je na tržište izašao model XC60 da bi se zadovoljile potrebe proizvodnja modela S60 preseljena je iz Belgijskog Ghenta u Švedsku tvornicu Gothenburg Torslanda. Kako bi se uvele promjene, inženjeri su prema planovima imali 22-24h na koje je pogon bio zaustavljen da odrade posao i premeste strojeve kako bi obavljali novi posao. Takav scenarij bio je moguć jedino uz prethodno off – line programiranje robotskih ruka u virtualno simuliranom okruženju koje PLM-sustav omogućuje. Posao je odrađen u predviđenom roku, a tvrtka je objavila da je takav pristup promjeni uštedio više od 50% novčanih sredstava. Slika 21. prikazuje virtualno i realno okruženje pogona u Gothenburgu..



**Slika 21. Virtualno (gore) i stvarno (dolje) okruženje pogona**

Kada je autoindustrija u pitanju, vidljiv je značajan porast broja modela koje proizvođači konstruiraju i plasiraju na tržište. Mercedes – Benz je npr. do 1990-ih godina na tržištu u programu osobnih vozila imao 10 različitih modela ako se u obzir uzme i kombi vozilo Vito. Danas u programu osobnih vozila Mercedes – Benz ima 22 različita modela plus Cabrio/Coupe izvedenice nekih od navedenih. Tablica modela prikazana je ispod. Dakako da takav porast proizvodnje i broja modela nikako ne bi bio moguć bez digitalnih sustava i metodologija koji su sastavni dio PLM – a. CAD aplikacije u potpunosti su zamijenile nekadašnje tehničko

crtanje te ubrzale i poboljšale proces nastajanja modela i dokumentacije. Zahtjevi za promjene rješavaju se nekoliko puta brže nego prije. Pomoću Digital Mock – Up aplikacija, o kojima će riječi biti u kasnijim poglavljima, kreiranjem virtualnog prototipa proizvoda provjeravaju se greške na modelu i povratnom vezom inženjeri se upućuju na korigiranje istih. Znatne vremenske i financijske uštede su postignute.

**Tablica 2. Broj modela Mercedes - Benz**

| Mercedes - Benz modeli |                |
|------------------------|----------------|
| 1990-e                 | 2010-e         |
| W463 G-Klasa           | C197 SLS AM    |
| W140 S-Klasa           | W218 CLS-Klasa |
| W202 C-Klasa           | R172 SLK-Klasa |
| W210 E-Klasa           | W246 B-Klasa   |
| R170 SLK-Klasa         | X166 GL-Klasa  |
| W638 Vito              | W415 Citan     |
| C208 CLK-Klasa         | W176 A-Klasa   |
| W163 M-Klasa           | R231 SL-Klasa  |
| W168 A-Klasa           | W222 S-Klasa   |
| W220 S-Klasa           | C117 CLA-Klasa |
| C215 CL-Klasa          | X156 GLA-Klasa |
|                        | W205 C-Klasa   |
|                        | C190 AMG GT    |
|                        | W447 Vito      |
|                        | W213 E-Klasa   |
|                        | X253 GLC-Klasa |
|                        | BR470 X-Klasa  |
|                        | W177 A-Klasa   |
|                        | C257 CLS-Klasa |
|                        | AMG GT         |
|                        | W463 G-Klasa   |
|                        | EQC            |
|                        | W167 GLE-Klasa |

### 3. PROGRAMSKA RJEŠENJA NA TRŽIŠTU

Obzirom na rast industrije, nove tehnologije, metodologije, unaprjeđenja procesa razvoja proizvoda i svih ostalih radnji mnogi proizvođači softverskih rješenja prepoznali su poslovne prilike te razvili PLM platforme koje industrija koristi. U ovom poglavlju prikazat će se tri najčešće korištena PLM alata.

#### 3.1. Siemens

U uvodnom poglavlju već je rečeno kako je Siemens NX platforma nastala iz Unigraphicsa, prve CAD platforme u kojoj je napravljen i Jeep Grand Cherokee. Osim NX programskog sučelja, Siemens proizvodi Tecnomatix programskog sučelje te Teamcenter programskog sučelje. Tri navedena proizvoda omogućuju tvrtkama u industriji koja se bavi razvojem proizvoda i proizvodnjom cjelokupnu PLM integraciju svih potrebnih procesa. Aplikacije uključene u navedene programe omogućuju:

- CAD i CAM modeliranje
- CAE i CFD simulacije
- Virtualnu stvarnost i Digital Mockup analize
- Upravljanje i modeliranje proizvodnim procesom
- Upravljanje tablicama materijala (eng. *Bill of Materials*)
- Upravljanje dokumentacijom i informacijama te tehničkim oglašavanjem
- Konfiguracije proizvoda
- Upravljanje troškovima razvoja proizvoda i proizvodnje
- Planiranje i izvršenje projekata
- Traženje i integracija dobavljača u sustav
- Planiranje servisnih intervala i naručivanje rezervnih dijelova

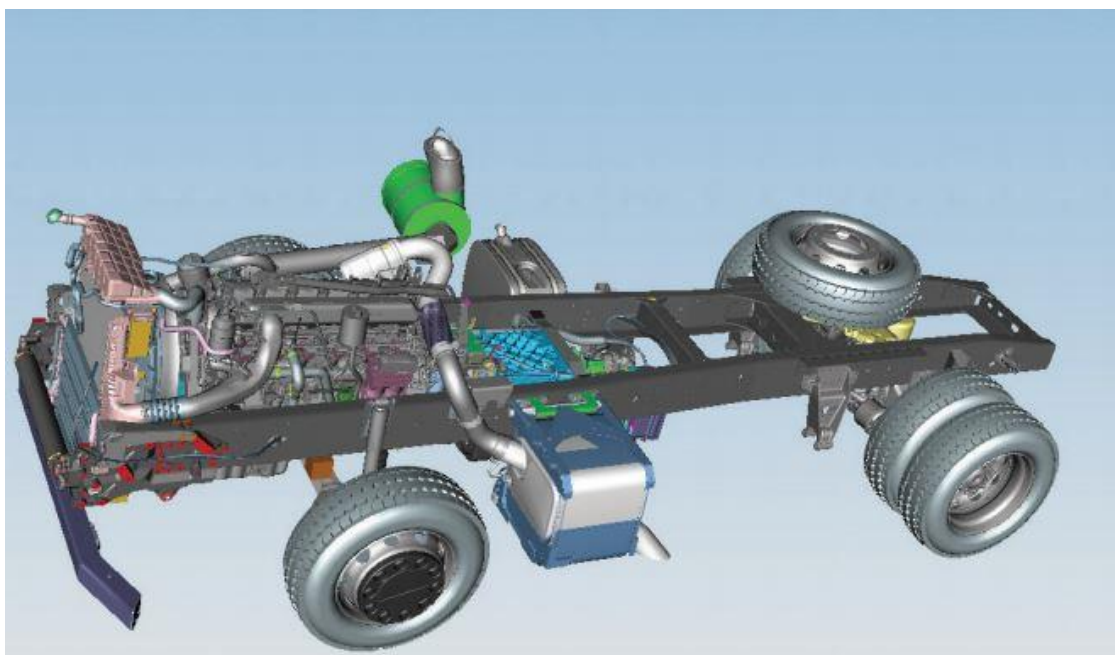
Nabrojane su neke od mnogih mogućnosti uključenih u softver koje služe optimiranju potrebnih procesa, smanjenju vremena potrebnom da se proizvod plasira na tržište, smanjenju troškova te povećanju ukupne dodane vrijednosti proizvoda. Obzirom na navedene mogućnosti može se zaključiti kako uvođenje ovakvih sustava u tvrtke za njih znači značajan financijski trošak. Implementacija takvih sustava može koštati od nekoliko desetaka tisuća € do iznosa koji se broji u milijunima €, a ovisi o tome koje se aplikacije koriste, koliko je

korisnika aplikacija, odnosno radnih stanica na koje se instalira. Cijenu također diktira i edukacija broja korisnika te godišnje održavanje.. Naravno da je preduvjet ostvarivanju profita i poboljšanju prihvaćanje takvih promjena na razini cijele kompanije te odgovorno i ispravno korištenje alata i metodologije.

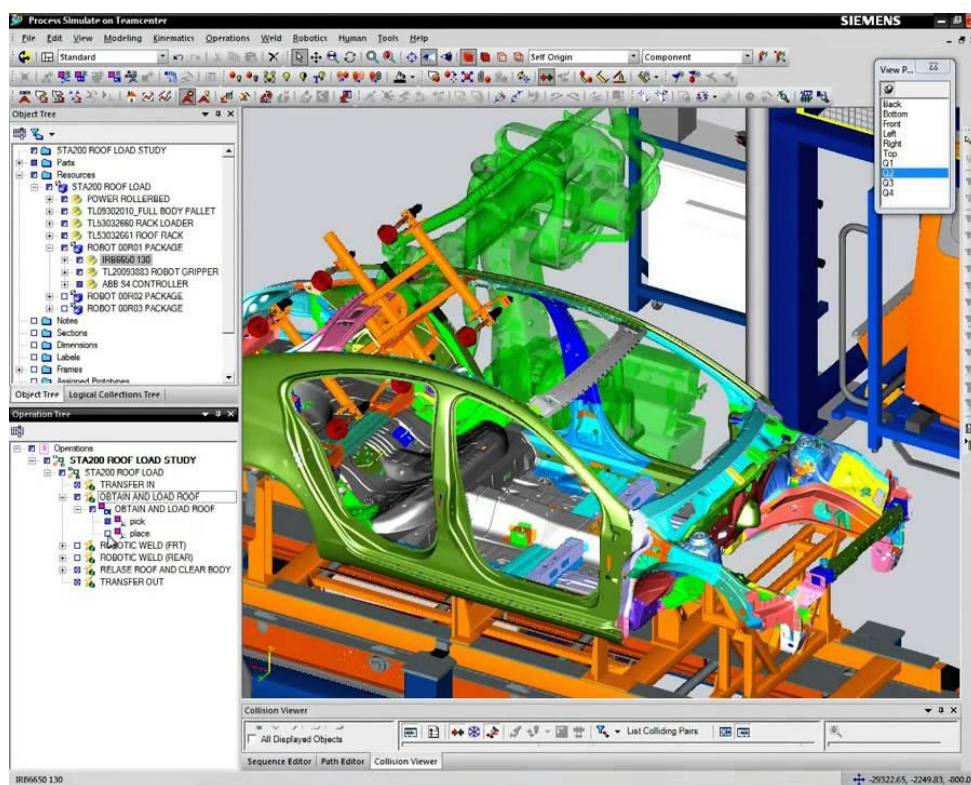
Prema [15] Ruski proizvođač kamiona te motora s unutarnjim izgaranjem za osobne automobile KAMAZ, koji u sastavu i partnerstvu ima preko 150 kompanija u Rusiji i svijetu te zapošljava 45 tisuća ljudi u poslovanje je uveo Siemensove NX, Teamcenter te Tecnomatix sustave. Poslovni izazovi bili su:

- Implementacija novih projekata u digitalno okruženje
- Standardiziranje alata za konstruiranje, simulacije te planiranje proizvodnje
- Osiguranje čvrste kolaboracije između konstruktora i proizvodnih inženjera
- Zamijeniti fizičke testove digitalnim simulacijama u što većoj mjeri
- Smanjiti vrijeme razvoja i proizvodnje proizvoda

Kako bi riješili ovakve izazove instalirano je 355 NX licenci na radne stanice te 1255 Teamcenter licenci na radne stanice. Ispravno korištenje metodologije i sustava rezultiralo je uštedama od gotovo 50% kod dizajniranja i promjena alata zahvaljujući digitalnim simulacijama procesa. Direktor razvoja KAMAZA navodi kako je investicija u PLM sustave ovom i svim drugim uštedama svakako isplaćena.



**Slika 22. KAMAZ model 5490 CAD model podvozja u Siemens NX-u**



Slika 23. Simulacija proizvodnog procesa u Siemens Teamcenter sustavu

Prethodno prikazane slike daju uvid u korisničko sučelje Siemens sustava za konstruiranje modela i planiranje proizvodnje.

Siemensova PLM rješenja u niši automobilske industrije koristi:

- Daimler AG – proizvođač Mercedes – Benz osobnih i gospodarskih vozila sa Siemensom je započeo suradnju 2010 da bi do kraja 2016. potpuno prešao na Siemensovu PLM platforme s Dassaultove
- General Motors
- Ford Motors Company
- Fiat Group Automobiles
- Volvo
-

### 3.2. Dassault Systemes 3DEXPERIENCE

3DExperience također je sveobuhvatna poslovna platforma koja integrira aplikacije i sustave potrebne za cjelovito poslovanje. To omogućuje povezanost konstruktora, proizvodnih inženjera, menadžera, dobavljača, odjela nabave i prodaje te svih drugih odjela i lokacija tvrtke uključenih u razvoj proizvoda.

Na tržištu PLM poslovnih sustava pojavila se 2014. godine i unutar platforme sadržana su razna, već dobro poznata, rješenja koje Dassault Systemes godinama proizvodi i ima na tržištu. Najpoznatije među njima su:

- CATIA – Aplikacija za CAD modeliranje i izradu tehničke dokumentacije
- DELMIA – Aplikacija za planiranje i modeliranje procesa proizvodnje
- ENOVIA – Aplikacija za kolaboraciju, planiranje i praćenje poslovnih procesa tvrtke
- SIMULIA – Aplikacija za CAE i CFD simulacije i analize
- DYMOLA – Aplikacija za modeliranje i analizu integriranih i kompleksnih sustava



**3DEXPERIENCE®**

Slika 24. 3DExperience kompas.

Navedene aplikacije uključene su u jedinstveno programsko sučelje sa zajedničkom bazom podataka. Na taj način omogućuje se integracija i praćenje svih procesa, podataka informacija tijekom životnog ciklusa proizvoda. Ovaj sustav moguće je instalirati lokalno na radne stanice ako su u pitanju male tvrtke. Ipak, kako se već radi o srednjim i velikim kompanijama, radi se instalacija na serveru i oblaku što omogućuje neometan rad dislociranim pogonima i uredima. Cijene implementacije 3DExperience platforme također ovise o instaliranim aplikacijama, broju korisnika te edukaciji i održavanju sustava, no i u ovom slučaju takav alat svakako omogućuje ostvarenje željenih ušteda i unaprjeđenje svih procesa u tvrtki koje na kraju rezultiraju povećanjem profita.

3DExperience platformu uvele su mnoge tvrtke u svoje poslovanje, jedna od njih je i BOSCH Car Multimedia [16]. Jedna od podružnica multinacionalne kompanije Robert BOSCH GMBH koja za automobilsku industriju proizvodi napredne Vehicle to Vehicle sustave, infotainment sustave, head – up displaye te ostale komponente za multimediju. Cilj

uvođenja platforme u razvoju nove generacije kombiniranog Head – up displaya bila je integracija poslovnih sustava svih odjela u integrirani inženjerski pristup kako bi se olakšala suradnja između odjela i pojednostavio protok informacija. 3DExperience omogućuje holistički pristup na modelu baziran sistemski inženjering što je rezultiralo kreiranjem digitalnog modela proizvoda koji je bilo moguće testirati i validirati bez potrebe kreiranja fizičkog prototipa. Ovakav način ubrzao je vrijeme razvoja, reducirao troškove te osigurao sljedivost informacija i podataka od početka do kraja. (eng. *End-to-End traceability*).



Slika 25. Bosch Head Up display

### 3.2.1. Rimac automobili i Dassault systemes 3DExperience

3DExperience platformu za potrebe projekta razvoja hipersportskog električnog automobila C\_Two uvela je i Hrvatska tvrtka Rimac automobili d.o.o. sa sjedištem u Sv. Nedelji. Projekt C\_Two započeo je krajem 2016. godine i to je drugi automobil koji tvrtka samostalno razvija. Concept one prvi je automobil razvijan u programskom sučelju Solidworks također u vlasništvu Dassault Systemesa. Obzirom na složenost proizvoda kao što je takav i na broj različitih disciplina uključenih u razvoj svih sustava i podsustava bilo je potrebno investirati financijska sredstva u PLM sustav. Podaci i informacije svih korisnika iz svih odjela spremaju se na zajedničku bazu u oblaku. I u ovom slučaju, takav pristup omogućava svim uključenim stranama potpuni uvid u upravljanje promjenama u svima fazama proizvoda, sve u realnom vremenu. Omogućena je suradnja s partnerima i dobavljačima, a sve u svrhu bržeg i

kvalitetnijeg razvoja automobila te poštivanje rokova isporuke kupcima. U okviru rada nešto kasnije će biti objašnjeno i detaljnije prikazano kako integrirani PLM sustav 3DExperience te metodologija holističkog pristupa na modelu baziranom sistemskom inženjeringu koristi tvrtki Rimac automobili.



**Slika 26. Rimac C\_Two predstavljen na salonu u Ženevi 2018. godine**

Osim Rimac automobila u automobilskoj industriji 3DExperience PLM platformu koriste i sljedeći poznatiji proizvođači:

- BMW Group
- Honda
- Renault
- Tesla motors

### **3.3. Ostali PLM sustavi**

Osim navedena 2 sustava, koji drže najveći udio na tržištu te obuhvaćaju i inženjerske (CAD/CAM/CAE) alate, postoje još mnogi drugi proizvođači softvera specijaliziranih za PLM u poslovanju. Uglavnom svaki od njih nudi varijaciju rješenja i sustave koji čine PLM koncept razvoja ostvarivim kao što je navedeno u poglavlju 2.5. Od poznatijih mogu se navesti još i:

- PTC Windchill – osim PLM sustava PTC proizvodi i CAD programsko sučelje Creo.
- Autodesk Fusion – Autodesk je proizvođač i CAD alata Inventor te također nudi cjelokupno rješenje implementacije integriranog PLM sustava.
- SAP PLM – SAP je renomirani proizvođač sustava za unaprjeđenje poslovanja.
- ARAS PLM – Također jedan od poznatijih proizvođača PLM sustava

Potonja dva u sastavu svojih proizvoda nemaju CAD/CAM/CAE alate no moguća je interakcija između raznih inženjerskih alata drugih proizvođača. To se ostvaruje pomoću dogovorenih standardnih formata (poglavlje 2.5.6) dokumenata koji se generiraju nakon kreiranja modela u inženjerskim programskim sučeljima.

Primjer toga je Engineering Bill of Materials tablica koja se nakon što je proizvod kreiran u CAD alatu iz njega „izvozi“ u HTML formatu koji moguće čitati i uređivati u nekom od PLM softvera. Također takvi alati omogućuju pregled 3D modela kreiranih komponenti ukoliko su pohranjene u STEP formatu.

## 4. RAZVOJ ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA

Automobili pogonjeni električnom energijom pohranjenom u baterijama u današnje vrijeme nisu novost na tržištu. Većina svjetskih proizvođača u sklopu proizvodnog programa već naveliko proizvodi i prodaje ovakve modele dok ih ostali svakako razvijaju. Predviđanje buduće nestašice fosilnih goriva te zaštita okoliša od štetnih ispušnih plinova kao motivi svakako su pridonijeli razvoju novih i čistih pogona, no glavna smjernica sigurno je kako su karakteristike takvih pogona u odnosu na konvencionalne svakako superiornije. Shodno tome i razina složenosti takvih proizvoda znatno je porasla. U razvoj električnih automobila uključene su multidisciplinarne znanosti koje čine šarolik sustav inženjera i znanstvenika i ostalih stručnjaka. Obzirom na generiranje velike količine podataka i informacija od strane svih uključenih, PLM platforma te kvalitetan metodološki pristup projektu preduvjet je za kreiranja uspješnog proizvoda. Svrha ovog poglavlja je objasniti faze razvoja električnog automobila (metodološki pristup) te faze ostalih životnih ciklusa kroz koje prolazi. Za primjer će se uzeti automobil C\_Two hrvatske tvrtke Rimac automobili d.o.o. za čiji je razvoj, kako je rečeno, korištena Dassault Systemes 3DEXperience platforma.

### 4.1. Povijest razvoja električnih automobila

Prvi primjerci vozila na električni pogon datiraju još u 19. stoljeće. Podaci o pravom prvom izumitelju ostaju nepoznati, no nekoliko inženjera je između 1830. – e i 1840. – e u tadašnje kočije za prijevoz ljudi uspješno instaliralo elektromotore. Robert Anderson, inženjer iz Škotske proizveo je kočiju s električnim pogonom iz baterija koje se ne mogu nadopunjavati. Također na američkom kontinentu Thomas Davenport je između 1834.-e i 1835.-e godine proizveo slično vozilo. Značajniji događaj vezan za elektrifikaciju pogona dogodio se 1885. -e godine kada je francuski fizičar Gaston Plante osmislio bateriju koju je moguće višekratno puniti što je učinilo električni pogon praktičnim. Baterije današnjih električnih automobila postoje upravo zbog tog dostignuća

Još jedna povijesna zanimljivost koja govori o naprednosti vozila na električni pogon je i to da je britanski izumitelj Thomas Parker 1885. napravio vozilo na električni pogon [16] te se s njim od doma vozio do posla. Zanimljivost leži u tome da se to događalo gotovo 10 godina prije nego su automobili pogonjeni motorom s unutarnjim izgaranjem došli na područje

Britanije te da je Parker vozilo konstruirao godinu dana prije nego je svijet ugledao prvi produkcijski automobil, Benzov Motorwagen.



**Slika 26. Električno vozilo Thomasa Parkera**

Masovna proizvodnja nije se dogodila, iako je bilo potencijala, jer je brod kojim je drugi prototip poslan u Pariz potonuo u La Manche kanalu. Prvo produkcijsko električno vozilo konstruirao je William Morrisom iz Iowe. Proizvodnja je započela 1981. godine u suradnji s American Battery Company tvrtkom koja je proizvodila i promovirala proizvod. Karakteristike tog vozila bile su snaga od 4 konjske snage, baterije kojima je trebalo 10 sati za punjenje te najveća brzina između 10 i 20 km/h. Iznenađujuće je to što je autonomija takvog vozila bila oko 160 km, što je čak i u usporedbi s nekim automobilima današnjice značajan domet. Inženjeri iz Porschea također su lansirali električni automobil 1898. godine. Popularnost električnih vozila rasla je i početkom 20. stoljeća. Prema [16] od 4192 automobila proizvedena na području SAD-a 28% bili su električni. Kupci su ih kupovali iz razloga što nije bilo izraženih vibracija, neugodnih mirisa te buke kao što je to bio slučaj kod vozila pogonjenih parnim strojem ili motorom s unutarnjim izgaranjem. Rast popularnosti naglo je zaustavljen 1912. godine Fordovim izumom pokretne trake i uspjehom Modela T koji je cijenu automobila pogonjenih benzinom višestruko smanjio. Nakon toga električni automobil s tri puta većom cijenom jednostavno nije bio isplativ. Ti automobili nestali su s

tržišta sve do 60ih i 70ih godina prošlog stoljeća kada je zbog razloga očuvanja okoliša započelo traženje alternativnih izvora energije, no i tih godina prodaja nije posebno zaživjela. Zamah u istraživanju i razvijanju električnih pogona intenzivnije se događa 1990-ih godina zbog uvođenja strogih normi u pogledu emisije štetnih plinova iz vozila. Prezentirani su razni koncepti, a korak dalje svakako je napravila Toyota s modelom Prius 1998. godine, prvim serijskim automobilom s hibridnim pogonom. U novom tisućljeću popularnost ponovo raste te se u razvoj uključuju mnoge strane. Najveći izazov je razviti baterijski sustav, koji čini najskuplju komponentu u električnom automobilu. Cilj je bio smanjiti cijenu baterije uz istovremeno povećanje gustoće snage.

2006. godine kalifornijski Tesla motors predstavlja model Roadster i obećava autonomiju od 320 km po ciklusu uz najveću brzinu od 200 km/h. Ovaj događaj zasigurno je bila prekretnica te signal svim proizvođačima u automobilskoj industriji koji se nisu uključili u razvoj vlastitih modela s električnim pogonima da je za to došlo vrijeme.



**Slika 27. Tesla roadster 2008. godine**

2010. ih godina došlo je do naglog razvoja i značajnih rezultata. Cijena baterija pala je sa 600€/kWh na ispod 100€/kWh što je višestruko smanjenje i kao rezultat toga automobili s električnim pogonom postali su pristupačniji kupcima. Povoljnu atmosferu za razvoj i unaprjeđivanje pogona činile su vlade u raznim državama koje su građanima za kupnju automobila s hibridnim ili potpuno električnim pogonom davale značajna bespovratna

sredstva. Danas, u 2019. godini gotovo svaki proizvođač automobila nudi barem jedan potpuno električni model s pristupačnom cijenom. Za primjer se može uzeti Volkswagen e-Golf, koji kapacitetom baterije koja omogućuje autonomiju od preko 300 km za cijenu od 195 tisuća kuna (uz državnu subvenciju RH) čini kupnju isplativom i poželjnom iz više pogleda. Prema izvještaju Norveške federacije za ceste (OFV) [17] u prvom kvartalu 2019. godine od ukupnog broja udio prodanih električnih automobila bio 48.4%. Kako bi se udio električnih automobila na tržištu još više povećao potrebno je riješiti problem infrastrukture punionica. Slikom u nastavku prikazani su neki modeli automobila iz različitih klasa koje je danas moguće naći na tržištu.



**Slika 28. Modeli električnih automobila: Renault Zoe (gore lijevo); VW e-Golf (gore desno); Hyundai Kona Electric (dolje lijevo); Audi e-tron (dolje desno)**

U odnosu na konvencionalne modele, električni su još uvijek financijski skuplji, no navedeni primjer Norveške pokazatelj je u kojem smjeru svijest kupaca ide te kako je potpuna elektrifikacija pogona budućnost i to bliža.

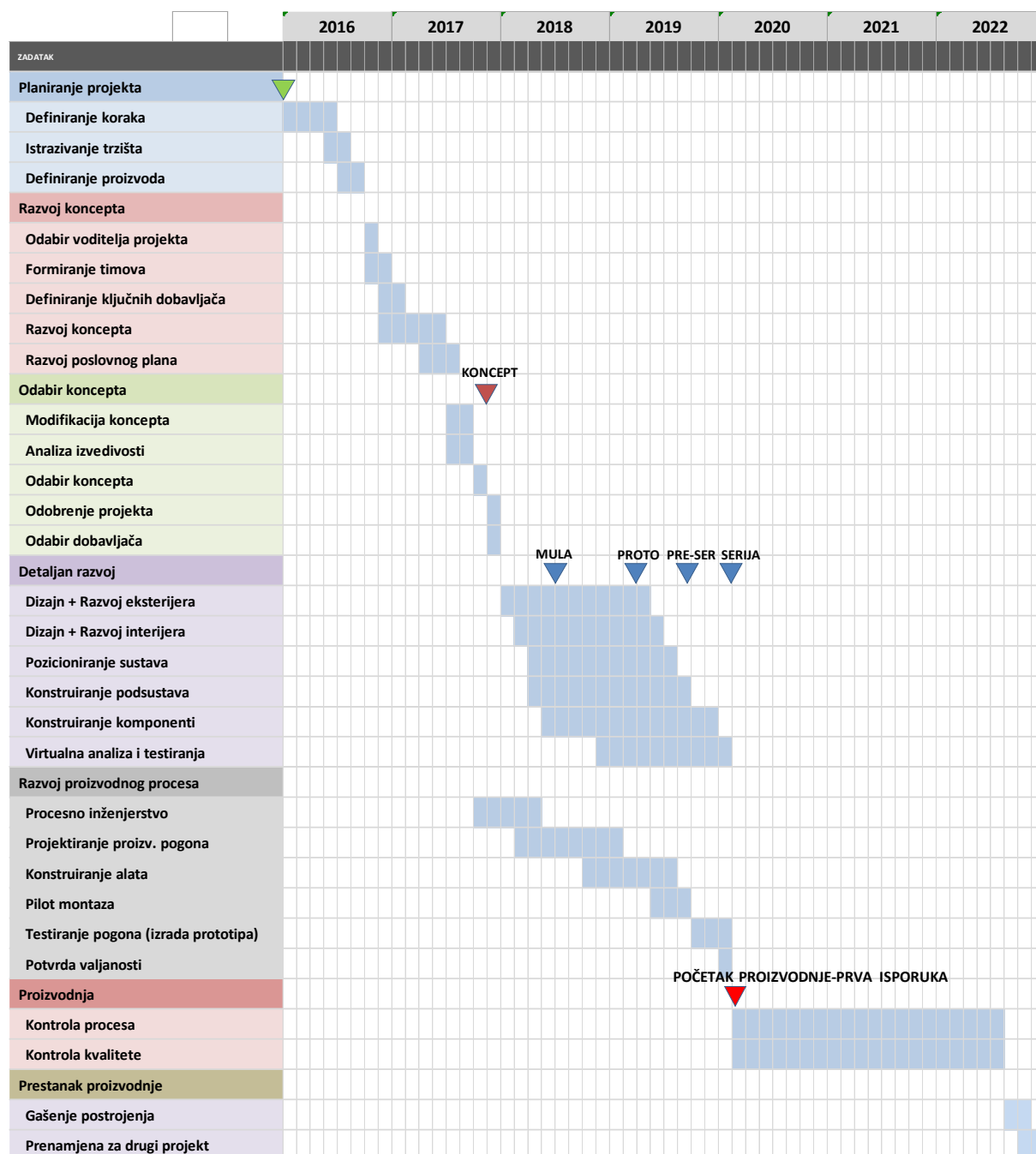
#### 4.2. Rimac automobili d.o.o.

Tvrtka Rimac automobili d.o.o. osnovana je 2009. godine u Sv. Nedelji pored Zagreba s ciljem proizvodnje potpuno električnih hipersportskih automobila. Prvi automobil, Rimac Concept\_One predstavljen je na Frankfurtskom sajmu 2011. godine, a kupcu je prvi primjerak isporučen 2013. godine. U godinama koje su uslijedile broj zaposlenih u tvrtki je rastao višestruko svake godine da bi 2019. godine broj stalno zaposlenih bio oko preko 500. Takav broj ljudi neophodan je za razvoj novog automobila Rimac C\_TWO (Slika 26.) koji je tvrtka prezentirala u Ženevi 2018. godine, dok bi prvi primjerci trebali stići kupcima 2020. godine. Osim razvoja automobila tvrtka se danas bavi i razvojem tehnologije (pogonski sustavi, baterijski sustavi, Infotainment itd.) za druge kompanije koje proizvode automobile (Koenigsegg, Aston – Martin itd.). Također bitno je naglasiti da su u partnerstvo s navedenom tvrtkom ušli strani ulagači iz svijeta autoindustrije (Porsche, Hyundai, Kia itd.). Na području Republike Hrvatske ovo je jedina kompanija koja u cijelosti dizajnira, razvija i proizvodi automobil. Iz tog je razloga u okviru ovog rada uzeta kao primjer na kojem će se prikazati važnost PLM – a u automobilske industriji i upravljanje životnim ciklusom automobila.



Slika 29. Sjedište tvrtke u Sv. Nedelji pored Zagreba

### 4.3. Vremenski tijek nastajanja automobila



Slika 30. Vremenski prikaz programa nastajanja automobila [3]

Slikom 30. okvirno je za potrebe ovog rada prikazan Ganttov (vremenski) dijagram svih aktivnosti uključenih u proces nastajanja automobila od same ideje pa do gašenja i prenamjene postrojenja. Ovakvi dokumenti obično se nazivaju „Makroplanovima“. Kreiraju se u početku projekta kako bi se zadali vremenski rokovi prekretnih faza u procesu nastajanja automobila (označeni trokutima) koji se trebaju čim više poštovati. Kako je projekt dugotrajan i dinamičan tijekom vremena događaju su i nepredviđene situacije, stoga se ovakvi

dokumenti tijekom cijelog procesa revidiraju i do nekoliko desetaka puta. Iz navedenog dijagrama proizlaze sve faze životnog ciklusa proizvoda do proizvodnje.

#### **4.4. Faze životnog ciklusa električnog automobila**

Već je rečeno da svaki proizvod ima svoj životni ciklus. U poglavlju 2.4. opisane su faze životnog ciklusa kroz koje prolazi proizvod promatrano iz perspektive toka novca i tržišnog statusa. Ovim poglavljem, na primjeru električnog automobila objasniti će se faze životnog ciklusa automobil iz perspektive samog proizvoda.

Prema [3] životni ciklus automobila može se podijeliti u 8 različitih faza. To je nešto detaljnija podjela u kojoj je naglasak stavljen na fazu razvoja proizvoda.

1. Idejna odnosno pred - konceptna faza
2. Konceptualizacija i validiranje više različitih koncepata
3. Definiranje proizvoda i reduciranje rizika (analize izvedivosti i rizika, preliminarni dizajn)
4. Konstruiranje i razvoj proizvoda (detaljan multidisciplinarni razvoj i testiranja)
5. Razvoj i priprema proizvodnje (planiranje procesa, izrada alata te razvoj postrojenja)
6. Proizvodnja (Proizvodnja i sklapanje komponenti i sustava)
7. Distribucija proizvoda (korištenje, postprodajne usluge servisa)
8. Otpis proizvoda i recikliranje

##### **4.4.1. Idejna faza**

Važno je razlikovati ulazni motiv ideje i razvoja proizvoda. Pod time se misli da li će se automobil razvijati kako bi zadovoljio potrebe velikog broja korisnika (cijena, funkcionalnost, kvaliteta) ili će u određenoj niši predstavljati superioran proizvod bez obzira na cijenu. U prvom slučaju radi se o velikoserijskoj proizvodnji (>1000) dok je u drugom riječ o maloserijskoj proizvodnji (nekoliko desetaka do nekoliko stotina primjeraka). Kako je to bio slučaj i s automobilima koji su za pogon koristili motore s unutarnjim izgaranjem tako je i u slučaju električnih automobila. Za primjer će se uzeti već spomenuti automobil C\_TWO tvrtke Rimac automobili. U ovoj fazi jedna osoba ili tim ima ideju razviti hipersportski potpuno električni automobil koji će:

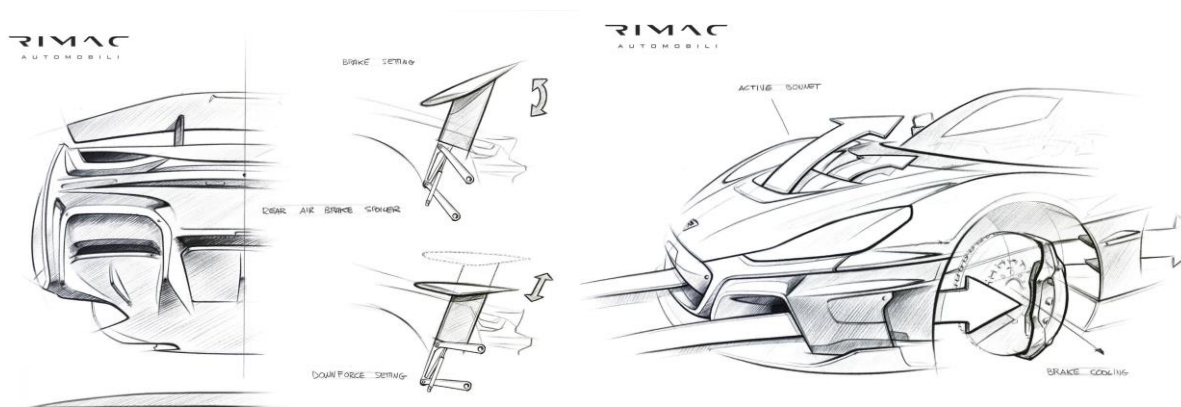
- razvijati izlaznu snagu (iz četiri individualna elektromotora) od preko 1.3 MW,

- za manje od dvije sekunde postići brzinu od 100 km/h uz krajnju brzinu od preko 400 km/h,
- s jednim ciklusom punjenja imati autonomiju od 600 km prema NEDC ciklusu,
- biti opremljen sustavom za autonomnu vožnju 4. razine,
- biti homologiran za svjetska tržišta

Jasno je kako ovakvi zahtjevi na proizvod predstavljaju značajan izazov stručnjacima iz svih područja koji će na proizvodu raditi te da će cijena takvog automobila biti izražena u višemilijunskom iznosu. U ovu fazu uključeno je također i istraživanje tržišta i konkurencije. Nakon kreiranja zahtjeva ulazi se u sljedeću fazu.

#### 4.4.2. Konceptualna faza

Nakon idejne faze i donošenja odluke o razvoju automobila dolazi faza u kojoj se razrađuju i validiraju različiti koncepti. Organiziraju se timovi te se određuje voditelj projekta. U skladu s prethodno navedenim zahtjevima na proizvod, tim razvija nekoliko različitih koncepata. U ovoj fazi odjel dizajna svakako ima jednu od većih uloga. Prethodno navedenu ideju potrebno je pretočiti prvo u vizualni prikaz eksterijera automobila. Ostali stručnjaci su također uključeni u suradnju s dizajnom kako bi se osigurali položaj i prostor za sve sustave i podsustave. Nakon skiciranja i kreiranja prvih CAD modela kreira se i maketa modela u stvarnoj veličini kako bi se vjerodostojnije vizualizirao prostor i dimenzije automobila.



**Slika 31. Konceptualni prikaz dizajna sustava aktivne aerodinamike**

Prethodnom slikom prikazane su skice dizajna eksterijera automobila te skice sustava aktivne aerodinamike vozila.

Po provedenoj analizi tržišta te davanju stručnog osvrta menadžera i stručnjaka iz tima na svaki od kreiranih koncepata (uz provedene analize rizika i izvodljivosti) uprava i visoki menadžment daju zeleno svjetlo nastavku razvoja jednom od koncepata.

#### **4.4.3. Konstruiranje i razvoj električnog automobila**

Kako je uprava odobrila nastavak posla, ulazi se u fazu detaljnog razvoja, konstruiranja i testiranja svih sustava koji se nalaze unutar automobila. Od svih faza životnog ciklusa ova faza svakako je najopsežnija i za tvrtku najzahtjevnija iz mnogih aspekata. Obzirom kako je automobil kompleksan proizvod koji se sastoji od preko 10000 različitih komponenti razvoju je potrebno pristupiti sistemski.

##### **4.4.3.1. Sistemski inženjering**

Sistemski inženjering (SE) je proces donošenja multidisciplinarnih inženjerskih odluka koji je uključen u dizajniranje, konstruiranje i korištenje sustava i proizvoda tijekom njihovog životnog ciklusa [19]. U okviru proizvoda kakav je automobil riječ „sistemski“ podrazumijeva sljedeće:

- Automobil je sustav koji u sebi sadrži nekoliko drugih sustava (npr. sustav karoserije, sustav trimova, sustav šasije, pogonski sustav, električni sustav)
- Da bi se proizveo potpuno funkcionalan proizvod, razvoj čitavog automobila uključuje razvoj svih sustava unutar njega.
- Stručnjaci iz mnogo različitih disciplina (strojarstvo, elektrotehnika, fizika, kemija, industrijsko inženjerstvo, kvaliteta, proizvodnja, financije, menadžment, marketing) potrebni su da bi se razvio automobil
- Automobil je obilježen različitim atributima (očekivanja kupca, performanse, sigurnost, dizajn, komfor, autonomija). Simultana suradnja stručnjaka iz različitih disciplina koji posjeduju široka znanja o sustavima vozila potrebna je kako bi se zadovoljile sve potrebe sustava.
- Automobil se koristi unutar različitih vremenskih i situacijskih uvjeta (npr. vožnja po vjetrovitoj cesti po noći tijekom grmljavinskog nevremena)
- Sve faze životnog ciklusa tijekom faze konstruiranja moraju biti uzete u obzir.

Važnost ovakvog pristupa očituje su u tome da on djeluje poput ljepila i povezuje sve discipline uključene u razvoj u realnom vremenu. Sistemski pristup odgovoran je da gotov proizvod odgovara svim važnim zahtjevima definiranim u početku projekta. Pomoću

ovakvog pristupa osigurava se da se sve potrebne analize, revizije sustava i komponenti odvijaju prema unaprijed postavljenom vremenskom planu. Proizvodi razvijeni po ovom principu imat će više koristi:

1. Razvit će se željeni proizvod pošto SE pristup osigurava da su svi zahtjevi na proizvod zadovoljeni (i), da su zahtjevi dodijeljeni multidisciplinarnim timovima (ii), najbolja konfiguracija proizvoda odabrana je kroz iterativna i rekurzivna poboljšanja (iii), proizvod je validiran pomoću prethodno odabranih testnih procedura (iiii).
2. Vrijeme razvoja proizvoda će se reducirati i tako će se izbjeći skupe odgode i kašnjenja
3. Reducirat će se broj skupih inženjerskih promjena na proizvod
4. Proizvod će se duže zadržati na tržištu

Osim navedenih prednosti, kod SE pristupa postoje i svojevrsni „nedostaci“. Obzirom da se radi o multidisciplinarnom pristupu potrebno je zaposliti dodatnu radnu snagu, ponajprije inženjere i stručnjake što povećava trošak projekta. Također kreira se i dodatna dokumentacija te se povećava opseg rada članova timova zbog dodatnih komunikacijskih kanala, no navedeno u odnosu na uspješno izveden projekt svakako se može zanemariti.

## **V - model Sistemskog inženjeringa**

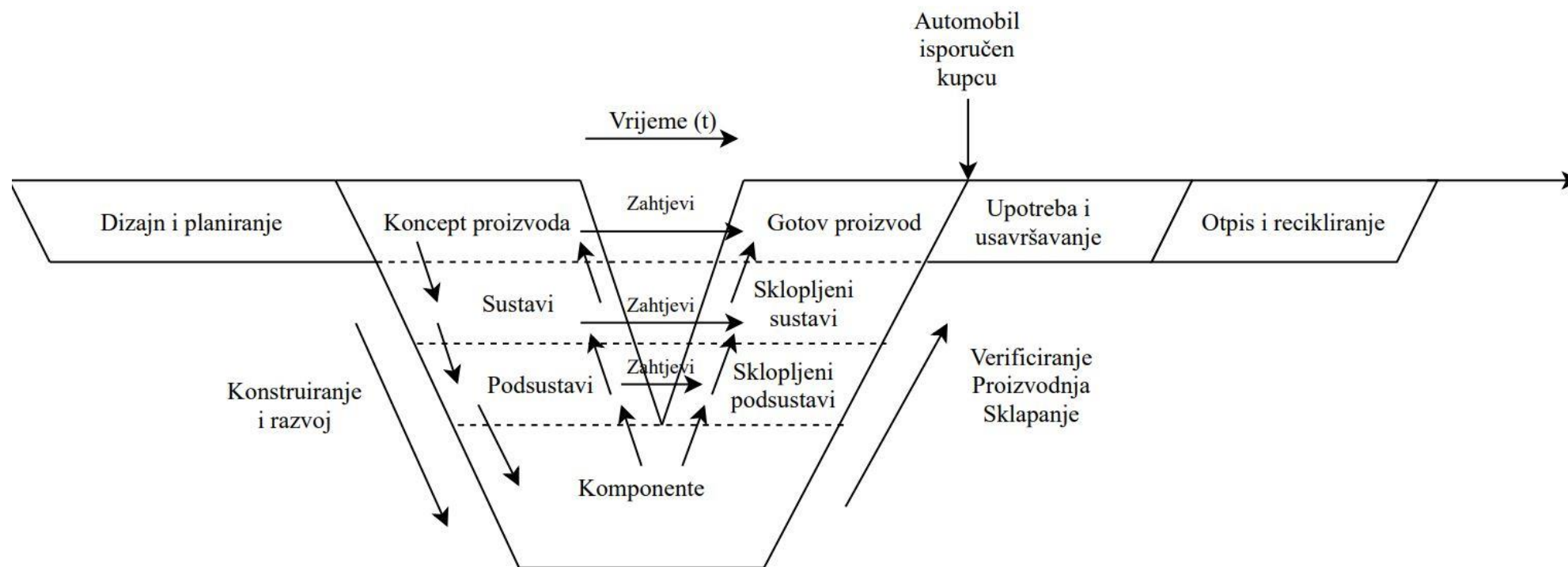
Slikom 30. shematski je prikazan model sistemskog inženjeringa koji se koristi u automobilske industriji. Ovaj model predstavlja sve važne korake kroz životni ciklus proizvoda. Horizontalna linija predstavlja cjelokupno vrijeme životnog ciklusa automobila. Kako je ovdje vidljivo, najviše operacija događa se tijekom razvoja automobila i procesa proizvodnje. Točka „Automobil isporučen kupcu“ događa se kada prvi automobil koji je prošao sva testiranja i homologacije bude isporučen kupcu. Do tog vremena, ovisno o kompleksnosti automobila, svi procesi mogu potrajati i do 6 godina kada se radi o potpuno novom modelu.

Lijeva strana V – a prikazuje faze dizajna, konstruiranja i razvoja. Uprava je dala dozvolu za početak razvoja, timovi s voditeljima su okupljeni te je odabran voditelj čitavog projekta. Nakon kreiranja koncepta Top – down metodologijom (objasnit će se nešto kasnije) počinje razvoj sustava, podsustava i komponenti koje čine automobil. S lijeve strane vidljiv je dvosmjerni smjer strelica. To pokazuje da se tijekom razvoja svih dijelova konstantno

događaju promjene, opsežnije ili manje opsežne. Obzirom na kompleksnost današnjih automobila promjena na dizajnu jedne komponente ili sustava traži promjenu sustava više razine što čini iterativni konstantan postupak. Pod kompleksnošću se misli na broj različitih sustava te elektroničkih i električnih uređaja koji podižu komfor u vožnji i brinu o zadovoljavanju strogih normi o štetnim plinovima. U slučaju hipersportskog automobila s 4 elektromotora i baterijskim setom, oblikovanim tako da je aerodinamički koeficijent otpora zraka što manji (skučen prostor), takve su promjene još intenzivnije i češće.

Desna strana V – a gledajući od dna prema gore predstavlja proizvodnju prethodno razvijenih komponenti te njihovo testiranje da se ustanovi zadovoljavaju li ulazne zahtjeve. Nakon što su komponente proizvedene, sklapaju se u podsustave i sustave koji u cjelini čine funkcionalnu cjelinu – automobil. Također testiranje se provodi i na razinama podsustava i sustava kako bi se utvrdilo da je sve ispravno konstruirano i dizajnirano te da zadovoljava ulazne zahtjeve (prikazani horizontalnim strelicama). Jedan smjer strelica na desnoj strani V – a podrazumijeva da su zadovoljeni svi uvjeti i zahtjevi. Strelice prema dolje značile bi grešku u procesu verificiranja sustava. Ukoliko se dogodi, informacija se proslijeđuje odgovornom inženjerskom timu kako bi pogrešku ispravio, nakon čega se proces može nastaviti. Prototipna i predserijska vozila proizvode se kako bi se provela dodatna testiranja (crash – testovi, različiti vremenski uvjeti, uvjeti na cesti itd.) na razini cijele funkcionalne cjeline. U ovoj fazi također vrijedi da ukoliko inženjeri i stručnjaci uoče nedostatke na automobilu oni se prije isporuke prvog primjerka kupcu mogu otkloniti.

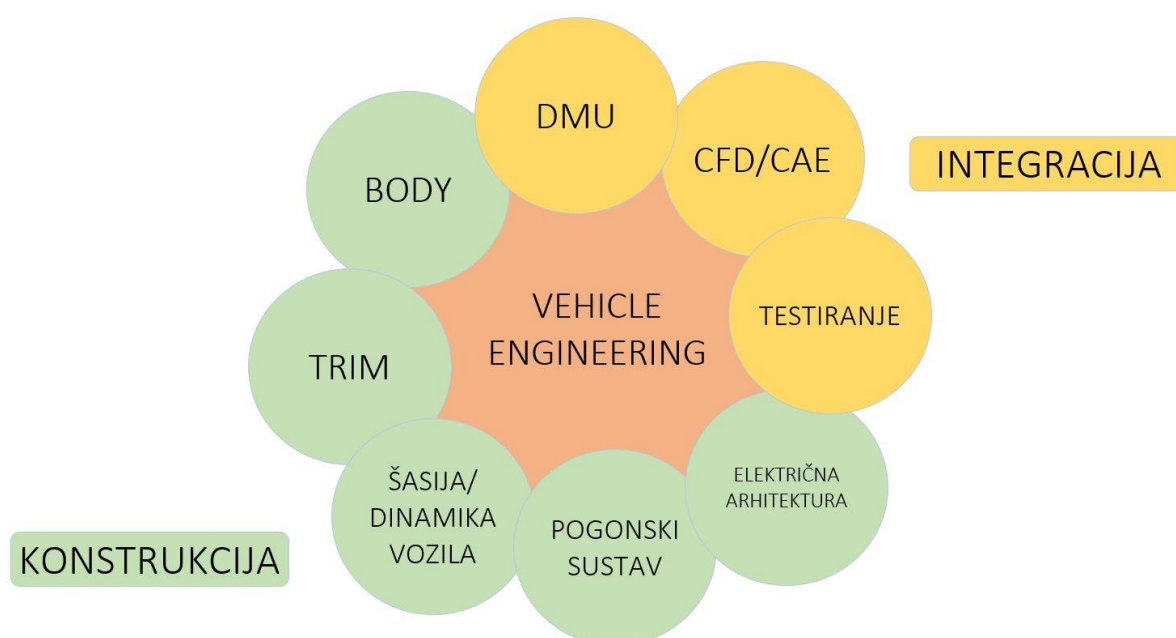
Nakon dostizanja vremenske točke „Automobil isporučen kupcu“ proizvod ulazi u predzadnju fazu životnog ciklusa – upotreba u kojoj ga korisnik koristi, a ovlašteni serviser izvršava radnje na redovnim servisnim intervalima. U ovoj fazi kupci mogu izvijestiti o uočenim nedostacima kako bi tvrtka na sljedećim proizvedenim modelima ispravila nedostatke. Zadnja faza životnog ciklusa podrazumijeva gašenje i prenamjenu pogona za proizvodnju te povlačenje automobila iz prometa koji se potom propisno zbrinjava i reciklira.



Slika 32. V dijagram u SE pristupu

#### 4.4.3.2. SE Timovi

Za razvoj svakog (pod)sustava unutar automobila zaduženi su timovi sastavljeni od multidisciplinarnih stručnjaka. Po hijerarhiji svaki član tima odgovara voditelju tima koji odgovara voditelju projekta. Unutar tvrtke Rimac automobili d.o.o odjel Vehicle engineering zadužen je za razvoj i integraciju sustava u automobil C\_TWO. U okviru ovog podpoglavlja na primjeru navedenog odjela bit će prikazano kako su ustrojeni timovi i hijerarhija unutar odjela te na koji način je u proces implementirana PLM platforma Dassault 3DEXperience. Napominje se kako je cjelokupna struktura multidisciplinarnih timova mnogo šira, no za potrebe ovog diplomskog rada navedeni prikaz dovoljan je za razumijevanje. Slika u nastavku prikazuje kako je Vehicle engineering odjel strukturiran.

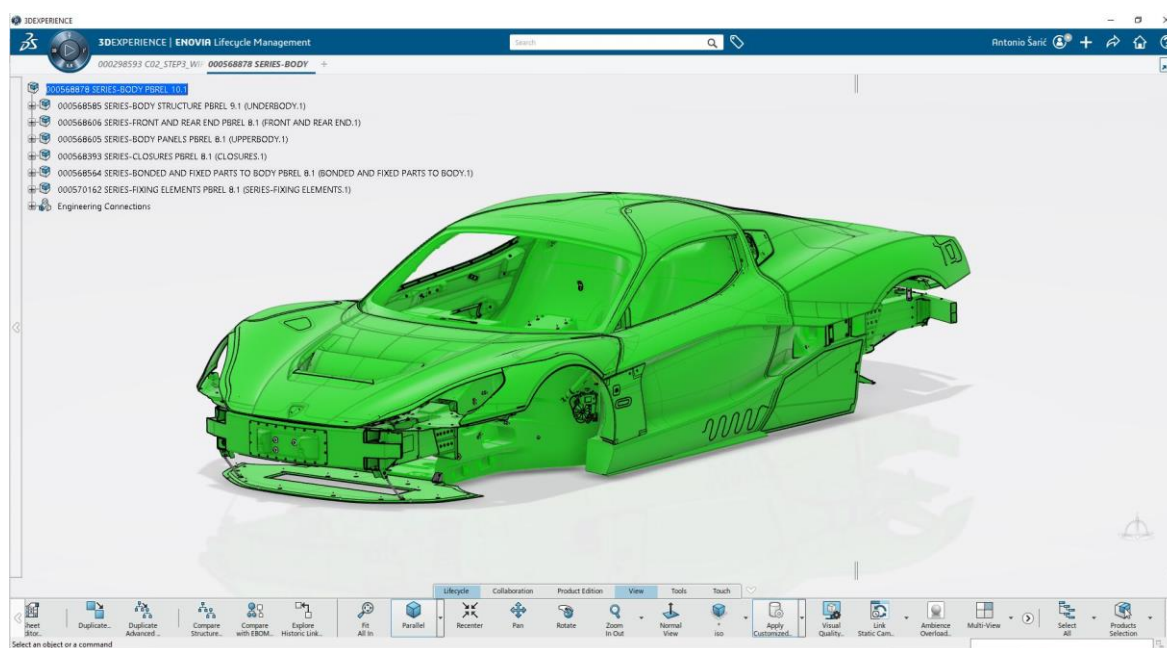


**Slika 33. Timovi unutar Vehicle engineering odjela**

Zeleno obojani timovi su zaduženi za projektiranje i konstruiranje sustava i podsustava unutar automobila dok žuto obojani timovi pripadaju polju virtualne analize i testiranja. U nastavku će se ukratko objasniti područje rada svakog tima.

#### 4.4.3.2.1. Body tim - karoserija

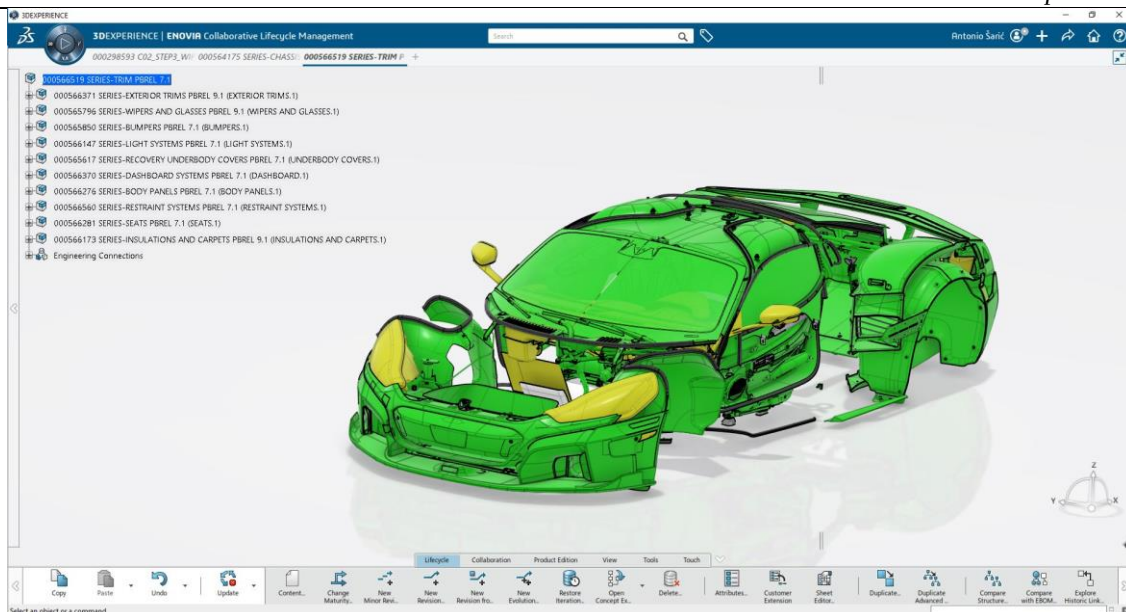
Body tim zadužen je za konstruiranje monocoque karoserije automobila, krova, vrata (troja) te prednjeg poklopca. Rimac C\_TWO automobil je osim navedenih performansi specifičan i po navedenoj monocoque konstrukciji karoserije. Cjelokupna konstrukcija izrađena je od slojeva karbonskih vlakana što ju čini u isto vrijeme laganom te izrazito krutom i čvrstom. Karoserija je oblikovana tako da u njenu strukturu ulazi set baterija koji se također nalazi u posebno oblikovanom kućištu od ugljičnih vlakana te na taj način dodatno doprinosi krutosti i čvrstoći konstrukcije. Slikom 33 prikazan je sustav tijela auta izrađen u potpunosti u programskom sučelju 3DEXPERIENCE.



Slika 34. Body sustav automobila

#### 4.4.3.2.2. Trim tim – interijer i eksterijer

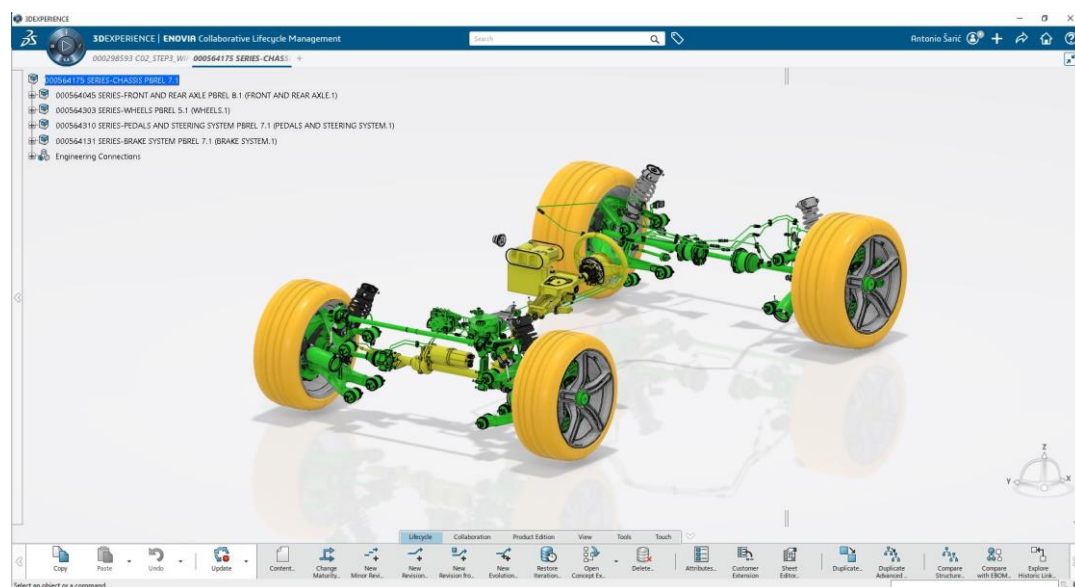
Zadatak Trim tima je konstruirati dijelove interijera te neke dijelove eksterijera automobila (svjetlosni sklopovi, zrcala). Od odjela dizajna dobivaju ulazne podatke, tzv. mrtvu geometriju dijelova koje je potom potrebno konstruirati kako bi se mogli proizvesti. Također zadatak ovog tima je brinuti o ergonomiji unutar kabine te o sustavima aktivne sigurnosti kao što su zračni jastuci i sigurnosni pojasevi. Slika 34. prikazuje sustav auta koji kreira Trim tim.



Slika 35. Trim sustav automobila

#### 4.4.3.2.3. Šasija

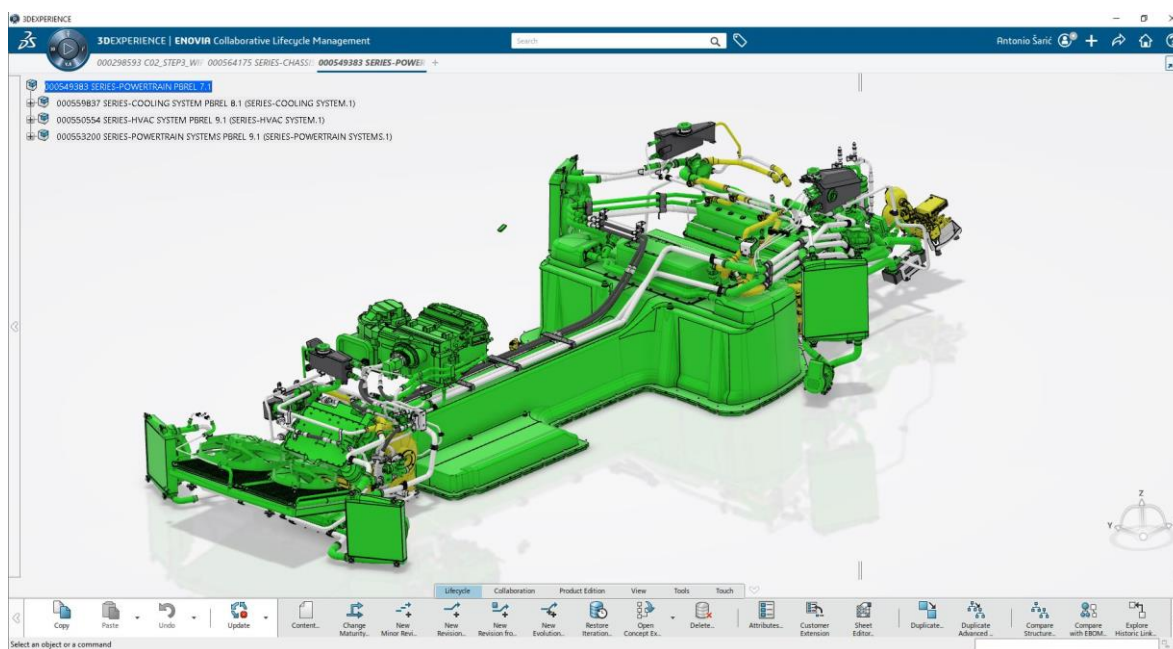
Odgovornost tima je kao što i samo ime sugerira, razvijanje i konstruiranje svih podsustava i sustava koji se tiču podvozja automobila. U suradnji s inženjerima zaduženih za simuliranje dinamike vozila iterativnim postupkom konstruiranja i optimiranja postiže se konstrukcija ovog sustava automobila koja najbolje zadovoljava sve zahtjeve, uvjete i parametre u vožnji. Slika u nastavku prikazuje podvozje automobila izrađeno u 3DEXperience sučelju.



Slika 36. Sustav podvozja automobila

#### 4.4.3.2.4. Powertrain – pogonski sustav

Ovaj tim ne bavi se dizajnom i konstrukcijom elektromotora i mjenjača kako bi se iz imena moglo pretpostaviti. Za taj posao zadužen je dio tvrtke koji razvija komponente. Powertrain tim unutar Vehicle engineering odjela za zadatak ima provesti integraciju pogonskog sustava u automobil te konstruirati sustave hlađenja komponenti (motora, mjenjača, invertera, baterijskog sustava) i klimatizacijski sustav kabine. U nastavku slijedi slika sustava koji kreiraju inženjeri iz Powertrain tima.



**Slika 37. Powertrain sustav automobila**

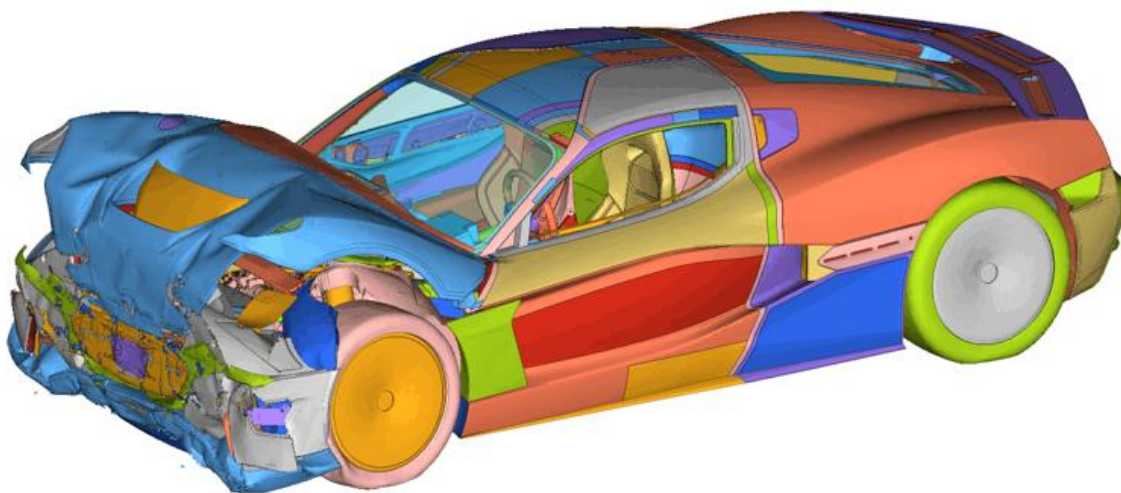
#### 4.4.3.2.5. Electrical architecture – električna arhitektura

Zadatak navedenog tima je provođenje sustava ožičenja te integracija električnih i elektroničkih uređaja u prostor automobila. Također znatan dio tih uređaja i kontrolnih jedinica izrađuje se u dijelu tvrtke specijaliziranom za proizvodnju komponenti kako za potrebe projekta C\_TWO tako i za druge renomirane proizvođače unutar automobilske industrije. U okviru ovog rada slika sustava iz sigurnosnih razloga zaštite intelektualnog vlasništva neće biti prikazana.

#### 4.4.3.2.6. CAE analiza

Nakon što su svi sustavi i podsustavi kreirani te je automobil sklopljen u funkcionalnu cjelinu svi referentni podaci i geometrija „izvoze“ se u STEP formatu u programsko sučelje „Hypermesh“. U navedenom alatu metodom konačnih elemenata provode se analize čvrstoće i krutosti cjelokupne konstrukcije ovisno o raznim uvjetima koji se događaju prilikom vožnje

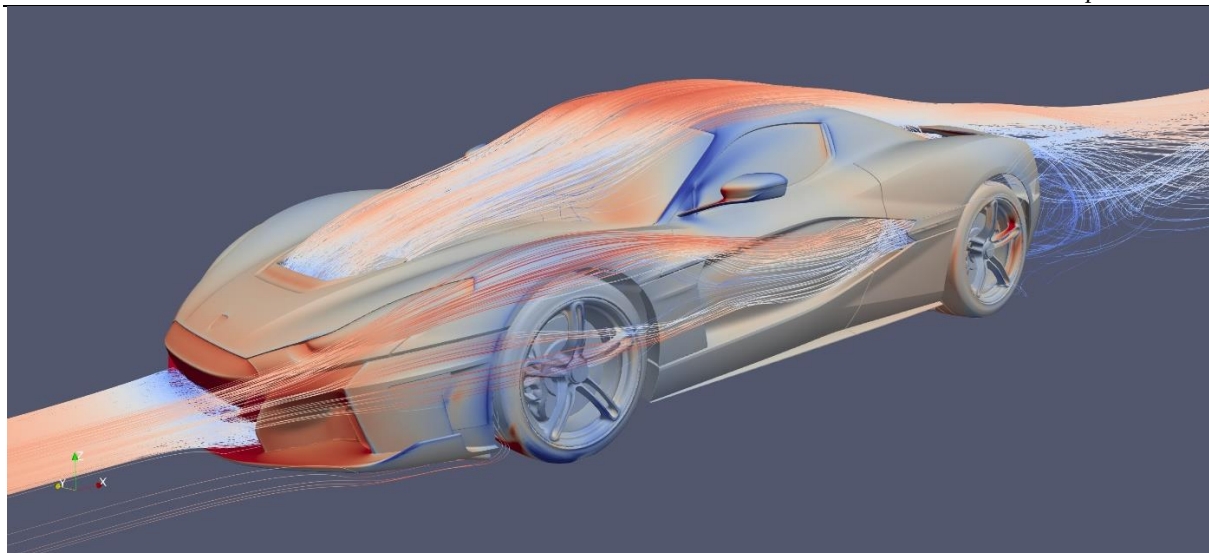
i upotrebe automobila. Ovaj tim razvija i provodi simulacije sudara (Slika 37.) u situacijama i procedurama mjerodavnim za sigurnosna pravila i uvjete homologacije vozila. Ovakvi alati korisni su ponajprije zbog toga što se pomoću provedenih analiza mogu postići rezultati s visokom točnošću. Zbog toga je smanjen broj fizičkih prototipa koje se za potrebe provedbe testa sudara fizički uništava. Slika u nastavku prikazuje kadar analize deformacije automobila u slučaju sudara.



**Slika 38. Simulacija udara u ravnu prepreku**

#### 4.4.3.2.7. CFD analiza

Svrha ovog tima je provesti detaljnu analizu aerodinamike vozila te analizu hlađenja komponenti u suradnji sa svim timovima. Inženjeri unutar CDF tima iz 3DExperience CAD baze povlače gotov model cijelog automobila ili komponenti koje je potrebno hladiti te kreiraju simulacije i analiziraju rezultate. Rezultate komuniciraju ostalim timovima unutar odjela koji potom provode nužne promjene ukoliko su potrebne. Ovakav pristup pomoću digitalnog modela također omogućava uštede jer se u ranim fazama razvoja ne moraju izrađivati fizički modeli. Slika u nastavku prikazuje analizu aerodinamike vozila u digitalnom okruženju te u stvarnom okruženju u testnim uvjetima zračnog tunela.

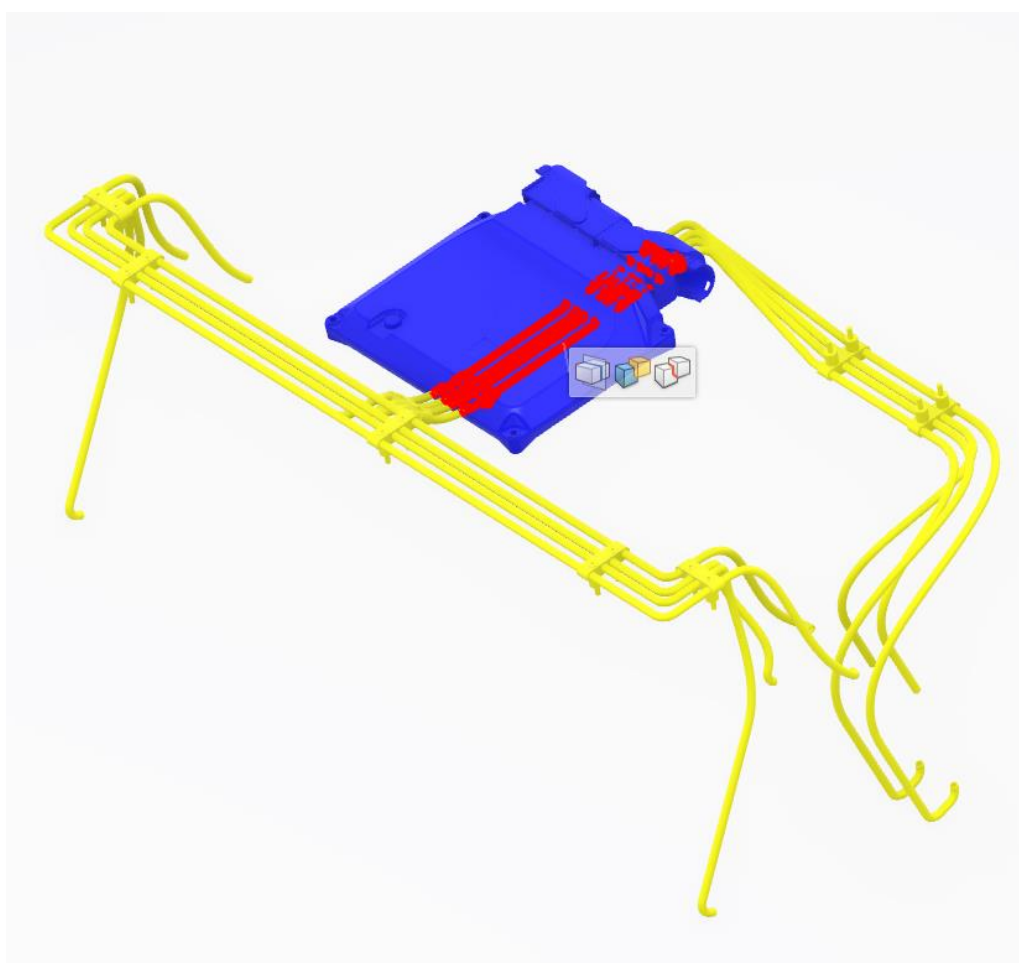


**Slika 39. Analiza aerodinamike vozila: digitalno (gore); stvarno (dolje)**

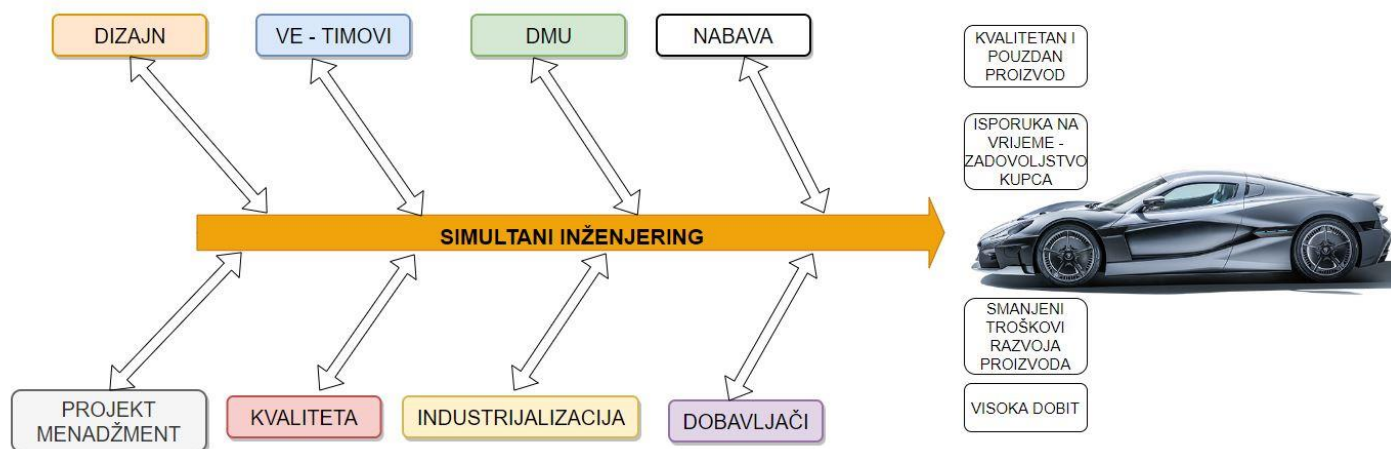
#### 4.4.3.2.8. Digital Mock – Up analiza

DMU tim kao druga stepenica odgovornosti nadzire ishode razvojnog procesa automobila ponajviše u prototipnoj fazi – CAD i BOM definicija. Pomoću PLM platforme inženjeri unutar tima daju suglasnost u lancu odobravanja definiranih razvojnim procesom. Glavna aktivnost svodi se na izradu interferencijskih analiza među komponentama, kako unutar

svakog sustava (body, šasija, trim itd.) tako i među sustavima. Analiza se također provodi na unutar sustava 3DExpereince na prethodnom kreiranim CAD modelima. Nakon provedene analize rezultata, komunicira se s odgovornim inženjerima koji su greške dužni ispraviti jer u suprotnom komponenta ne može biti poslana u proizvodnju. U suradnji s ostalim operacijskim dijelovima tvrtke te odjelom za upravljanje projektom, izrađuje se službena lista problema na projektu te se izrađuje plan rješavanja istih. U nastavku je prikazana analiza interferencije između komponenti dvaju odjela koji zbog kolizije ne mogu dobiti odobrenje za nastavak procesa. Svrha ovakvog tima je pomoću virtualnog modela predvidjeti greške prije nego komponente dođu u proizvodnju. Na taj način smanjuje se trošak i vrijeme razvoja kompletnog automobila.



**Slika 40. Digital Mock - up analiza interferencija**

4.4.3.3. *Simultani inženjering (eng. Concurrent/Simultaneous engineering)***Slika 41. Simultani inženjering – tim**

Prema [3] Sustavni inženjering u pristup uključuje i metodu simultanog inženjeringa u fazi razvoja automobila. Ovakav pristup podrazumijeva istovremenu (simultanu) suradnju timova unutar VE – odjela međusobno te s ostalim disciplinama prikazanim Slikom 40. Ova metoda suprotnost je sekvencijalnom inženjeringu u kojemu se u drugi segment razvoja prelazi tek nakon što je prethodni završen. U početnim fazama, a naročito u fazi razvoja, potrebno je da se sve prikazane discipline istovremeno uključe u proces nastajanja automobila. Na taj se način postiže konstantna kolaboracija među timovima, a preduvjet za to je pravovremena i točna razmjena svih relevantnih podataka i informacija. Na redovnim sastancima tima simultanog inženjeringa revidira se trenutno stanje automobila i dogovaraju se koraci za rješavanje postojećih grešaka.

- Odjel projektnog menadžmenta zadužen je za planiranje i upravljanje projektom što uključuje poduzimanje potrebnih mjera za poštivanje vremenskih rokova, upravljanje tokom novca te odobrenje proizvodnje konstruiranih komponenti. U neprekidnoj je suradnji s ostalim timovima te odobrava odabir dobavljača sukladno prethodno dogovorenim uvjetima.
- Između odjela dizajna i VE odjela suradnja je neprekidna. Zbog određenih razloga (bilo zadovoljenja homologacijskih pravila, bilo pozicioniranja određenih komponenti u dimenzije automobila itd.) događa se da dizajn tim mora napraviti modifikacije. Također moguća je situacija da se neka konstrukcijska rješenja ne mogu primijeniti, što je vidljivo

tek prilikom konstruiranja u 3D alatu pa je i u tom slučaju potrebno napraviti modifikacije. Upravo zbog toga nastaje vizualna razlika između na sajmu prezentiranih koncepata i prodajnih primjeraka.

- DMU tim kako je već prethodno objašnjeno provodi stalne analize interferencija te na sastancima s drugim timovima iznosi rezultate analiza. Tim zadužen za performanse provodi testiranja određenih sustava unutar automobila.
- Tim zadužen za kontrolu kvalitete brine da se provode svi postupci kako bi se ostvarila potrebna razina kvalitete prema ISO 9000 standardu.
- Tim zadužen za nabavu prema ulaznim podacima vođitelja određenog VE – tima dogovara i traži dobavljače potrebnih komponenti koji se potom validiraju.
- Po potrebi sastancima prisustvuju i dobavljači pojedinih komponenti (u što ulaze i vanjski dobavljači i Rimac Components kao kućni proizvođač sustava te ADAS odjel koji razvija sustav za autonomnu vožnju) kako bi se u slučaju potrebnih modifikacija na njihovim komponentama ili na samom automobilu na vrijeme moglo intervenirati.
- Industrijalizacija (proizvodnja i montaža) paralelno razvoju komponenti automobila planira i projektira procese i postrojenje proizvodnje i montaže. Neprekidnim iterativnim postupkom između industrijalizacije i odjela VE postiže se visoka razina točnosti skupih alata i kalupa koje neće biti potrebno naknadno modificirati.

Ovo je važno ponajviše kod procesa prijelaza u fazu proizvodnje automobila koji mora proći glatko i bez većih poteškoća koje bi zahtijevale skupe promjene na proizvodu i alatima te uzrokovale kašnjenja.

Ovakav pristup u razvoju bitan je ponajviše iz razloga što smanjuje vrijeme potrebno za razvoj, smanjuje broj grešaka na finalnom proizvodu te tako i trošak cjelokupnog projekta, a proizvod koji je plasiran na tržište znatno je kvalitetniji nego što je to u slučaju primjene sekvencijalne metode razvoja.

#### 4.4.3.4. *Upravljanje životnim ciklusima u fazi razvoja automobila*

Gantogramom na Slici 30. trokutima su prikazani prekretni trenuci u vremenskom tijeku nastajanja automobila. Ako se obrati pozornost na dio koji prikazuje „detaljan razvoj“ primijetit će se četiri trokuta: Mula; Prototip; Pred – serijski automobil; Serijski automobil. Navedene faze mogu se promatrati kao zasebne unutar faze razvoja u životnim ciklusu automobila. Kao što je potrebno upravljati cjelokupnim životnim ciklusom automobila tako je i ovdje kontrola i sljedivost podataka i informacija neophodna. To se postiže pomoću PLM

platforme (3DExperience) i u ovom će se podpotpoglavlju dijagramom toka prikazati i objasniti proces kreiranja i „sazrijevanja“ CAD i BOM dokumenta te proces odobravanja za proizvodnju. Prije toga potrebno je shvatiti što svaka od navedenih faza predstavlja.

## Mula

Nakon izrađenog koncepta koji uglavnom nije funkcionalno vozilo nego prikazuje izgled i dimenzije automobila, mula je u vremenskom periodu drugo fizički kreirano vozilo.

Funkcionalna mula predstavlja vozilo koje se koristi za testiranje i validaciju raznih sustava koji se nalaze unutar automobila. Također, mnogi sustavi unutar mule još uvijek nisu funkcionalni, a na njihovo mjesto pozicionira se geometrijskim i masenim svojstvima slično tijelo kako bi se čim više aproksimirali položaji komponenti te vozne karakteristike automobila. Takva su vozila stoga podložna čestim promjenama i modifikacijama sustava. Mule mogu poslužiti za inicijalna testiranja sudara. Ukoliko se testiranja provode na javnim cestama, mule se uglavnom kamufliraju kako bi se izbjeglo prijevremeno otkrivanje konačnog izgleda automobila.



Slika 42. Izrada testne mule Rimac C\_Two

## Prototip

Prototipno vozilo je ono kod kojega je razvoj većine komponenti i sustava konačan. Dizajn vanjskog izgleda također je konačan i istovjetan vozilu za serijsku proizvodnju. Prototipi se koriste za konačna testiranja sustava te ponašanja vozila u realnim vremenskim uvjetima te uvjetima na cesti. Rezultati takvih testiranja prikupljaju se, analiziraju te ukoliko je potrebno poduzimaju se promjene na razvoju komponenti predserijskog automobila. Prototipna vozila sa svim komponentama služe kao primjerci za testiranja sudara kako bi vozilo zadovoljilo

homologacijska pravila i sigurnosne standarde. Kako su ta pravila za različita tržišta na kojima će automobil biti dostupan drukčija moraju se provoditi različiti tipovi testova sudara. Takvi testovi su ekstremno skupi stoga se nakon jednog ciklusa testiranja sve netaknute komponente prebacuju u drugo vozilo koje se zatim testira. Osim navedenog prototipna faza je važna i zbog planiranja proizvodnje te kreiranja finalnih alata i kalupa koji će se koristiti za serijsku proizvodnju automobila

### **Predserijsko – vozilo**

Predzadnja faza razvoja omogućuje uviđanje neuočenih grešaka prije nego automobil bude isporučen kupcu. Provode se posljednja testiranja te ukoliko je potrebno poduzimaju promjene. Bitno je znati da su u ovoj fazi gotovo svi alati za proizvodnju dovršeni te je postrojenje spremno za početak serijske proizvodnje stoga velike promjene mogu biti ekstremno skupe i mogu uzrokovati odgode u isporukama što negativno utječe na cijelu kompaniju.

### **Serijsko vozilo**

Razvojni ciklus je u potpunosti dovršen, serijska proizvodnja je počela, a vozila se isporučuju kupcima na dogovorenim tržištima. Od ideje do ove faze prošlo je nekoliko godina, utrošena su značajna novčana sredstva stoga se od proizvoda očekuje uspjeh na tržištu kako bi se uloženi novac isplatio i postigla zarada. Već je napomenuto kako je i u fazi eksploatacije vozila moguće uočavanje nedostataka od strane korisnika. Kako su vozila pod garantnim rokom, uočeni nedostaci se otklanjaju i ispravljaju u buduće proizvedenim jedinicama.

#### *4.4.3.5. Kreiranje i sazrijevanje CAD i BOM dokumenta*

Preduvjet za fluidan razvojni ciklus je usklađena radna metodologija unutar strukture odjela koja se potom implementira u PLM platformu. To podrazumijeva jasno definiranje zadataka i razine odgovornosti u PLM sustavu za svakog člana razvojnog tima, a nužno je kako bi se osigurala sljedivost i distribucija dokumenata, informacija i drugih relevantnih podataka. Pod pojmom sazrijevanje dokumenta misli se kako i dokumenti, u ovom slučaju CAD i BOM, imaju životni ciklus što će biti prikazano u nastavku.

- CAD dokumente generiraju razvojni inženjeri VE – odjela unutar 3DExperience aplikacije CATIA. U tim dokumentima prikazan je potpuno definirani 3D model komponente, podsustava ili sustava koji prati tehnička dokumentacija. Svakom inženjeru unutar tima voditelj tima delegirao je podsustave koje je potrebno metodologijom

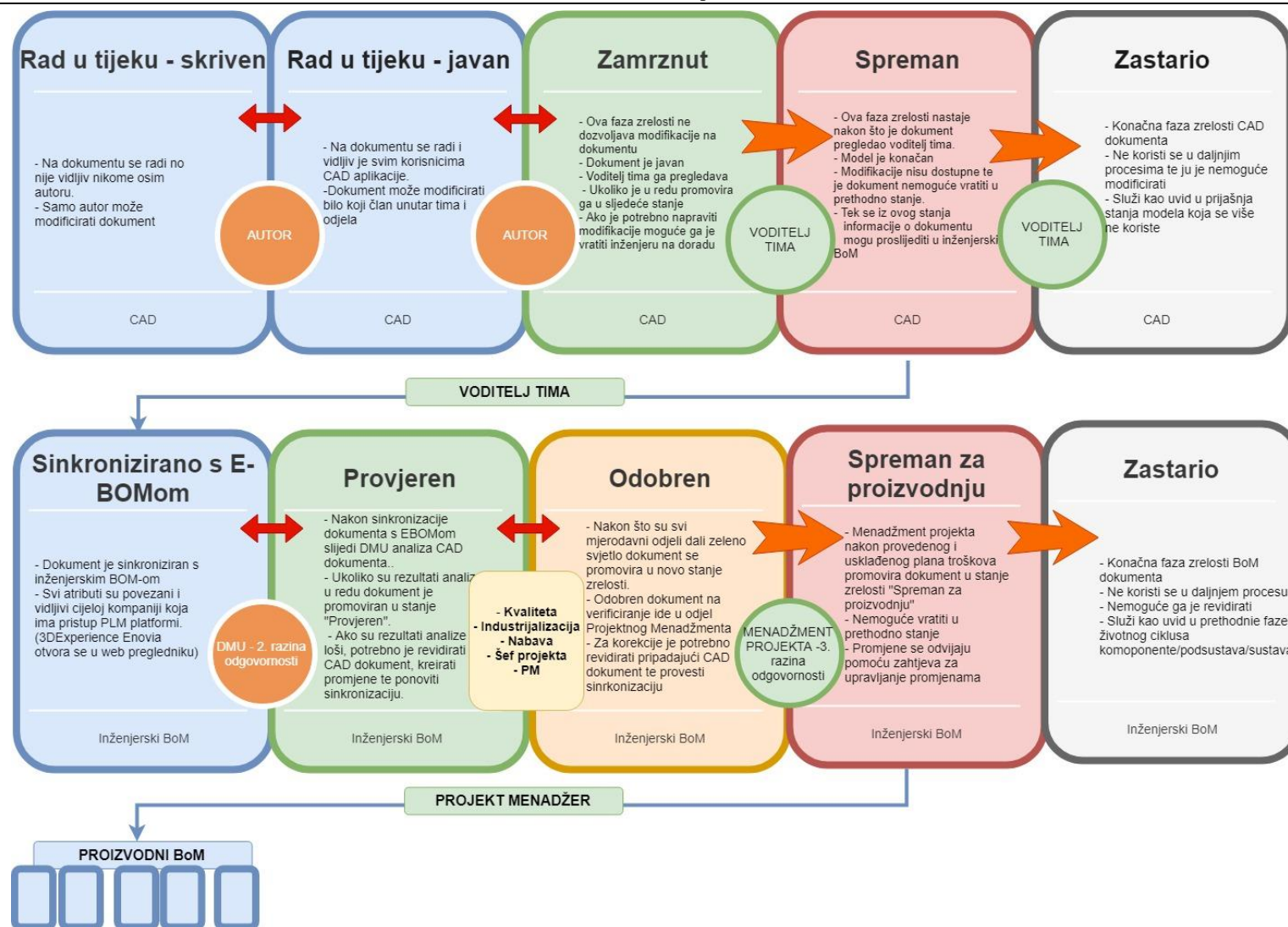
Odozgo – prema dolje (Top – down) konstruirati i modelirati. Inženjer zadužen za zadani podsustav stoga projektira i modelira sve komponente koje čine podsustav.

- BOM dokumenti su sastavnice svih sustava, podsustava, komponenti koji čine cijeli automobil. Bitno je razlikovati Inženjerski BoM (Bill of Materials) i proizvodni BoM. Inženjerski BOM proizlazi direktno iz CAD dokumenata, a rezultat je rada razvojnog odjela tvrtke. U takvom dokumentu prikazani su svi atributi koji se vežu uz komponentu (Datum kreiranja, vlasnik dokumenta, materijal, masa, ERP kod, podaci o dobavljaču, cijena, vrijeme dobave itd.). Nakon provedenog procesa kontroliranja i odobravanja inženjerski BoM prelazi u proizvodni BoM.

Slikom 42. shematski je prikazano kako se upravlja životnim ciklusom dokumenta. Životni ciklus CAD objekta prikazan je statusima: rad u tijeku – skriven, rad u tijeku – javan, zamrznut, spreman te zastario i za svaki od statusa navedena je kratka definicija. Strelicama (dvosmjernim i jednosmjernim) prikazana je mogućnost promoviranja odnosno depromoviranja dokumenta, a ispod strelica navedena je razina odgovornosti koja dokumente promovira iz ciklusa u ciklus. Jednak je slučaj i sa BoM objektima i njihovim životnim ciklusom koji je podijeljen u faze: Sinkroniziran s EBoM-om, provjeren, odobren, spreman te zastario. U PLM platformi 3DEXperience takva stanja se prilikom promoviranja životnog ciklusa automatski prikazuju u imenu objekta i to u obliku prethodno dogovorene kratice koja označava stanje (slika 43.). PBREL (*Public released*) analogno je stanju „Spreman“, dok je PVWIP (*Public visible work in progress*) analogno stanju „Rad u tijeku – javan“ na shemi prikazanoj slikom 42.



- **Slika 43. Struktura naziva objekta unutar 3DEXperience sustava**



Slika 44. Procedura sazrijevanja CAD i BOM dokumenata

Osim životnog ciklusa objekta u imenu je vidljiva i trenutno otvorena revizija objekta. Obzirom da se CAD objekt iz stanja „Spreman“ te EBoM objekt iz stanja „Spreman za proizvodnju“ ne mogu depromovirati u prethodno stanje za takve objekte da bi bilo kakve promjene kreirale, potrebno je dignuti novu reviziju čiji je status ponovo „Rad u tijeku – javan“. Ovakvu metodologiju potrebno je implementirati u razvojni ciklus kako bi se ta faza životnog ciklusa mogla adekvatno pratiti.

#### 4.4.3.6. Metodologija rada

Praćenje razvojnog ciklusa automobila iziskuje usklađene korake unutar odjela VE. Metodologija radnog tijeka dogovara se u samom početku projekta, no podložna je promjenama u svrhu poboljšanja učinkovitosti. To podrazumijeva definiranje i poštivanje točnih rokova (prema Gantogramu na slici 30) do kojih će određene faze razvoja biti dovršene. Kako između navedenih faza (Mula, Prototip, Pred – serija, Serija) postoje vremenski razmaci od nekoliko mjeseci definiraju se postaje unutar tih vremenskih razmaka do kojih kreirani CAD objekti moraju biti u stanju „Zamrznut“ ili „Spreman“. Takav pristup je nužan kako bi se ciklus mogao jednostavnije kontrolirati. Na integracijskim sastancima timova simultanog inženjeringa, prikazuje se trenutno stanje i dogovaraju sljedeći koraci.

U fazi razvijanja testne mule te do određene faze u razvijanju prototipa promjene na automobilu se odvijaju bez posebnih zahtjeva za kreiranje promjena (poglavlje 2.5.6.1.). Nakon dogovorene točke u vremenu u kojoj je razvoj u poodmakloj fazi, svaku inženjersku i tehničku promjenu potrebno je izvršiti prema proceduri za upravljanje promjenama. U takvom formularu se jasno navode razlozi zbog kojih je na objektu potrebno izvršiti promjene, prioritet rješavanja te procjena troška promjene. Jednostavan primjer takvog zahtjeva prikazan je slikom 45.

ISSUE - FORM (1)

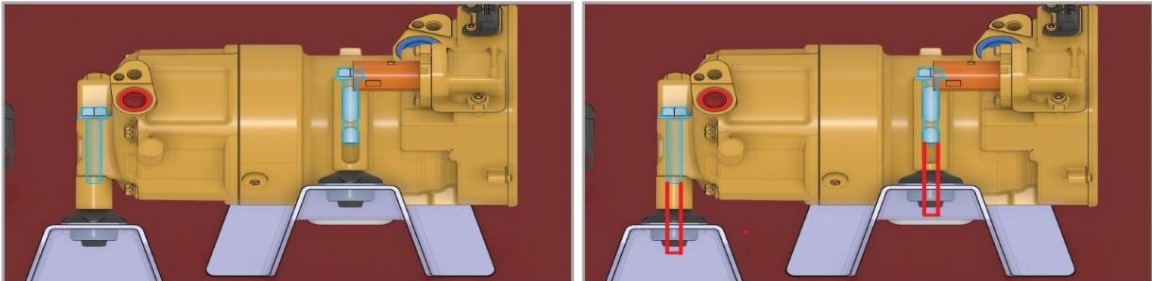
---

Model: C02 Part Number: 00029777 Part Name: AC COMPRESSOR - BROSE ECC 810V B SAMPLE  
 DCR Number: RA-DCR-380 Title: SCREWS TOO SHORT Department Request: MFG Person Issuing: Eugen Petrović Person Responsible: Boris Tamovska Event: STEP 2 Issue Date: 4.10.2018

---

Description of current status: Current Picture: C02-266  
 The screws for tightening the compressor onto the brackets are too short and do not go all the way through the compressor and brackets. It is therefore impossible to fasten the compressor onto the brackets.

Description of proposed solution: Proposed Picture: C02-266-1  
 Screws should be replaced with longer ones.



RELATED DEPT:  
☐ BA ☐ CO ☐ WE ☐ MFG ☐ VE ☐ MC

Related Dept. Comments:

Reply:

| ITEMS            | OLD     | NEW     | DIFF.   |
|------------------|---------|---------|---------|
| Cost Difference: | 0,00 €  | 0,00 €  | 0,00 €  |
| Weight:          | 0,00 kg | 0,00 kg | 0,00 kg |
| Process Time:    | 0 sec   | 0 sec   | 0 sec   |
| Investment:      | 0,00 €  | 0,00 €  | 0,00 €  |

PRIORITY:  
☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E  
 Priority Risk ?  
 DECISION :  
    
 IMPLEMENTATION DATE:

DC - REQUIRED: ☐

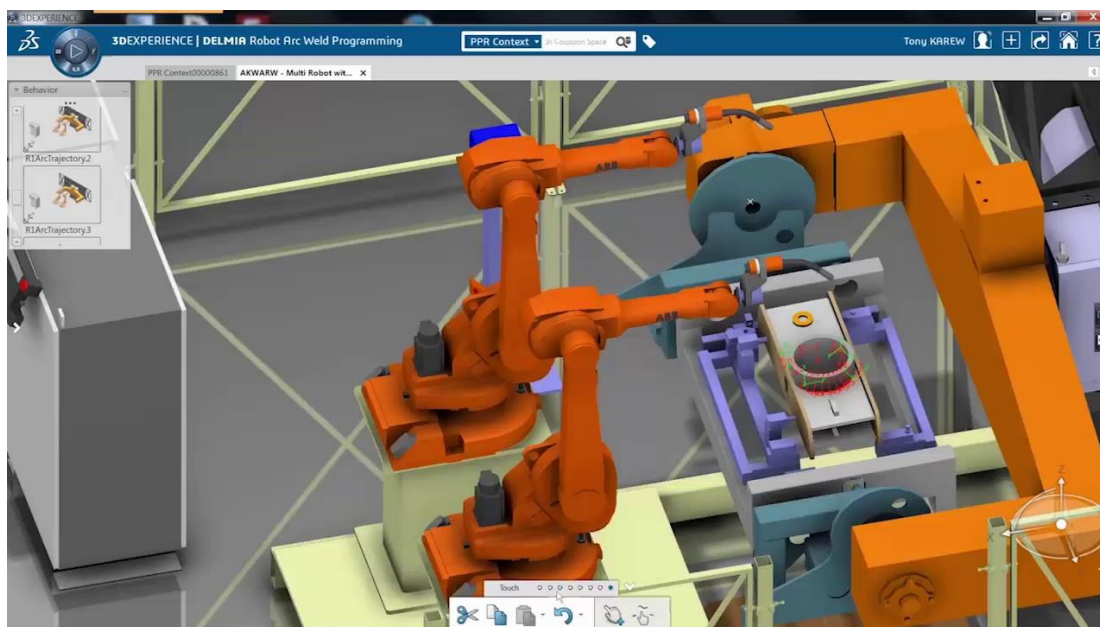
Slika 45. Zahtjev za promjenu na objektu

Takvi zahtjevi se na sastancima analiziraju te se donosi odluka o prihvatanju ili uputa za traženje alternative. Od podnošenja do izvršenja uz sve procese odobravanja prolazi i do nekoliko tjedana stoga je u fazama razvoja gdje se modifikacije odvijaju jednostavnije potrebno postići što veću točnost.

#### 4.4.4. Proizvodnja i montaža

Od rane faze razvoja automobila u timovima simultanog inženjeringa članovi su procesni i proizvodni inženjeri. Paralelno razvoju automobila odvija se razvoj proizvodnog postrojenja te se modeliraju procesi. Unutar 3DExperience platforme se nalazi modul Delmia za digitalizaciju procesa. Pomoću takvog alata kreira se digitalno proizvodno i montažno postrojenje te provode simulacije procesa. Korist alata prvenstveno je u tome što je nedostatke moguće na vrijeme uočiti. Na redovnim integracijskim sastancima timovi iz sektora industrijalizacije sudjeluju u donošenju odluka, izvještavaju o greškama i tako iterativno optimiraju procese. U vremenskoj točki u kojoj je završen inženjerski razvoj serijskog automobila, pogon je spreman u svakom segmentu te proizvodnja i montaža konačnog proizvoda počinju. PLM platforma i digitalizacija ovom sektoru omogućuje značajne uštede koje rezultiraju pozitivnom dodanom vrijednošću proizvoda. Važno je napomenuti kako su i proizvodni procesi podložni promjenama tijekom serijske proizvodnje. Kada je automobil u serijskoj fazi moguće je naknadno uočavanje nedostataka koje je potrebno ispraviti na

budućim proizvodima te zamijeniti na već proizvedenim vozilima. Događa se da promjene na automobilu zahtijevaju i promjenu segmenta postrojenja. Dakako i promjene u svrhu poboljšanja učinkovitosti procesa također sedogađaju tijekom vremena proizvodnje modela (4-7 godina). Slikom u nastavku prikazano je dio proizvodnog procesa kreiranog u modulu Delmia unutar 3DEXperience platforme.

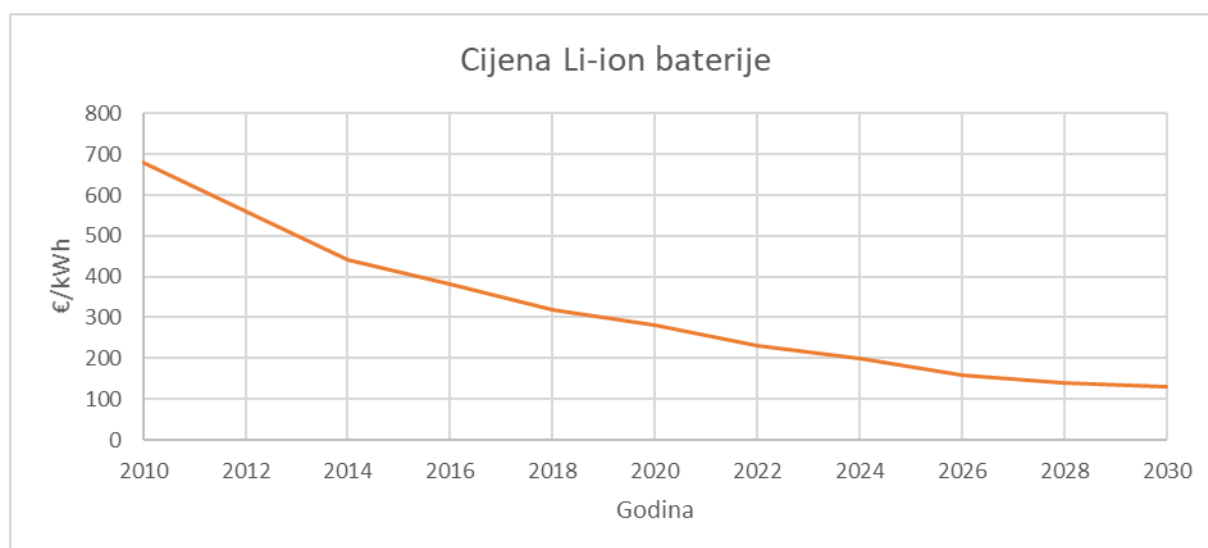


**Slika 46- Proizvodno postrojenje u modulu Delmia**

#### **4.4.5. Eksploatacija**

Serijski automobili nakon što su proizvedeni isporučuju se kupcima u ovlaštenim prodajnim predstavništvima. Slijedi faza korištenja automobila koja je u cjelokupnom životnom ciklusu najtrajnija. Korisnik se automobilom, ovisno o njegovoj namjeni, služi od nekoliko godina do nekoliko desetaka godina, no s druge strane, ispravnija mjera za obim eksploatacije vozila je broj prijeđenih kilometara. Rekord u broju prijeđenih kilometara drži automobil Volvo 1800S iz 1966 s 4800000 prijeđenih kilometara s originalnim motorom [21]. Električni automobili pogonjeni energijom iz baterija na tržištu su tek unazad desetak godina i tek je za vidjeti kako dugo će se koristiti prije nego budu propisno zbrinuti na kraju životnog ciklusa. Električni automobil s najviše prijeđenih kilometara je Tesla model S 90 D. U tri godine s navedenim automobilom, koji je u službi Tesloop agencije za prijevoz putnika (Los Angeles, SAD), prijeđeno je 675000 km [22]. Na lokaciji [23] agencija prikazuje troškove koji su tijekom eksploatacije automobila nastali. Troškovi održavanja električnog automobila u odnosu na konvencionalne značajno su manji obzirom da u takvim vozilima nije potrebno mijenjati ulje,

filtere ulja te filter goriva. Regenerativno kočenje koje kinetičku energiju iskorištava i vraća u bateriju rezultira i manje učestalim promjenama kočnih obloga. Osim navedenog, u električnim automobilima nisu prisutne izražene vibracije kako je to slučaj s konvencionalnim vozilima pa i to pozitivno utječe na vijek trajanja automobila. Ipak, najveći problem i trošak pri dugotrajnoj eksploataciji vozila, odnosno velikom broju prijeđenih kilometara, svakako je baterija automobila. Poznato je kako punjivim baterijama vremenom i povećanjem broja ciklusa punjenja i pražnjenja maksimalni kapacitet opada. Premda, postoje slučajevi kada su baterije u automobilu i nakon 100000 prijeđenih kilometara zadržale početni kapacitet što ukazuje na izravan utjecaj načina korištenja vozila. Litij – ionske baterije i njihove varijacije koje se ugrađuju u automobile rade najoptimalnije kada je kapacitet između 50% i 80% te im je životni vijek tada najduži. Kod automobila s hibridnim pogonom postoji upravljačka jedinica koja ne dopušta potpuno pražnjenje ili potpuno punjenje baterije te joj tako produžuje životni vijek. No u slučaju automobila s potpuno električnim pogonom nerealno je za očekivati kako će korisnik koristiti vozilo na taj način da kapacitet baterije zadržava u optimalnom području stoga će nakon nekog vremena zastarjelu bateriju biti potrebno zamijeniti novom. Kako je tehnologija baterija napredovala i cijena po kWh energije je značajnopala (slika 48.), to u današnje vrijeme i nije tako velik trošak. U navedenom automobilu Tesla model S 90 D promijenjeno je do prijeđene kilometraže tri seta baterija, no kako proizvođač daje garanciju na bateriju od 8 godina i neograničen broj kilometara zamjena je napravljena uz minimalan trošak.



Slika 47. Predviđanje cijene Li – ion baterije kroz godine [23]

U eksploataciji vozila s konvencionalnim pogonom potrebno je pridržavati se uputa proizvođača o upotrebi i održavanju automobila, jednaka stvar je i u slučaju automobila s električnim pogonom. Odgovorna upotreba te intervalni pregledi vitalnih dijelova vozila dovest će do dugotrajnijeg vijeka i zadovoljnog korištenja. Tijekom ove faze tvrtka koja je proizvela automobil sudjeluje u životnom ciklusu, naročito u garantnom roku. Rezervni dijelovi, ovlašteni servisi, korisnička podrška su segmenti koji se korisnicima proizvoda moraju osigurati. Kroz postprodajne usluge u fazi eksploatacije automobila proizvod se i dalje prati te se provode poboljšanja na budućim modelima.

#### **4.4.6. Kraj životnog vijeka automobila**

Konačna faza u životnom ciklusu automobila je kraj životnog vijeka, odnosno prestanak korištenja od strane korisnika. Automobili, naročito električni, su kompleksni proizvodi sastavljeni od više vrsta različitih materijala koje na kraju životnog ciklusa valja propisno zbrinuti. Na području Europske unije na snazi je Direktiva 2000/53/EZ Europskog parlamenta i vijeća o otpadnim vozilima od 18. rujna 2000. godine. Ključne točke direktive vezane uz proizvođače vozila nalažu da:

- Proizvođači vozila i opreme moraju tijekom konstruiranja i proizvodnje uzeti u obzir rastavljanje, ponovnu uporabu i oporabljanje vozila. U odnosu na vozila, moraju osigurati da vozila bude moguće ponovno uporabiti i/ili reciklirati do najmanje 85 % težine po vozilu.
- Ne smiju se upotrebljavati opasne tvari kao što je olovo, živa, kadmij i šesterovalentni krom.
- Proizvođači, uvoznici i distributeri moraju omogućiti sustave sakupljanja otpadnih vozila te, gdje je to tehnički izvedivo, otpadnih rabljenih dijelova izvađenih tijekom popravka osobnih automobila.
- Proizvođači snose sve ili znatan dio troškova povezanih s odvoženjem u centar za obradu otpada. Vlasnik vozila ne snosi nikakve troškove osim u rijetkim slučajevima kada otpadnom vozilu nedostaje motor ili kada je ono puno otpada.

U vrijeme pisanja direktive električni automobili u današnjem obliku nisu bili prisutni na tržištu. Obzirom da se električni automobil od konvencionalnog razlikuje samo po pogonskom sustavu zahvaćen je stavkama Direktive. Navedene točke jasno definiraju postupanje s otpadnim vozilom s naznakom na poduzimanju koraka pri dizajniranju, konstrukciji i proizvodnji vozila u svrhu zaštite okoliša, ponovne upotrebe materijala i očuvanja energije. Proizvođač, ovlašteni zastupnik ili treća prethodno ugovorena strana, izravno su odgovorni za vozilo na kraju životnog vijeka. U ovoj fazi zbrinjavanje baterije električnog automobila nameće se kao najveći izazov. Kako se tijekom eksploatacije kapacitet baterije smanji i do 50%, ona više nije u mogućnosti ponuditi autonomiju vozila kao u početku. Obzirom da je autonomija ključan parametar kod električnih automobila, baterija se mijenja novom. Prema [24] stare i korištene baterije moguće je ponovo koristiti tako da se „reproizvedu“. To podrazumijeva potpuno rastavljanje baterijskog seta, čišćenje i testiranje svake ćelije. Kako se u baterijskim setovima nalazi i do nekoliko tisuća baterijskih ćelija, mnoge od njih još uvijek mogu obavljati funkciju, odnosno zadržale su viši kapacitet. Takve ćelije se odvajaju i od njih kreiraju novi setovi koje je moguće upotrijebiti u sekundarne svrhe. Kada tržište rabljenih električnih automobila postane veće, sigurno je kako će i potreba za ovakvim setovima porasti. Pozitivno u tome je što se dio energije prvotne baterije čuva i koristi još godinama uz cijenu koja je između trećine i polovine nove baterije. Također, komponente izrađene od ugljičnih vlakana moguće je na adekvatan način reciklirati i ponovo upotrijebiti u primarne svrhe za izradu dijelova automobila. Još mnogo komponenti i materijala iz automobila moguće je ponovo upotrijebiti u primarne, sekundarne ili tercijarne svrhe. Na taj se način čuva okoliš, konzervira energija te ostvaruju značajne uštede.

Efikasno upravljanje životnim ciklusom automobila u obzir uzima sve njegove faze od ideje do kraja životnog vijeka. U fazi konstruiranja i razvoja posebnu pozornost je potrebno obratiti i predvidjeti period eksploatacije te kraja životnog vijeka vozila. Takav pristup svakako će rezultirati uštedama i unaprjeđenjem svake sljedeće generacija vozila koje će tvrtka proizvoditi.

## 5. SOFTVERSKO RJEŠENJE ZA PRAĆENJE RAZVOJNOG CIKLUSA

U okviru zadatka potrebno je predložiti softversku metodu za praćenje životnog ciklusa. Obzirom kako je za primjer uzeta tvrtka Rimac automobili te odjel Vehicle engineering kojemu je glavna zadaća razvoj automobila prikazat će se metoda za praćenje razvojne faze životnog ciklusa automobila. Za potrebe rada korišten je Microsoft Excel alat, no važno je napomenuti kako će se ista metoda s jednakim ulaznim podacima implementirati u PLM platformu 3DEXperience. Na taj će način voditelj projekta, članovi odbora, dioničari te svi drugi uključeni u svakom trenutku transparentno moći pratiti trenutno stanje razvoja. Za praćenje cjelokupnog životnog ciklusa u podpoglavlju 5.2. opisat će se metoda digitalnog blizanca.

### 5.1. Microsoft Excel

U prethodnom poglavlju objašnjeno je kako funkcioniraju sastanci timova simultanog inženjeringa te kako je glavna zadaća tijekom razvoja otklanjanje grešaka i nepravilnosti koje se pojavljuju tijekom razvojne faze vozila. Pomoću PLM platforme 3DEXperience i integriranih modula (Catia, Enovia, Delmia) moguće je virtualnim analizama pratiti trenutno stanje proizvoda. Metoda za praćenje razvojne faze životnog ciklusa u okviru ovog rada u obzir uzima sljedeće parametre:

- Broj korisnika PLM platforme 3DEXperience
- Broj EBOM objekata sa statusom „Spreman za proizvodnju“ i zadnjom revizijom
- Broj grešaka koje su rezultat Digital Mock – up analize
- Broj grešaka koje detektira odjel kontrole kvalitete
- Broj grešaka koje detektira odjel proizvodnje
- Broj grešaka koje detektira odjel montaže

Za uzorak je uzet vremenski period od definiranja i modeliranja prvih sustava do završetka prototipne faze.

Kako projekt napreduje stvara se potreba za zapošljavanjem većeg broja inženjera u Vehicle engineering odjelu koji rade u 3DEXperience okruženju. Broj korisnika tijekom vremena također se prati jer služi kao pokazatelj trenutnog stanja životnog ciklusa proizvoda. Kada se projekt približi završnoj fazi u nekim tvrtkama broj članova razvojnog tima ima tendenciju

opadanja, osim u slučaju da se nakon završenog projekta odmah krene razvijati sljedeći model.

Radnim tijekom predviđeno je da se CAD objekti svaka tri tjedna do kraja radnog tjedna promoviraju u stanje „Spreman“. Da bi se nastavio rad na CAD modelima sustava i komponenti potrebno im je podići reviziju. Tako se osigurava praćenje razvojne faze automobila gdje bi u svakoj sljedećoj reviziji bilo moguće vidjeti provedene promjene, a ujedno se omogućuje praćenje rada članova razvojnih timova.

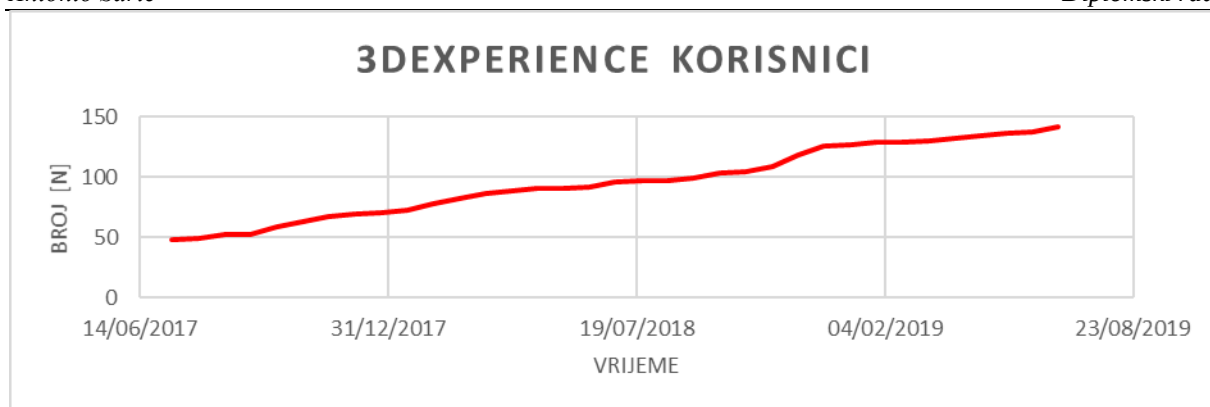
Nakon svakog trotjednog perioda i promoviranja objekata provodi se DMU analiza cijelog sklopa automobila. Svaki sustav (karoserija, interijer-eksterijer, šasija, pogonski sustav, električna arhitektura) analizira se individualno te u odnosu sa ostalima. Evidentira se broj pogrešaka i unosi u zajedničku bazu na oblaku.

Također odjel kontrole kvalitete pregledava tehničku dokumentaciju objekata, evidentira nastale pogreške te unosi u PLM bazu podataka.

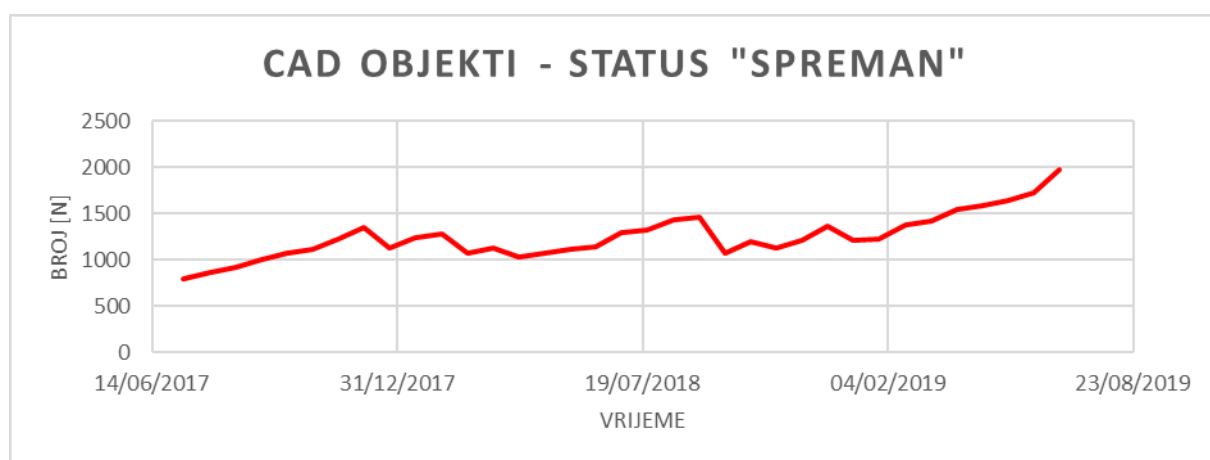
Odjeli proizvodnje i montaže pregledavaju digitalni model kao i tehničku dokumentaciju za sklapanje te prema tome analiziraju pogreške koje se mogu javiti u proizvodnji i montaži. Njihovi podaci zapisuju se u zajedničku bazu na PLM platformi i pokazatelj su napretka razvojne faze.

Prema prikupljenim podacima generiraju se dijagrami uzetih parametara u vremenskom rasponu od dvije godine, na kojima se zorno može vidjeti kako razvojna faza napreduje. Veliki broj grešaka koje se javljaju prilikom DMU analize u obzir uzimaju i sve standardne dijelove u automobilu (vijke, matice, podložne pločice te druge specijalne komponente za pričvršćivanje) kojih ima i do nekoliko tisuća. Instance takvih komponenti u prikazu broja CAD objekata sa statusom „Spreman“ nisu uzete u obzir. Automobil u prosjeku ima oko 25000 – 30000 dijelova ako se broji svaka komadna komponenta.

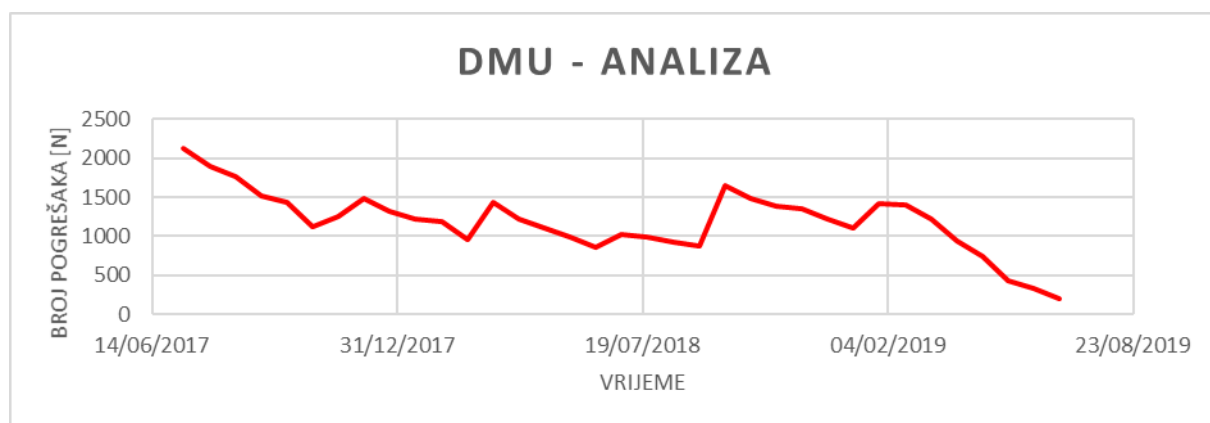
Slijedi dijagramski prikaz rezultata analize.



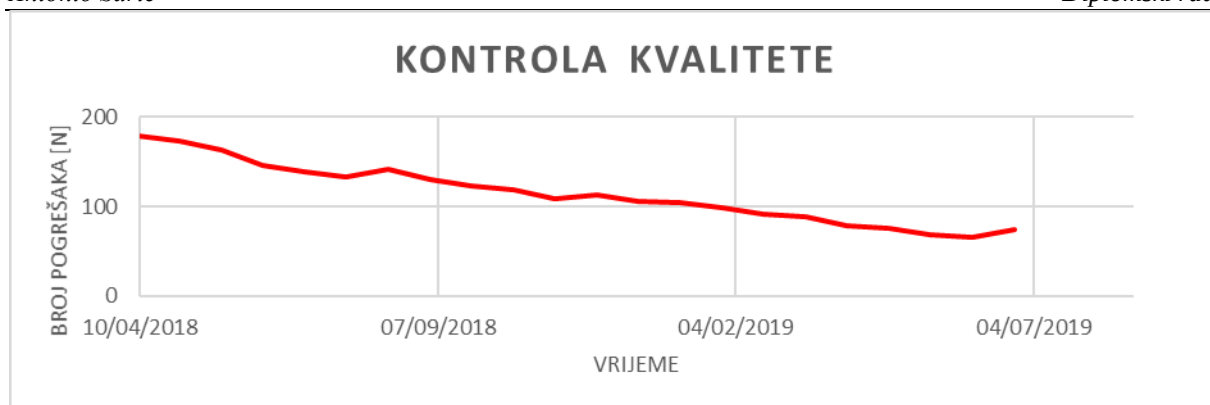
Slika 48. Broj korisnika 3DExperience platforme



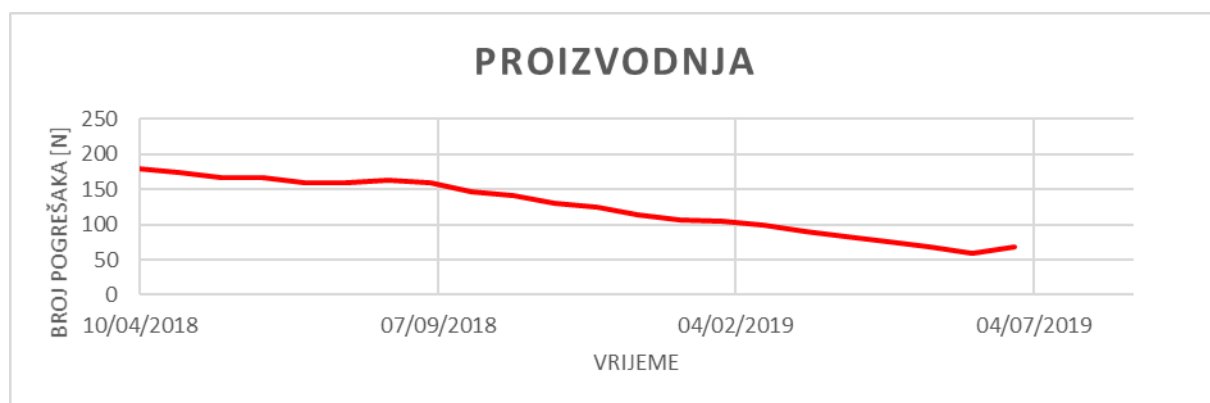
Slika 49. Broj CAD objekata sa statusom „Spreman“



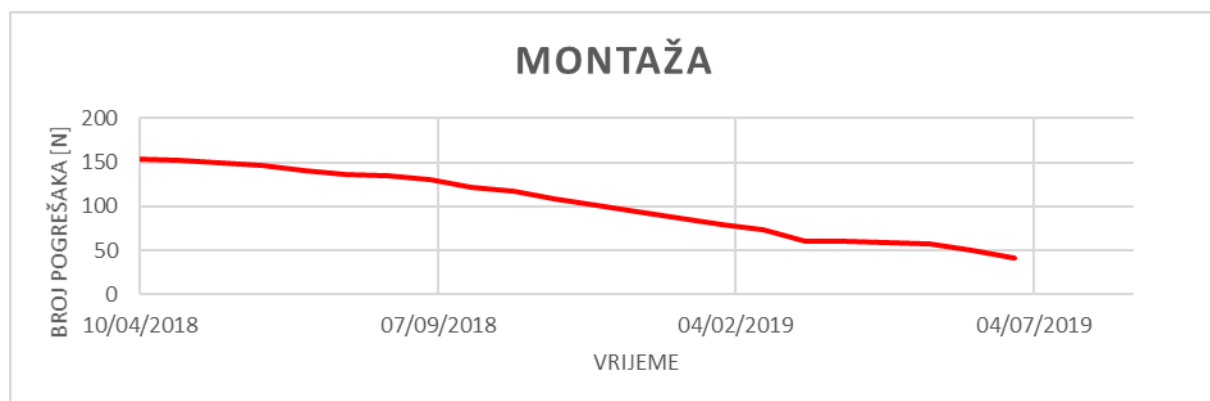
Slika 50. DMU analiza: broj pogrešaka



Slika 51. Kontrola kvalitete: analiza pogrešaka



Slika 52. Odjel proizvodnje: analiza pogrešaka



Slika 53. Odjel montaže: analiza pogrešaka

## Komentar rezultata

Iz pokazanih se dijagrama jasno može iščitati napredak razvojne faze. Kako se obim projekta povećava, potreba za brojem inženjera raste što rezultira povećanjem broja korisnika 3DExperience platforme. Ti korisnici konstruiraju i modeliraju komponente i podsustave te njihov razvoj s vremenom postaje konačan. Takvi CAD objekti prelaze u stanje „Spreman“, a

trend rasta dijagrama pokazuje kako se njihov broj povećava što izravno pokazuje napredak razvoja sustava cijelog automobila.

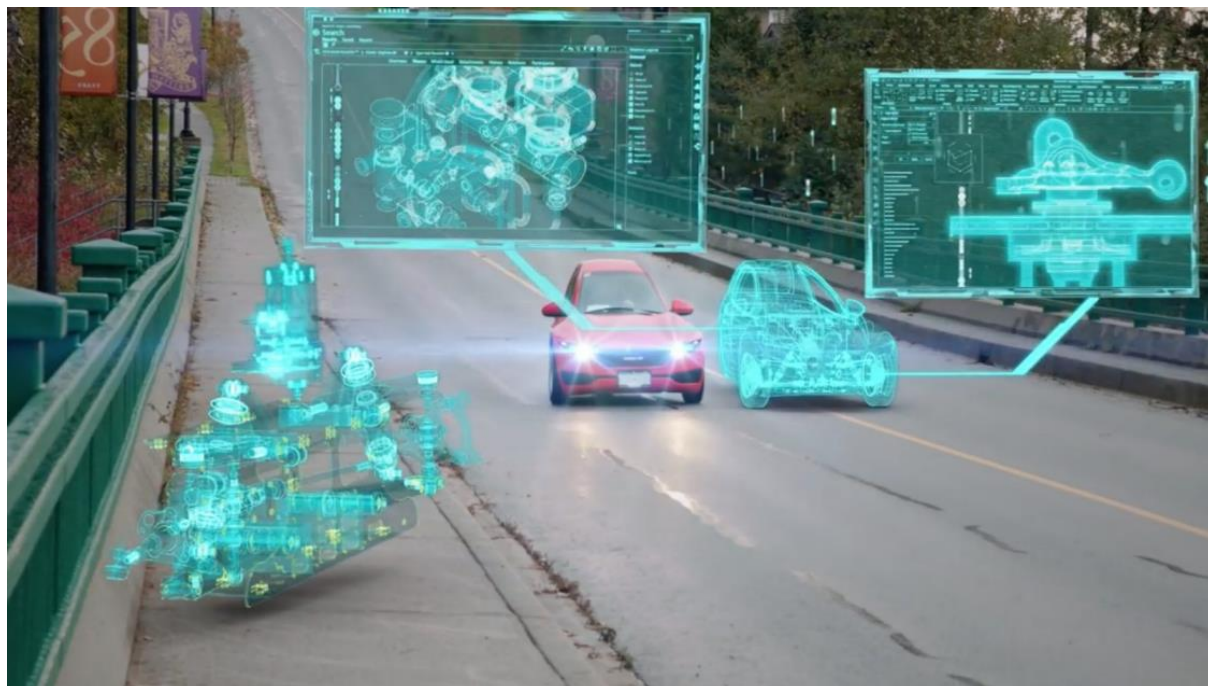
U dijagramu pogrešaka izvedenih iz DMU analiza, uz lokalne poraste, vidljiv je globalni trend pada broja pogrešaka. Lokalni porasti broja pogrešaka događaju se kada se u sklopove pojedinih sustava uvode nove komponente i ne pozicioniraju se na mjesto na kojem trebaju biti. Takve situacije može stvoriti svaka komponenta unutar auta, od vijka do cijelog podsklopa.

Nakon što prođe određeni period razvojne faze u nju se izravno uključuju odjeli kvalitete, proizvodnje i montaže (prve analize u 4. mjesecu 2018. godine prije samog početka proizvodnje testne mule). Prije toga ti odjeli su okupirani razvojem internih procesa za kontrolu te pripremu postrojenja za proizvodnju i montažu. Zajedničko svim trima dijagramima je trend pada broja uočenih pogrešaka u vremenu razvoja, što je i logično. U fazi proizvodnje testnih mula broj pogrešaka je znatan, prvi funkcionalni fizički automobil je kreiran i na njemu se ispituju sustavi te uočava loše pozicioniranje komponenti. Kako razvoj odmiče prema kraju prototipne faze, redovnim analizama digitalnih modela broj pogrešaka se značajno smanjio. U idealnom bi svijetu u prototipnoj fazi automobil bio identičan onome za serijsku proizvodnju, a razvijali bi se i unaprjeđivali još samo alati te proizvodni i montažni procesi, no iz dijagrama se iščitava kako je broj pogrešaka još uvijek veći od 0 što ukazuje na nastavak razvoja. U točki vremena u kojoj bi serijski automobil trebao biti u potpunosti završen, DMU analiza virtualnog modela trebala bi rezultirati s 0 pogrešaka, a odjeli kvalitete i industrijalizacije po provedenoj analizi također bi trebali prijaviti 0 pogrešaka. Tek u takvoj situaciji automobil se može poslati u serijsku proizvodnju i može se očekivati zadovoljstvo kupaca, a tako i svih uključenih strana koji su sudjelovali u planiranju, razvoju i proizvodnji.

## 5.2. Digitalni blizanac

Već spomenuta industrijska revolucija koju se naziva Industrija 4.0 temeljena je na tehnologiji koja kroz sustave kao što su računalni oblaci, 4G i 5G mreža, senzori, aktuatori, veliki skupovi podataka omogućuje povezivanje realnog i digitalnog svijeta. Takva napredna tehnologija ujedno je omogućila stvaranje koncepta digitalnog blizanca. Prema [24] Digitalni blizanac je točna virtualna replika fizičkog proizvoda koja se u realnom vremenu mijenja u odnosu na okruženje u kojem se objekt nalazi kako bi omogućila proizvođačima praćenje,

testiranje, analiziranje, održavanje bilo kojeg sustava. Prema tome, za praćenje cjelokupnog životnog ciklusa automobila ta metoda se nameće kao najefikasnija.



**Slika 54. Ilustracija digitalnog blizanca automobila**

U prethodnim poglavljima prikazani su i detaljnije objašnjeni digitalni sustavi i alati koji se koriste u razvoju automobila. Modeli automobila kreirani prije svega u CAD sučelju pa potom analizirani pomoću CAE i CFD alata te alata za analizu dinamike vozila, mogu se do neke razine protumačiti kao digitalne replike jer u virtualnom okruženju s realnim ulaznim podacima simuliraju moguće realne situacije (npr. test sudara, hlađenje komponenti, podupravljivost i preupravljivost itd.). Pravi digitalni blizanač osim navedenih alata koji se koriste u razvoju zahtijeva dodatnu infrastrukturu. Takvu infrastrukturu čine:

- sustavi opremljeni senzorima i aktuatorima,
- logika upravljanja sustavima,
- uređaji za povezivanje na Internet,
- platforma na koju se sprema velika količina podataka,
- programsko sučelje u kojemu je moguće pratiti digitalnog blizanca.



**Slika 55. Infrastruktura digitalnog blizanca**

Automobil, kao najkompleksniji proizvod koji ljudi koriste, opremljen je desetinama senzora, aktuatora i upravljačkih uređaja koji prate rad sustava na koji su spojeni. Zahtjev za upravljačke uređaje te senzore i aktuatore je da budu što manji kako bi se lakše pozicionirali unutar automobila te da su im energetske potrebe minimalne kako bi što duže trajali.

Logika upravljanja kontrolira tijek informacija te signale za aktuatore. Također, logika upravljanja kontrolira baterije povezanih uređaja što ima značajan utjecaj na arhitekturu digitalnog blizanca koja izravno ovisi od fizičkom blizancu i načinu dovodenja energije uređajima.

Povezivost je od izuzetne važnosti jer ukoliko nema konstantnog prijenosa podataka nema niti digitalnog blizanca. Stoga povezivost mora biti osigurana među uređajima unutar samog automobila i između automobila i baze za kreiranje digitalnog blizanca. Obzirom da se automobil u fazi korištenja može naći u prostorima u kojima je veza nedostupna potrebno je osigurati privremeni spremnik podataka. Potrebno je i osigurati visoku razinu sigurnosti veze, gotovo svaka informacija je kritična jer se odnosi na osjetljive podatke o proizvodu.

Pod platformom za pohranjivanje podataka misli se na Internet oblak. Vrlo je važno osigurati prostor na koji će se generirani podaci iz upravljačkih uređaja fizičkog blizanca spremati i iz njega analizirati. Osim toga razmatra se način na koji će se osigurati pristup podacima i informacijama između samih digitalnih blizanaca. Pod time se misli na mogućnost autonomne komunikacije između dva automobila.

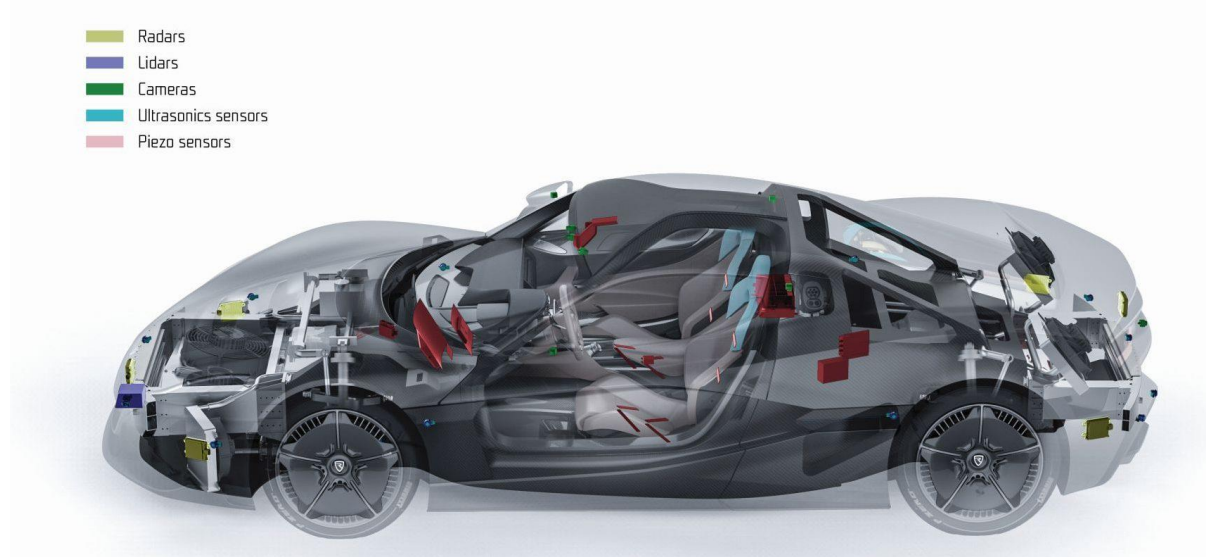
Aplikacija pomoću koje je moguće pristupiti digitalnom blizancu i pratiti parametre i razvoj može se nalaziti kao modul unutar PLM sustava (poput Catia – e u 3DExperence) i može joj pristupiti svaki korisnik sustava te u njoj tijekom životnog ciklusa pregledavati stanje svih sustava i komponenti na koje su ugrađeni upravljački uređaji.

Najveći izazov u navedenoj infrastrukturi je osigurati način filtriranja velike količine podataka jer je tijekom korištenja automobila (prosječno oko 150000 km) generirana količina podataka iz takvih sustava izuzetno velika i opterećujuća za platformu. Zbog toga su

neophodne napredne analitičke metode i tehnologija neuronskih mreža kako bi se od sirovih podataka razabrala potrebna informacija.

### 5.2.1. Koncept digitalnog blizanca u električnom automobilu

Ovim će se poglavljem predložiti način na koji je moguće implementirati koncept digitalnog blizanca u hipersportski električni automobil Rimac C\_Two. Osim vrhunskih sportskih performansi kojima automobil raspolaže, opremljen je i tehnologijom autonomne vožnje četvrte razine te 500 – kanalnom telemetrijom koju je moguće pratiti u realnom vremenu preko M2M platforme i aplikacije na prijenosnom računalu ili pametnom telefonu.



**Slika 56. Rimac C\_two senzori**

Autonomna vožnja četvrte razine u navedenom je automobilu moguća uz upravljačku jedinicu koja pomoću setova senzora, radara, lidara, GPS i LTE te ugrađenih kamera prepoznaje situaciju u kojoj se nalazi (vozila ispred sebe, prometne znakove, pretjecanje, silazak s autoceste) i odlučuje o postupanju automobila ovisno o situaciji. Sustav za autonomnu vožnju automobila kreira veliku količinu podataka i pohranjuje ju na oblak. Takve podatke u ranim fazama razvoja potrebno je kvalitativno razvrstati. Za takav posao zaduženi su inženjeri koji u početku markiraju podatke dodjeljujući im attribute koje sustav pamti. Sljedeći set podataka uspoređuje s naučenim uzorkom te prema prethodno dodanom atributu sustav sam odlučuje o koraku.

500 Kanalnom telemetrijom omogućeno je praćenje performansi automobila s udaljenosti preko M2M platforme koja u vožnji ovisno o zadanoj frekvenciji prikuplja prethodno odabrane podatke (Snaga na kotačima, okretni moment, tlak u gumama, temperatura zraka

itd.) te ih pomoću LTE antene, koja omogućava podatkovni promet 4G brzinom, u realnom vremenu šalje na server. Iz servera je putem aplikacije moguće povući i analizirati podatke. Osim što su dostupni na serveru, ti podaci se prikazuju i na infotainment sučelju unutar automobila.

U prosječnom električnom automobilu današnjice nalazi se preko 100 Elektroničkih upravljačkih jedinica (ECU) koje kontroliraju rad uređaja i sustava na koji su vezane. Neki od tih uređaja su Elektromotori, baterijski sustavi, pretvarači električne struje (inverter), napredni sigurnosni sustavi, zračni jastuci i zatezači sigurnosnih pojaseva, kočne obloge. Da bi statusi i signali s upravljačkih jedinica došli do kontrolne ploče odnosno infotainment sustava brine se CAN (*Controller area network*) sabirnica. CAN je standard u automobilskoj industriji još od 1987. godine kada je tvrtka Bosch na zahtjev Mercedesa - Benza i BMW-a razvila uređaj koji će olakšati povezivanje ECU jedinica unutar auta. Na taj način ECU jedinice unutar automobila komuniciraju jednostavnije pomoću protokolom sabirne točke u koju se šalju i iz koje se primaju kodirane informacije svake od ECU jedinica. ECU jedinice iz sabirnice od svih ulaznih kodiranih informacija „uzimaju“ one koja im treba. Na primjer, senzor brzine vrtnje stražnjeg desnog kotača šalje u ECU jedinicu signal da se taj kotač okreće brže nego stražnji lijevi, potom ECU jedinica vodom šalje kodiranu informaciju u CAN sabirnicu. ECU jedinica elektromotora iz CAN sabirnice prema 8-bitnom kodu „razabire“ željenu informaciju te smanjuje izlaznu snagu i okretni moment na stražnjem desnom kotaču.

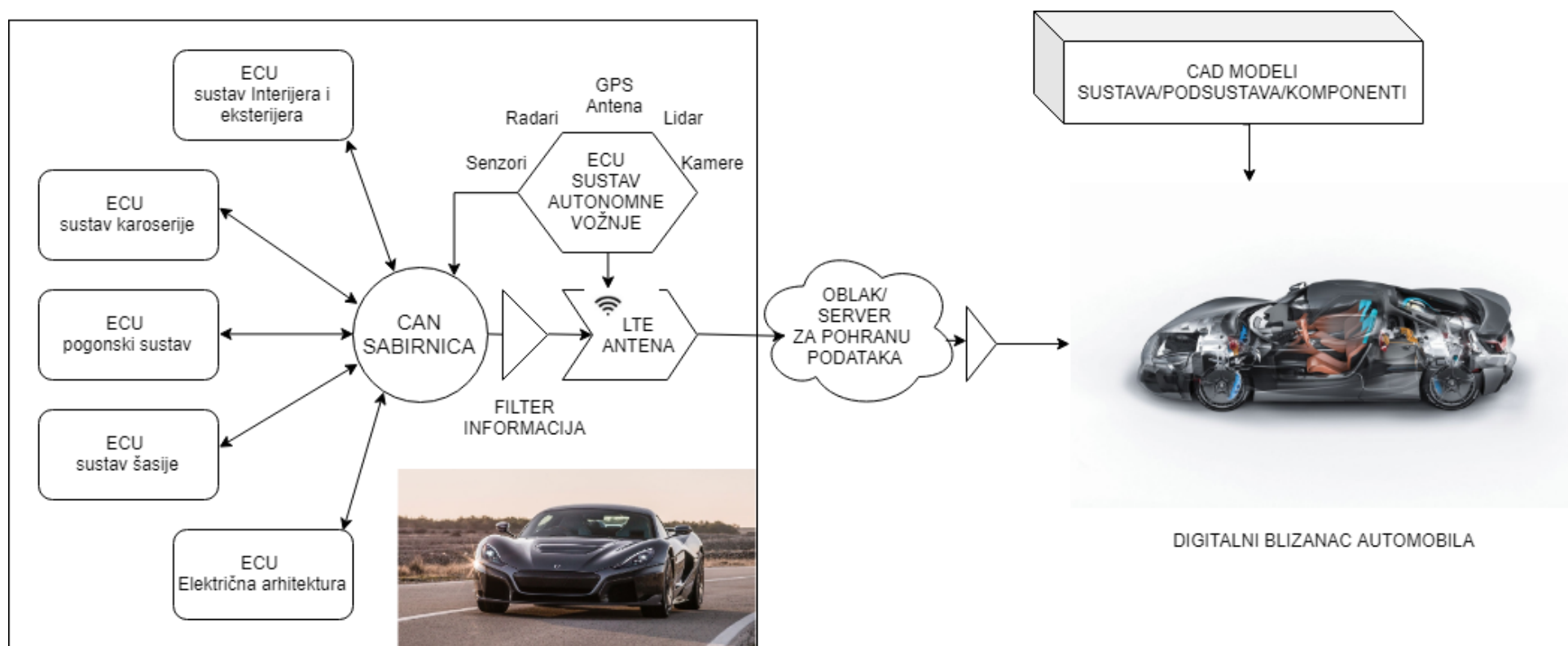
Navedena infrastruktura unutar pokazanog električnog automobila kvalitetna je osnova za kreiranje digitalnog blizanca. Način na koji bi se to izvelo opisan je u nastavku.

CAN sabirnica određenom frekvencijom prima informacije o trenutnom statusu iz ECU jedinica koje se nalaze u sustavima stvarnog automobila. Sustav autonomne vožnje prema ulaznim podacima s upravljačke jedinice također komunicira s CAN sabirnicom. Ovisno o frekvenciji generira se velika količina „sirovih“ informacija koje je potrebno filtrirati i između njih razabrati vrijedne. Takve podatke potrebno je prebaciti na platformu za pohranu koja može biti na serveru ili na oblaku. Da bi to bilo moguće brinu se antene za povezivanje na mobilnu mrežu pomoću kojih je automobil u svakom trenutku spojen. Iznimne su situacije u kojima je signal nedostupan kada je potrebno osigurati prostor za privremenu pohranu s kojeg će se pri ponovnom spajanju podaci prebaciti na glavnu platformu, a obrisati iz privremene memorije. Sustav za autonomnu vožnju također je potrebno izravno povezati s oblakom kako bi se u svakom trenutku pomoću GPS antene mogla vidjeti pozicija automobila, a pomoću kamera okruženje u kojem se nalazi. Obzirom da su tijekom razvoja za konstruiranje i

modeliranje svih sustava automobila korišteni CAD alati, podaci iz takvog alata koriste se za stvaranje virtualnog prikaza automobila u modulu za analizu digitalnog blizanca koji se nalazi unutar cjelokupne PLM platforme. Uz pomoć ovakvog modela, u svakom trenutku moguće je vidjeti gdje se automobil nalazi, po kakvoj se podlozi vozi, kakvi su atmosferski uvjeti, na koji način vozač njime upravlja te jesu li ispravni svi sustavi. To znači da svaki proizvedeni fizički automobil ima svoju digitalnu repliku koju je moguće analizirati u eksploatacijskoj fazi životnog ciklusa. Ovakav pristup omogućuje pravovremeno uočavanje sustava koji su prestali funkcionirati, uočena greška na konkretnom sustavu ili uređaju odmah je vidljiva na digitalnom blizancu, a informacija o istom upućena je skladištu rezervnih dijelova te najbližem servisnom centru. To je jedna od prednosti koja bitno pojednostavljuje proceduru servisiranja automobila. Osim toga, uz takvo praćenje statusa automobila tvrtka profitira na način da buduće modele prema konkretnim ulaznim podacima od više digitalnih blizanaca značajnije unaprijedi bez dodatnih testiranja. Testiranja provode upravo korisnici služeći se automobilom u svim mogućim uvjetima. S druge strane, kako se radi o proizvodu koji koriste široke mase ljudi u svakodnevnom životu, neophodno je u ovakvim modelima koji su konstantno povezani osigurati privatnost korisnika. Podaci mogu biti dostupni mjerodavnim službama isključivo u iznimnim situacijama pod kojima bi informacije iz digitalnog blizanca dovele do rješavanja kriminalnih slučajeva.

Primjer iz automobilske industrije koji je prepoznao prednosti koncepta digitalnog blizanca svakako je tvrtka Maseratti u suradnji sa kompanijom Siemens koja se osim proizvodnje PLM softvera u tom području bavi i planiranjem procesa proizvodnje. Prema [26] izgrađena je potpuno automatizirana tvornica koja ne samo da proizvodi fizičke automobile nego i njihove digitalne blizance sa svom pripadajućom infrastrukturom. Digitalni blizanci kontinuirano evoluiraju u realnom vremenu od točke kada fizički automobil napusti proizvodni pogon. Vrijeme potrebno za plasiranje proizvoda na tržište smanjeno je za 30%.

Slikom 57. prikazana je procedura kreiranja podataka koji čine digitalni blizanac automobila.



Slika 57. Infrastruktura digitalnog blizanca

## 6. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu napredak tehnologije koji je u posljednja dva desetljeća eksponencijalan te sve veću potrebu individualizacije bilo kojeg proizvoda pa tako i automobila prema korisnikovim potrebama, zaključuje se kako su moderne metodologije upravljanja životnim ciklusom proizvoda i platforme navedene u ovom radu neophodne za razvoj kvalitetnog i konkurentnog proizvoda visoke dodane vrijednosti koji će tvrtkama koje ih proizvode osigurati dobit. U razvoju i proizvodnji automobila prikazani sistemski te simultani inženjerski pristupi osiguravaju kraće vrijeme razvoja, kvalitetniji proizvod te brže plasiranje na tržište.

Upravljanje i praćenje cjelokupnog životnog ciklusa električnog automobila, od ideje do otpisa, jedna je od najnužnijih metoda koju je potrebno implementirati u razvojne, proizvodne i postprodajne procese. Predviđa se kako će se u doglednoj budućnosti automobilska industrija te način na koji čovječanstvo koristi automobile uvelike promijeniti. Prema [27] Do 2030. godine preko 80% novoprodučenih automobila biti će autonomno, a svi će biti povezani na internet. Koristit će se po potrebi, a korisnici uglavnom neće biti vlasnici nego će specijalizirane tvrtke u sastavu imati flote automobila koji će biti dostupni preko mobilne aplikacije na pametnim telefonima. Da bi takav sustav transporta, koji se naziva još i e – mobilnost, ispravno i sigurno funkcionirao, potrebna je infrastruktura naprednih tehnologija, analitičkih metoda za analiziranje i usmjeravanje ogromnih količina podataka te brza i stabilna mreža (5G je u fazi uvođenja) koja osigurava konstantni prijenos podataka. Predstavljeni koncept digitalnog blizanca u takvom će okruženju biti neophodan jednako kako se danas u fazi konstruiranja i razvoja koriste CAD alati.

Najveći izazov pri tome svakako je prihvaćanje i provođenje nužnih promjena u industriji kako bi se zadržala pozicija na tržištu. John Stark [1] procjenjuje kako će se tek do 2030. većina tvrtki orijentirati ka modernom planiranju i definiranju razvojnih i proizvodnih procesa. Vjerojatno je i da će se neke tvrtke u toj tranziciji metodologije poslovanja i ugasiti jer neće provesti i usvojiti potrebne mjere. Proizvodi koje će proizvoditi mogu biti kvalitetni, no vrijeme potrebno za plasiranje na tržište će i dalje biti dugotrajno.

U okviru ovog rada nastojalo se dati uvid u širok raspon sustava i inženjerskih pristupa koji se koriste u razvoju električnog automobila i fazi njegova korištenja te kao takav može

---

poslužiti kao osnova za neka buduća znanstvena razmatranja iz područja upravljanja životnim ciklusom proizvoda.

## LITERATURA

- [1] Stark, J.: Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation, Springer London, 2015.
- [2] Stark, J.: Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary, Springer London, 2018.
- [3] Bhise, Vivek Dattatray: Automotive product development : a systems engineering implementation, Taylor & Francis; CRC Press, 2017.
- [4] Belkadi, F., Troussier N., Huet F., Gidel T., Bonjour E., Eynard B.: Innovative PLM-based approach for collaborative design between OEM and suppliers: Case study of aeronautic industry
- [5] Ferreira F., Faria J., Azevedo A., Marques A.L.: Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments: An application to automotive industry, International Journal of Information Managment vol 37, Issue 1, Part A, P. 1474-1487, Feb 2017.
- [6] Saaksvuori A., Immonen A.: Product Lifecycle Managment, Springer – Verlag Berlin, 2008.
- [7] Životni ciklus proizvoda EFOS: [http://www.efos.unios.hr/menadzment-novog-proizvoda/wp-content/uploads/sites/232/2018/05/MNP\\_04\\_zivotni-ciklus-proizvoda.pdf](http://www.efos.unios.hr/menadzment-novog-proizvoda/wp-content/uploads/sites/232/2018/05/MNP_04_zivotni-ciklus-proizvoda.pdf)
- [8] [https://www.netcarshow.com/volkswagen/2003-beetle\\_last\\_edition/](https://www.netcarshow.com/volkswagen/2003-beetle_last_edition/)
- [9] McIntosh, K. G.: Engineering Data Managment, McGraw – Hill, London 1995.
- [10] M. Saravi, L. Newnes, A. R. Mileham, Y.M. Goh: Estimating cost at the conceptual design stage to optimize design in terms of performance and cost, Springer Verlag, Loughborough, 2008
- [11] [www.efos.unios.hr/erp-sustavi-upravljanje-poduzecem/wp.../ERP\\_1-2017.ppt](http://www.efos.unios.hr/erp-sustavi-upravljanje-poduzecem/wp.../ERP_1-2017.ppt)
- [12] PLM challenges and benefits, IBM
- [13] <https://www.plm.automation.siemens.com/pub/case-studies/25856?resourceId=25856>
- [14] <http://www.poslovni.hr/svijet-i-regija/toyota-povlaci-vise-od-24-milijuna-automobila-pogreska-bi-mogla-izazvati-nesrece-345694>
- [15] <https://www.plm.automation.siemens.com/pub/case-studies/40379?resourceId=40379>
- [16] Sdfasdfa
- [17] <https://elbil.no/norway-reaches-historic-electric-car-market-share/>

- 
- [18] Rimac automobili službena Internet stranica
- [19] Knjiga razvoja s BMW primjerima
- [20] Winner, Robert I., Pennell, James P., Bertrand, Harold E., and Slusarczyk, Marko M. G. (1991). "The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition", Institute for Defense Analyses Report R-338, December 1988
- [21] <https://www.everlance.com/blog/10-highest-mileage-vehicles/>
- [22] <https://electrek.co/2018/07/17/tesla-model-s-holds-up-400000-miles-3-years/>
- [23] <http://synergyfiles.com/2016/04/future-lithium-ion-batteries/>
- [24] M. O. Ramoni, H-C Zhang: End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries, Clean Technologies and Environmental Policy, December 2013.
- [25] <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>
- [26] C. Voell, P. Chatterjee, A. Rauch, J. Golovatchev: How Digital Twins Enable the Next Level of PLM – A Guide for the Concept and the Implementation in the Internet of Everything Era, Proceedings of International Conference PLM 2018, Italy, July 2 – 4, 2018, Springer
- [27] <http://www.poslovni.hr/domace-kompanije/rimac-otkrio-je-da-uskoro-jos-jedan-veliki-investitor-ulazi-u-njegovu-firmu-352652>

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**