

# Praćenje zbivanja tijekom životnog vijeka proizvoda

---

**Cuzek, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:698830>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-11**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Dominik Cuzek**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl. ing.

Student:

Dominik Cuzek

Zagreb, 2023.

## ZADATAK



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**  
 Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
 mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Dominik Cuzek** JMBAG: 0035213047

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Praćenje zbivanja tijekom životnog vijeka proizvoda**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Monitoring of events during a product life cycle**

Opis zadatka:

Europska parola o zelenoj i digitalnoj tranziciji podrazumijeva da se uobičajen inženjerski zadatak minimiranja troškova odnosno maksimiranja profita u vezi proizvoda i proizvodnje odvija u okolnostima porasta ljudske (individualne i društvene) potrošnje, koja ima sve izraženiji nepovoljan utjecaj na prirodan okoliš i živi svijet; stoga je od posebne važnosti primjena pristupa upravljanja životnim vijekom proizvoda. Tim se pristupom cjelovito, a s naprednim tehničkim mogućnostima prikupljanja podataka i sve detaljnije, promatra razvoj proizvoda, planiranje njegove proizvodnje, korištenje i zbrinjavanje.

U radu je potrebno:

1. objasniti značaj sveobuhvatnog razmatranja životnog vijeka proizvoda od sirovine do zbrinjavanja
2. istražiti i opisati neke od pristupa za planiranje i praćenje životnog vijeka proizvoda, s prikazima primjene
3. istražiti i navesti mogućnosti unapređenja prikupljanja podataka o proizvodu tijekom njegovog korištenja
4. za neku od mogućnosti iz točke 3., osmisliti osnovno tehničko rješenje i opisati ga.

Zadatak zadan:

4. svibnja 2023.

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predviđeni datumi obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Zoranu Kunici na stručnim savjetima, izdvojenom vremenu i na vođenju diplomskog rada.

Također zahvaljujem svojim roditeljima na podršci kroz cijeli studij.

U Zagrebu, 5. srpnja 2023.

Dominik Cuzek

## **SAŽETAK**

Ovaj rad proučava važnost praćenja životnog vijeka proizvoda. U prvom dijelu se objašnjavaju faze životnog vijeka proizvoda i zbog čega poduzeća pokušavaju predvidjeti životni vijek proizvoda. Predstavljanje su dvije metode praćenja životnog vijeka, LCA i LCC. Prva metoda, LCA, se upotrebljuje kako bi se pokušao smanjiti negativan utjecaj proizvoda na okoliš. Druga se metoda provodi kako bi se predvidjeli svi troškovi koji se javljaju tokom životnog vijeka proizvoda. Nakon toga prikazuje se primjena metode LCA na osobnom vozilu.

U drugom dijelu rada opisuje se značaj uvođenja softvera u životnom vijeku proizvoda. Predstavljene su karakteristike značajnih softvera i u kojima fazama životnog vijeka proizvoda se softveri koriste. Zatim se opisuje prijedlog implementacije tehnologije digitalnog blizanca u osobnim vozilima. Objašnjuju se različite komponente sustava korištene u digitalnom blizancu i način njihovog povezivanja. Stvaranjem digitalnog blizanca vozila dobiva se novi način prikupljanja podataka u samoj fazi korištenja vozila. Dati su primjeri kako bi se dobiveni podaci mogli iskoristiti u svrhu produživanja životnog vijeka postojećeg vozila i za razvoj novih vozila.

Ključne riječi: životni vijek proizvoda, digitalan blizanac, osobno vozilo

## **SUMMARY**

This thesis studies the importance of product life cycle monitoring. The first part explains the phases of the product's lifetime and why companies are trying to predict the life cycle of a product. Two life cycle monitoring methods, LCA and LCC, are presented. The first method, LCA, refers to trying to reduce the negative impact of the product on the environment. The second method is carried out to predict all the costs that occur during the life of the product. Following that, the application of the LCA method on a passenger vehicle is presented.

The second part of this thesis explains the importance of software introduction in the product life cycle. The characteristics of significant software and in which phases of the life cycle the software is used are presented. After that, the proposal for the implementation of digital twin technology in passenger vehicles is described. It is described how are the various system components used in the digital twin and how they are connected. By creating a digital twin of the vehicle, a new way of collecting data is obtained in the very phase of using the vehicle. Examples are given of how the obtained data could be used to extend the existing vehicle's life and to develop new vehicles.

Key words: product life cycle, digital twin, personal vehicle

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS SLIKA .....	VII
POPIS TABLICA.....	IX
POPIS KRATICA I OZNAKA .....	X
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ŽIVOTNI VIJEK PROIZVODA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ANALIZA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. Faza uvođenja.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Faza rasta.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Faza zrelosti .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Faza opadanja .....</b>	<b>9</b>
<b>3.5. Životni vijek proizvoda u praksi.....</b>	<b>10</b>
<b>3.6. Životni vijek proizvoda na primjeru prodaje najlona kroz povijest.....</b>	<b>12</b>
<b>4. NAČINI PRAĆENJA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Procjena utjecaja životnog vijeka na okoliš – LCA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Troškovi životnog vijeka – LCC.....</b>	<b>16</b>
<b>5. PRIMJER PRIMJENE METODE LCA ZA OSOBNO VOZILO .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Prva faza: Definicija područja i cilja .....</b>	<b>19</b>
<b>5.2. Druga faza: Analiza životnog vijeka .....</b>	<b>21</b>
<b>5.3. Treća faza: Procjena utjecaja na okoliš .....</b>	<b>24</b>
<b>5.4. Četvrta faza: Interpretacija rezultata .....</b>	<b>26</b>
<b>6. SOFTVERI U ŽIVOTNOM VIJEKU PROIZVODA.....</b>	<b>28</b>



---

<b>7. RAZVOJ DIGITALNOG BLIZANCA OSOBNOG VOZILA .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1. Mrežna arhitektura digitalnog blizanca .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2. Komponente sustava .....</b>	<b>36</b>
7.2.1. Sustav ECU .....	36
7.2.2. Servisne informacije.....	38
7.2.3. Telematika.....	38
7.2.4. 3D skeniranje.....	38
7.2.5. Baza podataka i platforma <i>cloud</i> .....	40
<b>7.3. Primjena digitalnog blizanca vozila .....</b>	<b>41</b>
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>44</b>
<b>9. LITERATURA.....</b>	<b>46</b>

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Kružno gospodarstvo [1].....	4
Slika 2. Klasična krivulja životnog vijeka proizvoda [4].....	7
Slika 3. Životni vijek novog proizvoda kroz prodaju [4].....	11
Slika 4. Životni vijek novog proizvoda kroz profit [4].....	12
Slika 5. Prodaja najlona kroz povijest [4].....	13
Slika 6. Faze životnog vijeka proizvoda kod LCA analize.....	15
Slika 7. Metoda LCC [11].....	16
Slika 8. Kategorizacija troškova [13].....	17
Slika 9. Model osobnog vozila projekta Alliance [17].....	20
Slika 10. Simulacijski model [16].....	23
Slika 11. Tok zbivanja na kraju životnog vijeka automobila [16].....	24
Slika 12. Utjecaj životnog vijeka na okoliš [16].....	25
Slika 13. Utjecaj proizvodnje sklopova na okoliš [16].....	26
Slika 14. Logo CATIA-je [25].....	29
Slika 15. 3D CAD model motora na unutarnje izgaranje [24].....	29
Slika 16. Logo Siemens NX [43].....	30
Slika 17. Logo Creo.....	31
Slika 18. Shematski prikaz digitalnog proizvoda vozila.....	34
Slika 19. Digitalan blizanac [38].....	34
Slika 20. Sustav ECU [34].....	37
Slika 21. Telematski sustav [35].....	38
Slika 22. Skeniranje strukturiranim svjetlom [37].....	39

---

Slika 23. Lasersko skeniranje [37] .....	40
Slika 24. Identifikacija oštećenja i popravak .....	42
Slika 25. Razvoj novog vozila.....	43

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Sklopovi osobnog vozila .....	21
Tablica 2. Parametri ispušnih plinova [16] .....	22

**POPIS KRATICA I OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
AR	–	eng. <i>Augmented Reality</i> – proširena stvarnost
BDP	–	bruto domaći proizvod
CAD	–	eng. <i>Computer Aided Design</i> – oblikovanje pomoću računala
CAE	–	eng. <i>Computer Aided Engineering</i> – računalom potpomognuto inženjerstvo
CAM	–	eng. <i>Computer Aided Manufacturing</i> – proizvodnja pomoću računala
CAN	–	eng. <i>Controller Area Network</i> – mreža računalnog protokola
CAX	–	eng. <i>Computer aided technologies</i> – tehnologije potpomognute računalom
CMM	–	eng. <i>Coordinate Measuring Machine</i> – stroj za mjerenje koordinata
DFMA	–	eng. <i>Design For Manufacture And Assembly</i> – oblikovanje za izradbu i montažu
DRL	–	eng. <i>Deep Reinforcement Learning</i> – pojačano duboko učenje
ERP	–	eng. <i>Enterprise Resource Planning</i> – planiranje resursa poduzeća
ECU	–	eng. <i>Electronic Control Unit</i> – elektronička upravljačka jedinica
eng.	–	engleski
GWP	–	eng. <i>Global Warming Potential</i> – potencijal globalnog zagrijavanja

---

IoT	–	eng. <i>Internet of Things</i> – Internet stvari
itd.	–	i tako dalje
LCA	–	eng. <i>Life Cycle Assessment</i> – procjena utjecaja životnog vijeka
LCC	–	eng. <i>Life Cycle Cost</i> – troškovi životnog vijeka
MBS	–	eng. <i>Macro-cell Base Station</i> – makro mobilne bazne stanice
OBD	–	eng. <i>On-Board Diagnostics</i> – ugrađena dijagnostika
PLC	–	eng. <i>Product Life Cycle</i> – životni vijek proizvoda
PLM	–	eng. <i>Product Lifecycle Management</i> – upravljanje životnim vijek proizvoda
ppm	–	eng. <i>parts per million</i> – dijelova na milijun
SBS	–	eng. <i>Small-cell Base</i> – male mobilne bazne stanice
WTW	–	eng. <i>Well to Wheel</i> – od izvora do kotača
2D	–	dvodimenzionalan
3D	–	trodimenzionalan

## 1. UVOD

Razumijevanjem kupaca nastoji se razviti proizvod koji će zadovoljiti njihove potrebe i biti konkurentan na tržištu, no kroz istraživanje, razvoj i primjenu novih tehnologija stvaraju se proizvodi koji nisu samo inovativni u pogledu funkcionalnosti i privlačnosti, već i u odnosu prema prirodnom okružju. U sklopu toga, predviđanje životnog vijeka proizvoda ima vrlo velik značaj pri razvoju proizvoda: suštinski utječući na uspješnost proizvoda, zahtijeva detaljno planiranje i pažljivo donošenje odluka, nerijetko povezanih s dodatnim istraživanjima. Proizvodi prolaze kroz različite faze svog životnog vijeka na različite načine, različitog utjecaja na okoliš, te se mora imati na umu da razmatranje životnog vijeka proizvoda postaje društveno-ekonomski sve zahtjevnije. Novim digitalnim tehnologijama svakim danom rastu količina i dostupnost podataka o životnom vijeku proizvoda, na osnovi kojih novo razvijani alati pomažu predvidjeti potencijalne probleme povezane s proizvodom tijekom njegovog životnog vijeka i iznalaženje odgovarajućih rješenja, pridonoseći uspješnom poslovanju proizvodnih poduzeća.

Zbog sve bržeg razvoja industrije i većih zahtjeva tržišta za proizvodima koji moraju biti kvalitetni radi konkurencije, proizvodnja se treba izvesti u čim kraćem roku kako poduzeće ne bi bilo izvan trenda. Istovremeno treba imati i na umu kakav će utjecaj na okoliš imati životni vijek proizvoda. Analize koje to omogućuju danas više nisu dovoljno brze bez korištenja računalne podrške, te zbog ograničene dostupnosti informacija ne mogu točno predvidjeti događanja u fazi korištenja. U ovom radu predlaže se način implementacije tehnologije digitalnog blizanca jer konstantno prikuplja podatke o fazi korištenja proizvoda. Pomoću tih podataka može se produžiti životni vijek proizvoda i brže razviti novi model proizvoda koji bi bio bolji za korisnike, poduzeće i okoliš.

U prvom dijelu ovog rada opisuje se životni vijek, odnosno ciklus proizvoda i faze koje sadrži. U drugom dijelu rada opisuju se dvije metode praćenja životnog vijeka proizvoda. Prva od njih je metoda LCA: procjena utjecaja životnog vijeka proizvoda na okoliš kojoj je svrha minimiranje negativnih utjecaja proizvoda na okoliš. Druga metoda, LCC, odnosi se na analizu troškova u životnom vijeku proizvoda, pri čemu je prioritet maksimiranje uspjeha poduzeća tj. profita. Primjena metode LCA prikazat će se na primjeru osobnog vozila. Zatim će se objasniti kako softveri imaju veliku ulogu u životnom vijeku proizvoda, naime, na koji su način CAx i PLM softveri promijenili razvoj i proizvodnju. Nakon toga opisan je koncept digitalnog blizanca. Predstavit će se korištene komponente za implementaciju digitalnog blizanca osobnog vozila, te mreža koja se koristi za njihovo međusobno povezivanje. Predložit će se na koji način se mogu iskoristiti prikupljeni podaci o vozilu tijekom njegovog korištenja i razvoju budućeg proizvoda. Na kraju su date zaključne napomene i preporuke za budući rad.

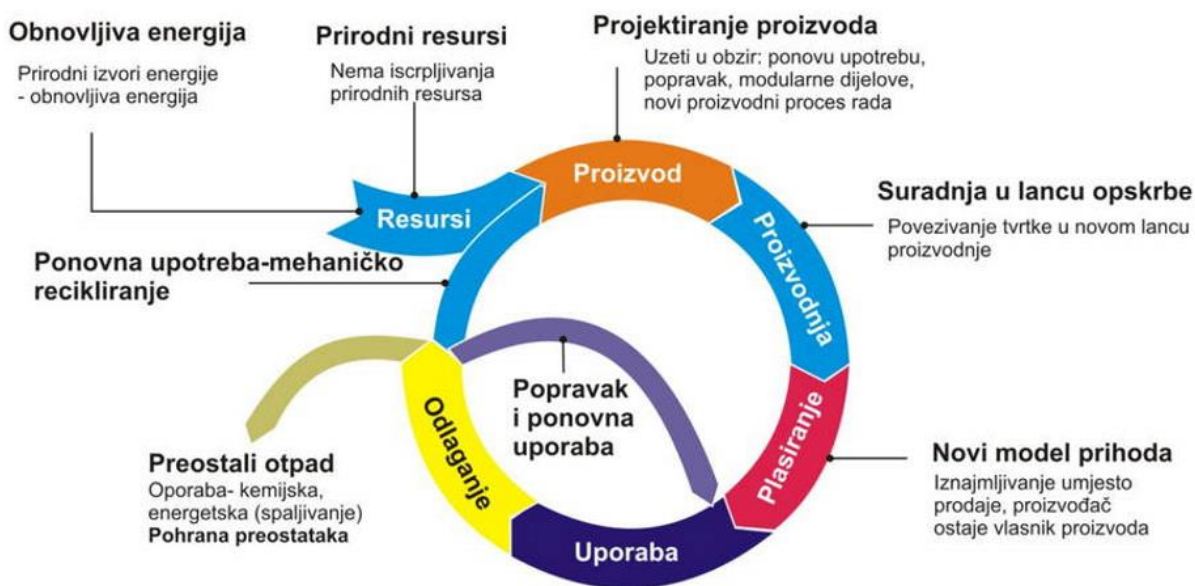


## 2. ŽIVOTNI VIJEK PROIZVODA

Sve u svijetu ima rok trajanja, bilo živo ili neživo. Tako i proizvod ima svoj životni vijek. Životni vijek proizvoda predstavlja proces koji započinje od trenutka kada se rodi ideja o proizvodu, sve od početka planiranja proizvodnje pa sve do njegovog kraja. Kraj životnog vijeka, u uzornom smislu, ne predstavlja trenutak kada proizvod završi na otpadu: za dotrajali proizvod je potrebno primijeniti odgovarajuće metode kako bi se minimirale negativne posljedice na okoliš i podržala održivost resursa.

Povećanjem svjetske populacije proporcionalno raste i količina otpada. Istovremeno, čovječanstvo ulaže mnogo više vremena i novaca u razvoj inovativnih tehnologija kako bi se smanjio negativan utjecaj otpada na okoliš. Jedan od ključnih izazova jest kako iskoristavati što manje prirodnih resursa. Kako bi se smanjilo iscrpljivanje prirodnih resursa i negativne posljedice proizvoda na okoliš, uspostavljen je model proizvodnje kružno gospodarstvo.

Kružno gospodarstvo (Slika 1.) je model proizvodnje i potrošnje koji obuhvaća posudbu, ponovno korištenje, dijeljenje, popravljivanje, obnavljanje i recikliranje postojećih proizvoda i materijala kako bi se povećalo njihovu vrijednost izraženu u vremenu [3]. Europska unija zahtjeva uvođenje takvog modela proizvodnje umjesto linearnog modela, gdje su proizvodi odbačeni nakon njihovog korištenja. Mnoga poduzeća su iskoristavala linearni model proizvodnje za maksimiranje profita, svjesno skraćujući vijek proizvoda kako bi potrošači bili prisiljeni kupovati novi proizvod. Korištenjem modela proizvodnje kružno gospodarstvo produljuje se životni vijek proizvoda, što je učinkovito rješenje u postizanju okolišnih ciljeva.



Slika 1. Kružno gospodarstvo [1]

Europska unija je postavila cilj da se do 2030. godine reciklira 70 % komunalnog otpada, a do 2035. godine 75 % [2]. Kružno gospodarstvo funkcionira po tzv. principu 4R: popraviti (eng. *Repair*), ponovno uporabiti (eng. *Reuse*), reciklirati (eng. *Recycle*), preraditi (eng. *Remanufacture*). S gledišta ekonomije vrijednost proizvoda se povećava u obliku zadržavanja vrijednosti materijala. U lancu proizvodnje materijal se čuva u što boljem i čistijem izdanju. Taj materijal se reciklira i za nov proces proizvodnje potrebno je manje novih resursa i energije [2]. Za ovakav način gospodarstva osim educiranog i organiziranog društva potreban je redizajn lanca proizvodnje. To omogućuje analiza životnog vijeka proizvoda koji proizlazi iz spomenute proizvodnje. Uočava se da se kružno gospodarstvo i analiza životnog vijeka proizvoda međusobno nadopunjuju. Analizom životnog vijeka proizvoda proizlazi bolje kružno gospodarstvo koje produžuje životni vijek proizvoda. Parola kružnog gospodarstva je manje otpada, manje sirovina i manje štetnih emisija [3]. Iz navedenog se zaključuje da analiza životnog vijeka proizvoda može imati veliko značenje na očuvanje okoliša i održivu budućnost.

Također, analiza životnog vijeka proizvoda može imati ogromne prednosti za neko poduzeće. Uloženo vrijeme u analizu životnog vijeka proizvoda ne pomaže samo kod racionalnog pristupa planiranja proizvodnje i oglašavanja, već može pomoći kod predviđanja vremena isporuke koje je vrlo važno kada proizvod izađe na tržište zbog strateških i taktičkih poteza poduzeća. Analiza životnog vijeka proizvoda može biti velika pomoć u planiranju niza konjunkturalnih poteza, u proširenju i povećanju proizvodnje, u izbjegavanju nepotrebnog

gomilanja proizvoda u skladištu, te u namjernom postupnom ukidanju zastarjelih i neprofitabilnih proizvoda [4]. Poduzeće pomoću analize životnog vijeka proizvoda može procijeniti da proizvod neće postići željen efekt na tržištu te može pravodobno odustati od njegovog plasiranja i razvoja, kako bi se suzbilo nepotrebno iskorištavanje resursa i financijskih sredstava za neuspješan projekt. Analiza može predvidjeti kad je vrijeme za preinaku proizvoda i uočiti što potrošači žele. Ispravnom upotrebom informacija poduzeće može biti ispred konkurencije.

Za specifične masovne proizvode (naprimjer: osobna vozila i mobiteli) koje ima gotovo svaka osoba problem je predvidjeti u kakvom će stanju biti nakon upotrebe od strane potrošača. Potrebni su načini prikupljanja podataka u realnom vremenu. Pomoću tih podataka moguće je produžiti životni vijek proizvoda. Uporabom tih podataka korisnici i poduzeće mogli bi detektirati defekte na proizvodu te ih pravovremeno ukloniti kako ne bi uzročili veće probleme. U proizvodnji novih modela proizvoda podaci bi olakšali poduzeću kako bolje zadovoljiti potrebe kupaca kroz analizu načina upotrebe prijašnjih modela.

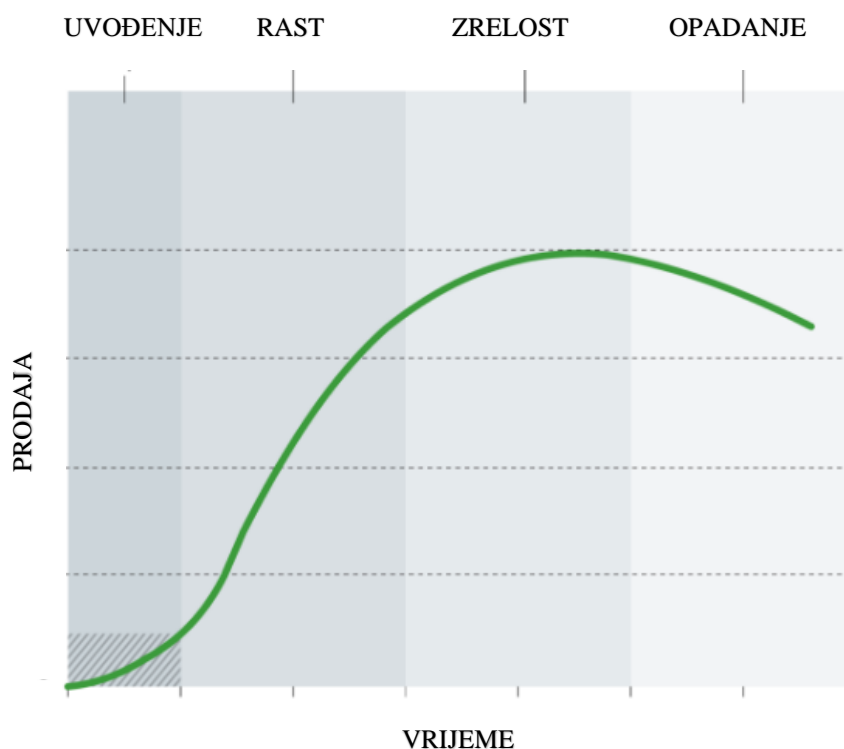
### 3. ANALIZA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA

Životni vijek proizvoda može biti dugoročan, a opet može biti vrlo kratak. Postoje mnogi čimbenici koji utječu na duljinu životnog vijeka proizvoda. Najveći faktor o trajnosti proizvoda jest sama njegova vrsta. Potrošni proizvodi imaju životni vijek koji može trajati nekoliko minuta, dana ili mjeseca. Životni vijek industrijskih proizvoda može potrajati desetljećima. Trajnost proizvoda ovisi i o kvaliteti izrade, ali ne smije se zanemariti marketinška strategija poduzeća koje plasira proizvod na tržišta. Za uspješnost poduzeća važno je pratiti prodaju, profit, konkurenciju i marketing samog proizvoda.

Kako bi se što točnije predvidio vijek proizvoda još 50-ih godina uveo se koncept “Životni vijek proizvoda“ ili eng. *Product-Life-Cycle* (PLC). Najčešće se prezentira grafičkim putem [5]. Postoje mnoge krivulje životnog vijeka proizvoda, klasičan model je prikazan slikom 2.

Može se uočiti da kod klasičnog modela krivulja prati životni vijek proizvoda samo kroz prodaju, što je uobičajeno za većinu proizvoda. Klasični koncept PLC-a prati četiri faze koje se nazivaju prema svojim obilježjima:

- Prva faza: Faza uvođenja
- Druga faza: Faza rasta
- Treća faza: Faza zrelosti
- Četvrta faza: Faza opadanja.



Slika 2. Klasična krivulja životnog vijeka proizvoda [4]

### 3.1. Faza uvođenja

Prva faza, uvođenje proizvoda na tržište, jest najzahtjevnija faza za poduzeće. Zahtijeva ulaganje mnogo resursa za analizu tržišta i marketing. Za početak treba odgonetnuti koje potrebe tržišta nisu ispunjene a zatim se stvara ideja, proizvod, kojim bi se tržište zadovoljilo i nadjačalo konkurenciju.

Ispunjenjem spomenutih zahtjeva poduzeće procjenjuje jesu li njeni resursi i kapaciteti proizvodnje dovoljni, a potom kreće u realizaciju proizvoda. Izrađuje se prototip proizvoda pomoću kojeg se određuje generalni izgled i njegov trošak izrade. Marketinški tim okvirno određuje mogući maksimalni i minimalni prihod. Također, u ovoj fazi se određuje cijena proizvoda na tržištu. Postoje dva pristupa kod određivanja cijene: prvi je određivanje niske početne cijene, a drugi je određivanje visoke početne cijene. Ako se tržištu pristupi s niskom početnom cijenom, to znači da se pokušava samo pokriti troškove s ciljem prikupljanja što većeg broja kupaca. Nedostaci ovog pristupa jesu to što kupci očekuju da će takva cijena ostati duže vrijeme i sa smanjenjem dobiti poduzeće se dovodi u rizik neuspjeha i otežanog održavanja. S postavljanjem visoke cijene u početku, koja će s vremenom padati, cilj je čim

prije pokriti troškove i stvoriti profit koji se dalje koristi za dodatni razvoj [6]. U početku postavljenom visokom cijenom otežava se postignuće najvažnijeg zadatka prve faze, a to je da se proizvod pročuje po tržištu. Velik dio budžeta marketinški tim iskorištava upravo da ispuni taj zadatak, kroz reklamiranje i oglašavanje proizvoda. To je vrlo zahtjevan zadatak jer u današnjem svijetu postoji veliki broj poduzeća koja se konstantno nadmeću svojim proizvodima. Ako ova faza doživi neuspjeh mogući su ogromni gubici za poduzeće [5].

Može se zaključiti da je faza uvođenja novog proizvoda na tržište veoma riskantan potez za poduzeće. Potražnja je gotovo nepostojeća (Slika 2.) pa se traže načini kako čim prije izaći iz ove faze. Osim pokušavanja stvaranja potražnje na tržištu, koju je veoma teško predvidjeti zbog kompleksnosti i stupnja noviteta proizvoda, jedan od popularnijih pristupa je model „*korištena jabuka*”: umjesto da se poduzeće bori da bude prvo na tržištu, prepusti nekom prednost da uzmu „*prvi zagriz*”. Ako vide da postoji potražnja oni također izlaze na tržište s manjim rizikom [4].

### 3.2. Faza rasta

Ako je faza uvođenja proizvoda na tržište uspješna slijedi faza rasta, ili drugačije zvana bum faza svakog proizvoda [6]. Faza rasta u životnom vijeku proizvoda odlikuje se naglim povećanjem prodaje, prikupljanjem prihoda i profitabilnosti. Za vrijeme ove faze kupci počinju prepoznavati prednosti proizvoda i upotrebljavaju ga sve češće, te se proizvod počinje širiti na šire tržište. Konkurenti također prepoznaju potrebu tržišta i zato je tijekom ove faze važno za poduzeće da s prikupljenim prihodima ulaže u razvoj proizvoda kako bi ga nadogradila i poboljšala, te kako bi pojačala svoju konkurentnost na tržištu i povećala svoj profit.

Ova faza može trajati i nekoliko godina, a uz dobro upravljanje, poduzeće može iskoristiti ovu priliku kako bi učvrstilo svoj položaj na tržištu i poboljšala svoju financijsku situaciju. Za vrijeme faze rasta poduzeće također može razvijati nove proizvode da zadovolji potrebe potrošača i proširi svoje djelovanje na tržištu. Međutim, faza rasta također može dovesti do konkurencije s drugim poduzećima koja se trude ispuniti isti prostor na tržištu. Stoga, poduzeće mora biti spremno za prilagodbe i pojačati kvalitetu svojih proizvoda i usluga kako bi zadržali svoju konkurentsku prednost.

U konačnici, faza rasta u životnom vijeku proizvoda može pružiti velike mogućnosti za poduzeće, no poduzeće treba biti spremno uočiti promjene na tržištu i nastaviti ulagati u svoje proizvode kako bi zadržalo svoju financijsku stabilnost i nastavilo razvoj na tržištu.

### 3.3. Faza zrelosti

Neposredno nakon što prestane ubrzavanje prodaje počinje faza zrelosti proizvoda, kada tržište postaje zasićeno. Bitno je razlikovati neuspjeh proizvoda i fazu zrelosti, ubrzanje prodaje je stalo zbog toga što kupci već imaju proizvod. Ovo je vrijeme kada proizvod dostiže svoju maksimalnu prodaju i prihod. Prodaja se kreće proporcionalno s rastom populacije ili razvojem industrije, ovisno o proizvodu.

Tijekom ove faze bitno je za poduzeće da stvori prepoznatljivu marku (eng. *brand*) kojim će zadržati svoj položaj na tržištu. Kupci već smatraju proizvod pouzdanim i učinkovitim. U ovom razdoblju, kao i u fazi rasta, poduzeće mora biti spremno na promjene na tržištu i nastaviti ulagati u proizvod kako bi ga održala konkurentnim i aktualnim, bilo to kroz poboljšavanje kvalitete proizvoda, povećanje marketinga i sličnog. Također jedan od načina da ostanu pri vrhu je da nastave sa suzbijanjem konkurencije na tržištu tako da spuste svoje cijene ili preuzmu poslovanje otkupljivanjem konkurentskog poduzeća [4]. Za ovo vrijeme poduzeće najvjerojatnije ima stabilan i redovit prihod te ga trebaju iskoristiti za razvijanje novih proizvoda ili za diverzifikaciju postojećih proizvoda kako bi osigurala stabilnost u budućnosti. Potrebno je pažljivo odrediti pravo vrijeme za uvođenje novih proizvoda, koji se temelje na iskustvu i znanjem stečenom u vezi s postojećim proizvodom, kako bi se iskoristio potpuni potencijal trenutnog proizvoda na tržištu.

Može se zaključiti da je ova faza od velike važnosti poduzeću jer ima stabilan prihod i ako je spremno na sve prepreke koje tržište donosi poduzeće može nastaviti ostvarivati profit i razvijati se u budućnosti.

### 3.4. Faza opadanja

Kao što je to kod većine proizvoda nakon nekog vremena prodaja počinje padati i ulazi se u završnu fazu životnog vijeka proizvoda, fazu opadanja. Postoji mogućnost da neki proizvod u jednoj zemlji započinje s fazom opadanja dok u nekoj drugoj zemlji tek ulazi u fazu rasta.

Može biti mnogo razloga zašto je tomu tako jer u svakoj zemlji je prihvaćanje proizvoda drugačije, te zbog toga jedan proizvod može biti uspjeh u jednoj zemlji a neuspjeh u drugoj [5]. U većini slučajeva razlog tomu je ekonomija zemlje, kako je proizvod sve jeftiniji tako je dostupniji u zemljama sa slabijom ekonomijom. Drugi najčešći razlog je jednostavno razlika u kulturama. To ukazuje na činjenicu da osim lokalnog, postoji i međunarodni životni vijek proizvoda kojim se bave marketinški stručnjaci za globalna tržišta.

Postoji više faktora zbog čega dolazi do faze opadanja, a neki od tih su novi modni trendovi, strana konkurencija, zasićenje tržišta određenim proizvodom ili tehnološki napredak. Zasićenje tržišta znači da je velika konkurencija pa potrošači teško uočavaju razliku između proizvoda, te se tako odlučuju za jeftiniji proizvod. Pored toga, poduzeće može razmišljati o zatvaranju proizvodne linije i prelasku na proizvodnju novih proizvoda. Ova strategija omogućuje poduzeću da iskoristi svoja iskustva i znanja koje je steklo u vezi s postojećim proizvodom i primijeni ih u razvoju novih proizvoda. Postoje i poduzeća koja sa svojim proizvodima nikada nisu doživjeli fazu opadanja i održavaju svoj proizvod desetljećima, kao naprimjer Coca-Cola [5].

Kako bi izbjeglo ili usporilo fazu opadanja, poduzeće treba početi djelovati u fazi zrelosti proizvoda. Najčešći slučajevi zbog kojih proizvod ulazi u fazu opadanja jest zbog toga što na tržištu postoji velik broj konkurentnih proizvoda ili više ne postoji potreba za proizvodom. U slučaju kad postoji velik broj konkurentnih proizvoda na tržištu poduzeće može pokušati prekinut životni vijek proizvoda konkurencije direktno ili indirektno sa raznim strategijama i taktikama. Mogu predložiti sjedinjenje njihovih poduzeća ili ih jednostavno otkupiti što u većini slučajeva donosi kobne posljedice za oba poduzeća [4]. Jedan od načina da osiguraju svoj položaj na tržištu je razvoj novih inovativnih proizvoda koji su bolja varijanta postojećih proizvoda. Tako će se isticati od konkurencije i privući veći broj kupaca. Neki od primjera su poduzeća Nike, Mercedes, Apple. Može se uočiti da je na današnjem tržištu to najbolji smjer razvoja. Treba se usredotočiti na budućnost i na izradu novih proizvoda na temeljima njihovih prethodnika koji će postići bolji uspjeh.

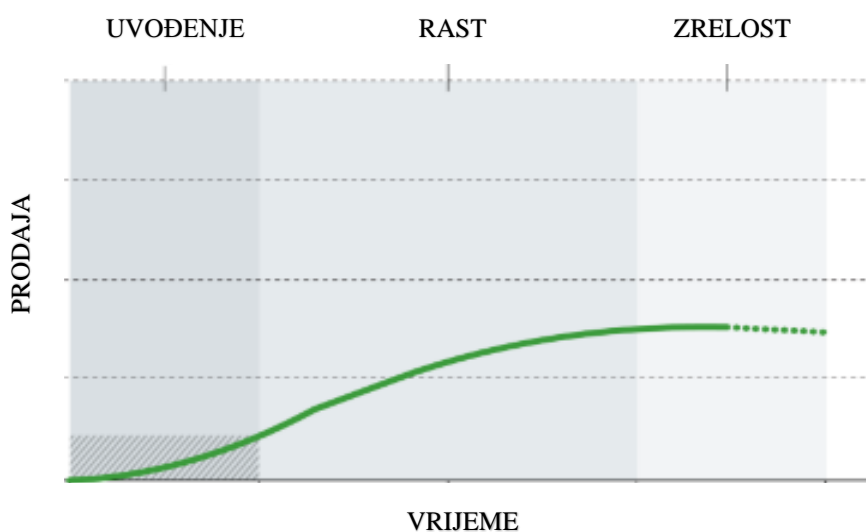
### **3.5. Životni vijek proizvoda u praksi**

Za bilo što u poslovanju, pa tako i za životni ciklus proizvoda, vrlo je teško predvidjeti kako će se krivulja kretati i koliko će proizvod trajati. Vođenje poduzeća nije egzaktna znanost,



iz dana u dan se pojavljuju faktori koje je nemoguće predvidjeti. Naprimjer, za nedavnu pandemiju svijet nije bio spreman i uzročila je negativne posljedice na cijelu ekonomiju izvan očekivanja [4]. Klasična krivulja životnog proizvoda prikazana na Slika 2. je idealna krivulja: svako bi je poduzeće voljelo imati za svoj proizvod, jer ne bilo iznenađenja, a za negativne posljedice koje pojedine faze donose bilo bi spremno. Znači, krivulja životnog proizvoda u praksi će najvjerojatnije biti drugačijeg izgleda.

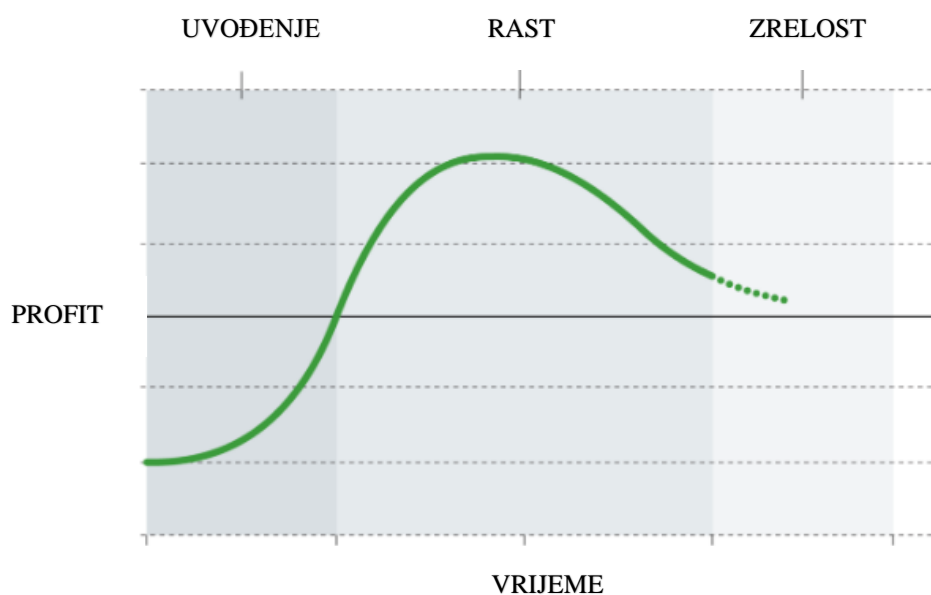
Kao što je prethodno spomenuto, poduzeće koje prvo donosi novi proizvod na tržište najviše riskira. Kada inovator dokaže da postoji potreba za njegovim proizvodom na tržištu, a ne osigura isključivo pravo na izradu i prodaju pomoću patenta, tržište preplavi konkurencija. Zbog toga se u fazi rasta ne pojavljuje eksponencijalno ubrzanje prodaje i u fazi zrelosti volumen prodaje će biti manji jer se potreba na tržištu dijeli s konkurencijom [4]. To se vidi usporedbom Slika 3. Životni vijek novog proizvoda kroz prodaju [4]sa Slika 2.: slika 2. prikazuje slučaj u kojem konkurencija nije uspjela plasirati svoj proizvod u pravo vrijeme i originalno poduzeće zauzima skoro cijeli prostor na tržištu.



**Slika 3. Životni vijek novog proizvoda kroz prodaju [4]**

Poduzeće treba paziti da se ne fokusira previše na prodaju, životni vijek proizvoda treba pratiti kroz mnoge aspekte. Količina prodaje može bit velika ali to ne znači da poduzeće stvara dobit. Slika 4. prikazuje kako izgleda životni vijek proizvoda kroz profit, u slučaju kada je poduzeće prvo u predstavljanju novog proizvoda na tržište. U fazi uvođenja proizvoda na tržište ne stvara se nikakva dobit, već se gubi po svakom prodanom komadu. Volumen prodaje je premalen za određenu cijenu proizvoda. To se svjesno radi da se poveća tržište. Širenjem tržišta i sa sve većom proizvodnjom troškovi izrade se smanjuju i ulazi se u fazu rasta gdje je profit

ogroman i stvara se dobit. Zbog te ogromne dobiti brzo se pojavljuje konkurencija na tržištu. Poduzeće ne može zadržati cijelo tržište i treba biti spremno boriti se protiv konkurencije da zadrži postojeći volumen prodaje (Slika 3.), a jedan od načina je spuštanje cijene proizvoda gdje treba biti oprezan. Bez optimiranja troškova proizvodnje mogli bi se pojaviti problemi. Poduzeće i dalje stvara profit ali kroz vrijeme neće imati dovoljno za razvoj i održivu budućnost. Upravo analiza životnog vijeka proizvoda pomaže u borbi protiv ovakvih i još mnogih prepreka.



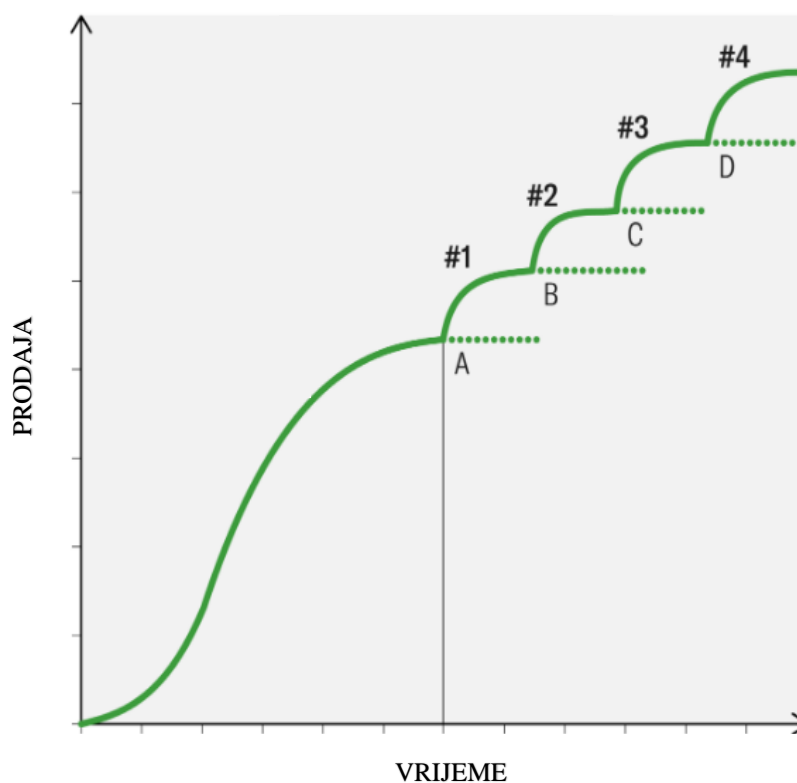
Slika 4. Životni vijek novog proizvoda kroz profit [4]

### 3.6. Životni vijek proizvoda na primjeru prodaje najlona kroz povijest

Produženje životnog ciklusa proizvoda jednostavno se može dogoditi kroz njegovo korištenje u novim inovativnim proizvodima. To se može prikazati na primjeru porasta upotrebe najlona kroz povijest. Najlon se pojavio početkom 20. stoljeća a danas je njegova upotreba vrlo raširena.

Prva upotreba najlona, nakon njegova otkrića, bila je proizvodnja užadi koja su se primarno koristila za padobrane i šivanje. Pokazao se kao jeftiniji i izdržljivi materijal za odjeću i ubrzo je zauzeo velik dio tržišta tekstila. Slika 5. prikazuje kako se nakon nekog vremena krivulja životnog ciklusa najlona počela izravnjavati. **Error! Reference source not found.** Vidi se kako bi nakon nekog vremena, u točki A, krivulja postala potpuno ravna da poduzeće Du Pont nije ništa poduzelo. Počeli su reklamirati svoje čarape od najlona („najlonke“), i tako su povećali njihovu prodaju. Ovo se pamti kao prvi sustavni napor da se produži životni vijek

proizvoda [4]. U drugoj točki su napravili varijante svojeg proizvoda, najlonke različitih boja i dužina. Treći način povećanja prodaje je bilo reklamiranje najlonki među mlađom ženskom populacijom. U četvrtoj točki počeli su razmišljati gdje bi se još mogao najlon koristiti i tako se počeo upotrebljavati za proizvodnju tepiha i ležajeva. Bez novih inovacija potrošnja najlona 1962. dosegla bi razinu potrošnje od otprilike 25 000 tona godišnje. Umjesto toga, godišnja potrošnja je premašila 250 000 tona [4].



Slika 5. Prodaja najlona kroz povijest [4]

## 4. NAČINI PRAĆENJA ŽIVOTNOG VIJEKA PROIZVODA

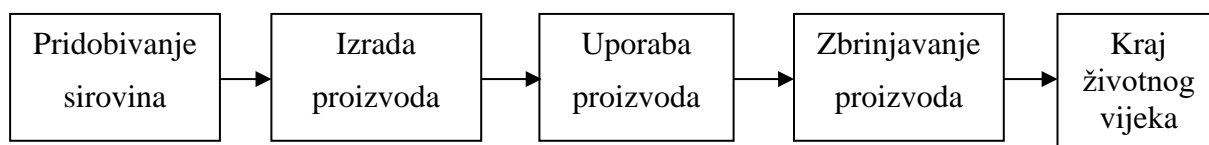
Većinu vremena analiza životnog vijeka proizvoda provodi se kako bi se lakše predvidjelo ponašanje proizvoda na tržištu, ali ta analiza može se iskoristi za mnogo više. Analizom životnog vijeka proizvoda mogu se predvidjeti svi troškovi proizvoda ili kakve će biti posljedice na okoliš. Te analize se provode u tijeku ili prije proizvodnje kako bi se vidjelo u kojim područjima se mogu smanjit troškovi ili optimizirat proizvod da se smanji negativni utjecaj na okoliš.

### 4.1. Procjena utjecaja životnog vijeka na okoliš – LCA

Sve više raste svijest o ljudskom nepovoljnom utjecaju na okoliš, što nije bio slučaj u prošlosti. U prošlosti se nije pridavala velika pažnja o negativnim utjecajima na okoliš već se je gledalo kako postići čim brži razvoj industrije i tehnički napredak. I danas većina potrošača prilikom kupnje nekog proizvoda ne razmišlja o tome na koji način je proizveden, kakva vrsta materijala se koristila prilikom izrade, koliko je energije utrošeno da taj proizvod dođe u njihove ruke te gdje će naposljetku završiti kada im više neće biti potreban.

Metoda *Life Cycle Assessment* (LCA) – procjena utjecaja životnog vijeka na okoliš, razvijena je u svrhu sveobuhvatne procjene utjecaja proizvoda na okoliš tijekom cijelog njegovog životnog vijeka, od sirovine do zbrinjavanja. Ne procjenjuje se samo utjecaj proizvoda na okoliš već sve djelatnosti koje su vezane uz njega. Sakupljaju se i analiziraju svi ulazi i izlazi materijala i energije, te pridruženi ekološki utjecaji, koji se direktno mogu pridružiti funkcioniranju proizvoda ili usluge [7]. Analizom životnog vijeka proizvoda nastoji se dobiti informacije o pridobivanju sirovina, energetske izvora, o proizvodnji i raspodjeli

potrebne energije, proizvodnji poluproizvoda, proizvoda i nusproizvoda, prijevozu i skladištenju. S tim informacijama procjenjuju se primjene i alternative te općenito mogućnosti o svim aspektima proizvoda kako bi se izabrao put koji najmanje opterećuje okoliš [8].



**Slika 6. Faze životnog vijeka proizvoda kod LCA analize**

Metoda LCA nema strogo definiran cilj: prema normi ISO 14044:2006 metoda samo daje zahtjeve i upute za provedbu analize proizvoda. Pojašnjuje faze od kojih se analiza sastoji i daje prijedloge koje kategorije utjecaja bi trebalo uzimati u obzir [9]. To znači da konačan cilj metode LCA postavlja poduzeće koje provodi analizu. Naprimjer, poduzeće može provoditi analizu tako da se samo gleda kako smanjiti upotrebu prirodnih resursa, ili tako da više koristi izvore obnovljive energije. Prema tome, može se zaključiti da metoda LCA ima široko područje primjene.

U mnogim poduzećima metoda LCA služi kao podrška tijekom procesa za odlučivanje u svim fazama životnog vijeka proizvoda. Temeljna funkcija LCA metode je prikupljanje informacija na osnovi kojih se donose poslovne odluke usmjerene na minimalno moguće opterećenje okoliša. Ipak, mnoga poduzeća imaju skrivene ciljeve, a to je stvaranje publiciteta na tržištu [8]. Postoje poduzeća koja ne žele optimirati svoje proizvode i proizvodnju, više nego što to norme nalažu (kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš) ako bi to značilo gubitak dijela profita. Potrebno je osmisliti sustave koji će poduzećima olakšati i ohrabriti ih da produže životni vijek proizvoda, te se zbrinuti za njega na kraju životnog vijeka, a da im istovremeno donosi koristi.

Metoda LCA se još uvijek razvija a njena provedba generalno obuhvaća četiri glavne faze:

- definicija područja i cilja,
- analiza životnog vijeka,
- procjena utjecaja na okoliš,
- interpretacija rezultata.

U prvoj fazi izaberu se granice proučavanja kako bi se osiguralo da nijedan relevantan dio nije izostavljen. Poduzeće može napraviti grešku ako jednostavno analizira samo kakav

utjecaj ima nabava resursa za proizvodnju i zbrinjavanje proizvoda, a zanemarujući transport proizvoda koji može imati negativne posljedice. Bitno je za vrijeme prikupljanja podataka uzeti u obzir sve faze životnog vijeka proizvoda i identificirati točke opterećenja na okoliš. Zatim je potrebno analizirati životni vijek proizvoda kroz izračun svih upotrijebljenih resursa, te količinu otpada i emisije. Procjena utjecaja na okoliš uključuje ocjenu emisija stakleničkih plinova, korištenja energije, potrošnje vode i druge potencijalne točke opterećenja kao što su globalno zagrijavanje i kisele kiše. Pomoću interpretacije rezultata potrebno je donijeti odluke za optimiranje životnog vijeka proizvoda u cilju smanjivanja negativnih utjecaja [10].

## 4.2. Troškovi životnog vijeka – LCC

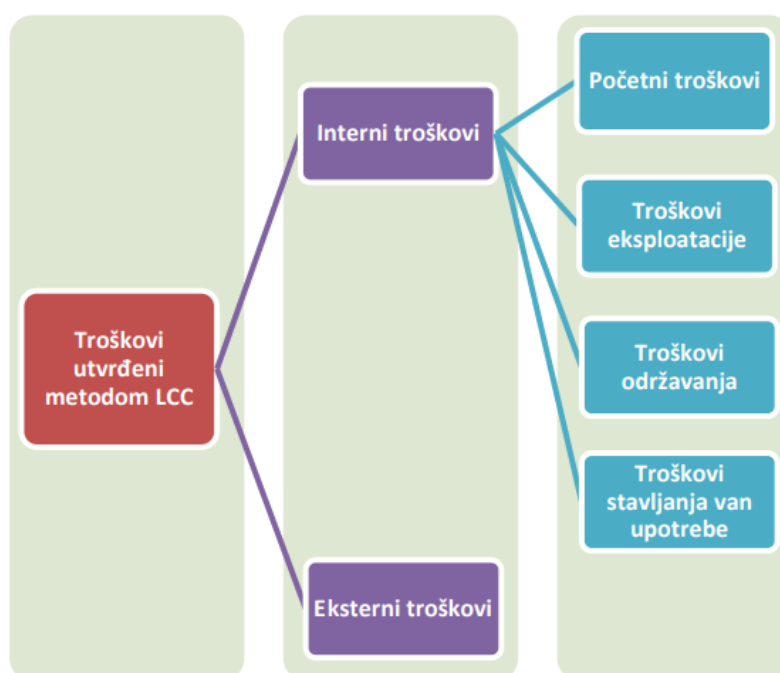
Pojam troška životnog vijeka odnosi se na cijeli vijek trajanja proizvoda, što uključuje troškove koji su nastali kod planiranja, proizvodnje, marketinga, transporta i zbrinjavanja proizvoda. Svako poduzeće pokušava predvidjeti sve troškove još u fazi planiranja proizvoda. Zato se koristi metoda *Life Cycle Cost* (LCC) – metoda procjene troškova proizvoda tijekom cijelog njegovog životnog vijeka (Slika 7). Metoda LCC, također zvana i ekonomska analiza, rezultat je pokušaja upravitelja poduzeća da minimira troškove i omogući poduzeću da donese pouzdane odluke o troškovima i investicijama [12].



Slika 7. Metoda LCC [11]

Metoda omogućuje da se uključe troškovi koji su uobičajeno izostavljeni kroz korištenje konvencionalnih metoda izračuna troškova korištenih u rukovodstvu. Metoda LCC uzima u obzir troškove koji se odnose na nabavu i implementaciju sredstava potrebnih za proizvodnju, operativne troškove, troškove zbrinjavanja, te troškove u slučaju opoziva proizvoda. Ne smije

se zaboraviti uzeti u obzir troškove koji se odnose na istraživanje tržišta i planiranje samog proizvoda. Troškovi proizvođača su također: edukacija radnika, održavanje opreme te trošak poslovnog prostora [12]. Može se zaključiti da postoji mnogo troškova koje je veoma lako ne predvidjeti, te je zbog toga prije početka analize potrebno kategorizirati troškove (Slika 8.). Eksternim se troškovima misli na troškove koji nastaju uslijed utjecaja proizvoda na životnu sredinu. Njih može snositi samo poduzeće, ali i lokalna zajednica ili čak svi građani [13]. Općenito, eksterni troškovi mogu imati dobar utjecaj na životnu sredinu, poput rasta BDP-a, ali i negativan utjecaj, naprimjer troškovi uslijed povećanja odlagališta ili medicinskih troškova ako postrojenje ima negativan utjecaj na okoliš.



**Slika 8. Kategorizacija troškova [13]**

Metoda LCC je kompliciranija od ostalih metoda jer iznosi troškova variraju tijekom životnog vijeka proizvoda i zahtjeva detaljno razumijevanje tržišta. Upravo zbog toga se govori da je ova metoda samo procjena i da njeni rezultati nikada nisu potpuno točni. Za analizu je potrebna velika količina podataka koji se prikupljaju prije početka proizvodnje. To predstavlja jednu vrstu rizika jer se troškovi mogu promijeniti za vrijeme proizvodnje, te bi se moglo desiti da poduzeće ostane bez potrebnih financijskih sredstava. Bez obzira na svoju složenost i ograničenu točnost, metoda LCC se provodi jer može dovesti do maksimiranja dobiti i konkurentske prednosti [11].

Kao što je već spomenuto, metoda LCC nema striktno određena pravila i teško je dati temeljnu uputu kako je provesti. Nema čvrsto definirane faze kao metoda LCA, ali ju se može podijeliti na tri potrebna koraka za provođenje analize:

- određivanje troškova
- usporedba troškova
- odluka i kontrola.

Prvi korak započinje s određivanjem i postavljanjem granice analize, ovisi o tomu koliko duboka i detaljna analiza se želi provesti. Zatim je potrebno odrediti sve interne i eksterne troškove koji su vezani uz proizvod i nalaze se unutar granice analize, te ih je potrebno jasno kategorizirati. Granica se određuje u ovisnosti svrhe zbog koje se analiza provodi. Vršiti se usporedba troškova kako bi poduzeće imalo više opcija i moglo odabrati opciju koja će u potpunosti zadovoljiti njihove ciljeve. Odabrana opcija se uspoređuje kroz cijeli životni vijek proizvoda u realnom vremenu kako bi proizvođač bio spreman na promjene i mogao identificirati područja proizvodnje gdje bi se mogle ostvariti neke uštede [5].



## 5. PRIMJER PRIMJENE METODE LCA ZA OSOBNO VOZILO

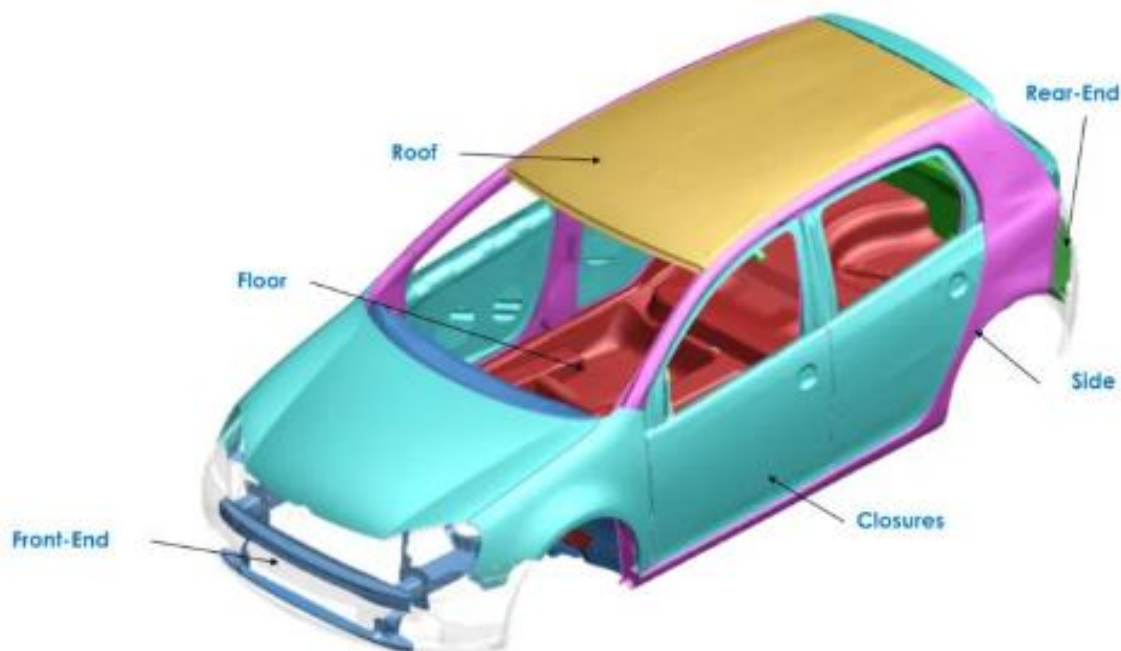
Rastom svjetske populacije raste i broj motornih vozila na cesti. Procjenjuje se da danas ima više od milijardu automobila na cestama širom planeta. Toyota, najveći svjetski proizvođač, proizvodi 19,9 automobila u minuti, a daleko veći broj automobila završi na odlagalištu [14].

Ekološki sustav trpi velike posljedice uzrokovane autoindustrijom. Osobna vozila igraju veliku ulogu u procesu ubrzavanja globalnog zatopljenja i u onečišćenju okoliša. Visoka emisija štetnih plinova je također jedna od glavnih stavki koja ugrožava zdravlje ljudi. Među najznačajnijima štetnim plinovima su dušikovi spojevi. U Europskoj uniji 40 % dušikovih spojeva u atmosferi dolazi iz motornih vozila, a u Hrvatskoj taj broj se penje i do 42,9 %. Poznata je činjenica da su upale i infekcije dišnog sustava povezane s onečišćenjima zraka, ali takva onečišćenja također mogu izazvati glavobolje i bolesti krvožilnog sustava [15]. Povećanjem broja vozila širi se i infrastruktura cestovnih prometnica kao i razina buke. Neupitno je da osobna vozila uvelike olakšavaju svakodnevni život ali imaju veliki negativan utjecaj na zdravlje živih bića i stanje okoliša. Metoda LCA uvelike može pomoći u stvaranju održive budućnosti.

### 5.1. Prva faza: Definicija područja i cilja

Cilj ove analize je ocijeniti ekološku učinkovitost osobnog automobila s motorom na unutarnje izgaranje koji u prosjeku prođe 150 000 km prije nego što završi na odlagalištu.

Analizirat će se cijeli životni vijek automobila, od početka planiranja pa sve do njegovog zbrinjavanja. Za primjer će se upotrebljavati model osobnog vozila razvijen za vrijeme projekta Alliance (Slika 9.) u kojem je svrha istraživanja bila minimiranje utroška materijala za proizvodnju vozila.



**Slika 9. Model osobnog vozila projekta Alliance [17]**

U fazi korištenja uzimat će se u obzir WTW (eng. *Well-to-Wheel*) utjecaj koji uzima u obzir sve emisije, od energetske izvora pa do pretvorbe energije u vozilu. Za zbrinjavanje na kraju životnog vijeka koristit će se parametri prema Europskom automobilskom sektoru [16]. Zbog nedostupnosti informacija neće se uzimati u obzir proizvodnja, transport i održavanje vozila, također ovi procesi imaju zanemariv utjecaj u usporedbi s fazom korištenja. Dakle, uzimaju se u obzir sljedeće kategorije utjecaja:

- zakiseljavanje
- klimatske promjene (bez biogenih elemenata)
- klimatske promjene (s biogenim elementima)
- ekotoksičnost slatkovodne vode
- eutrofikacija slatkovodne vode
- eutrofikacija mora
- toksičnost za ljude
- ionizirana radijacija

- upotreba zemljišta
- razaranje ozona
- onečišćenje česticama
- crpljenje vode
- iskorištavanje minerala, obnovljivih i neobnovljivih izvora energije.

## 5.2. Druga faza: Analiza životnog vijeka

Kod druge faze prikupljaju se svi potrebni podaci iz svake faze života automobila. Pod to spadaju sve razmjene s ekosustavom: energija i sirovine, emisije u atmosferu, emisije s vodom, otpad i drugo.

U fazi proizvodnje uključuje se vrijeme od vađenja sirovina do proizvodnje komponenti vozila. Za ovu fazu potrebno je odrediti koja količina i tip materijala je potrebna za proizvodnju svakog dijela auta. Također, treba uzeti u obzir upotrijebljenu energiju u procesima proizvodnje. Vozilo korišteno za ovu analizu je izgrađeno od dijelova i sklopova, od kojih je većina izrađena od aluminijske legure [16]. Pod ostalom opremom misli se na sklopove poklopca motora, vrata, prozora i druge sklopove. Tablica 1. Sklopovi prikazuje potrebnu količinu materijala za izradu svakog sklopa vozila.

**Tablica 1. Sklopovi osobnog vozila**

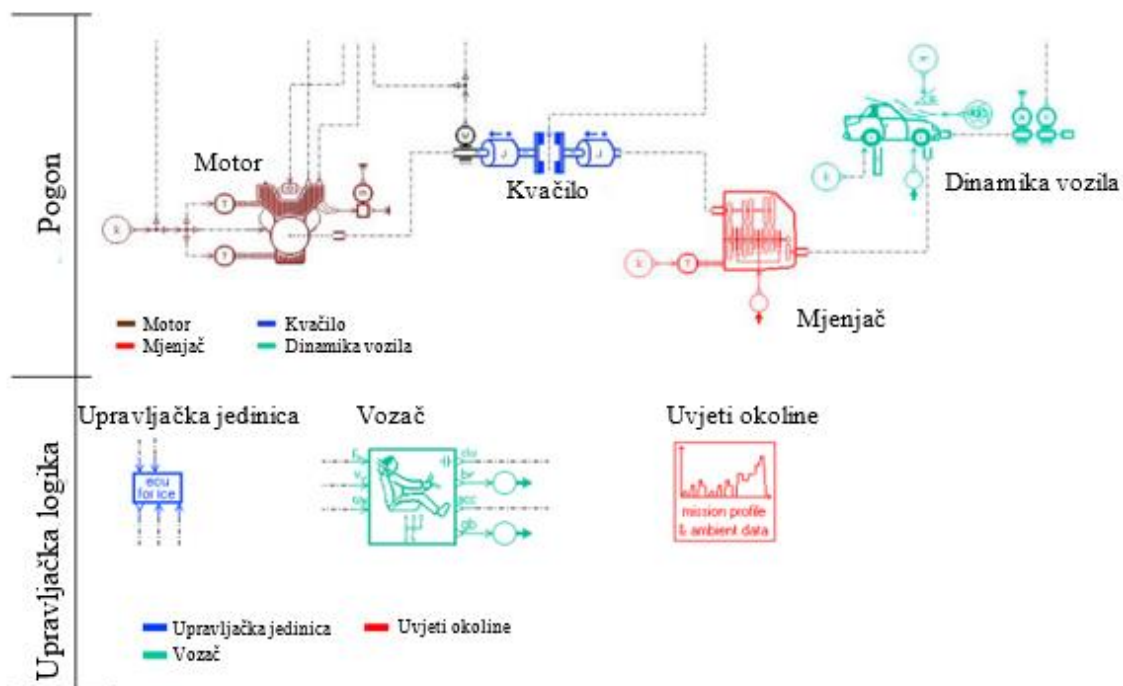
Sklop	Masa [kg]
Karoserija	292,7
Ostala oprema	176,5
Šasija	252,7
Unutrašnjost	174,9
Pogon	222,5
Elektronika	56,7
<b>Ukupno</b>	<b>1175,0</b>

U fazi korištenja vozila prikupljaju se podaci o emisijama. Osim emisija koje se dobivaju prilikom vožnje uzimaju se u obzir i emisije stvorene tijekom proizvodnje naftnih derivata, te tijekom proizvodnje vozila. Prije nego što se gorivo natoči u rezervoar potreban je niz procesa: bušenje i vađenje nafte, proizvodnja, skladištenje, transport i drugo. Za nabrojene emisije, količina se uzima iz baze podataka softvera GaBi [18]. Količine ispušnih plinova tijekom upotrebe vozila procjenjuje se pomoću simulacije. Prihvatljive količine ispušnih plinova po prijeđenom kilometru (Tablica 2.) izračunate su prema Europskim standardima. Te granice se uzimaju u obzir kod izrade simulacije. Također, sadržaj sumpora u gorivu iznosi 10 ppm (eng. *parts per million*) [16].

**Tablica 2. Parametri ispušnih plinova [16]**

Plin	[g/km]
CO <sub>2</sub>	136
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,000997
CH <sub>4</sub>	0,000648
CO	0,594
N <sub>2</sub> O	0,000452
NH <sub>3</sub>	0,0405
NM VOC	0,00706
NO	0,0538
NO <sub>2</sub>	0,0283
Lebdeće čestice	0,00195

Simulacijski model (Slika 10.) je temeljen na dinamici vozila i implementiran je u softveru Simcenter Amesim. Model procjenjuje okretni moment na kotačima pomoću profila brzine određenog stila vožnje simuliranjem rada svih komponenata vozila koji utječu na ukupnu potrošnju.

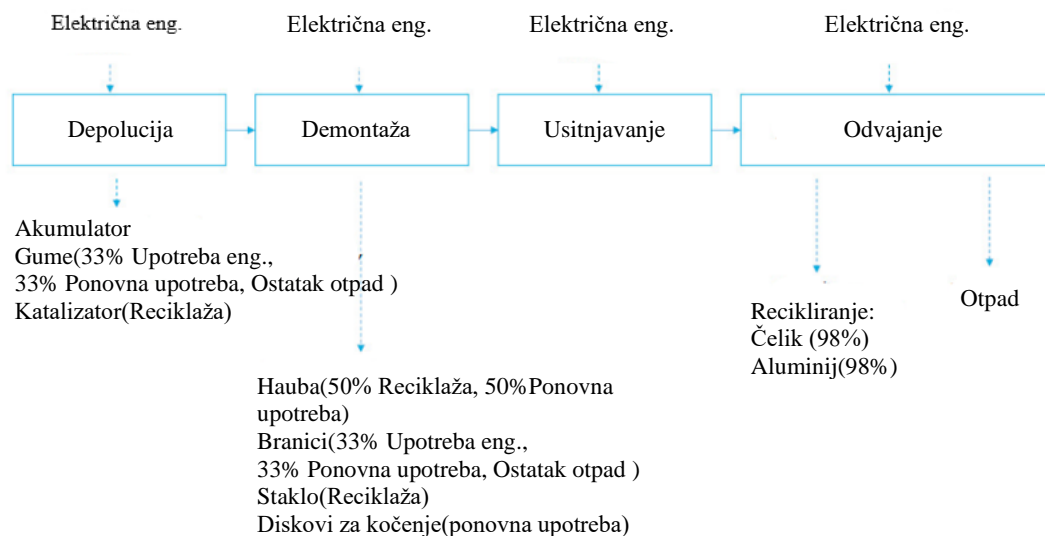


Slika 10. Simulacijski model [16]

Tehničke karakteristike automobila korištenog u modelu [16]:

- masa vozila, 1357 kg
- benzinski motor
- snaga, 93 kW
- prosječna potrošnja goriva, 5,8 l/100 km
- volumen motora, 1,5 l.

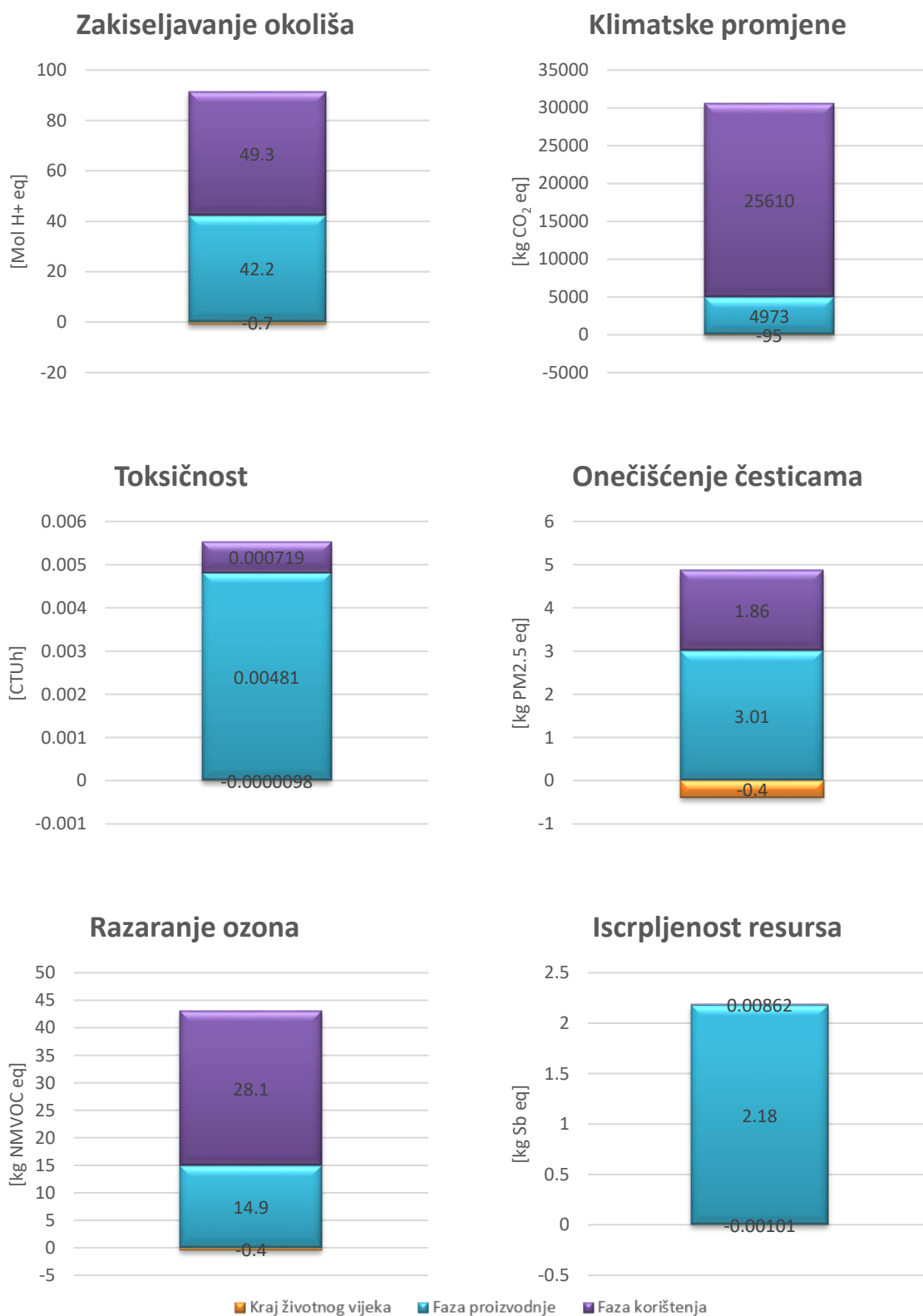
Na kraju životnog vijeka auta zbrinjavanje se vrši prema uputama određenima u normi ISO 22628:2002. Norma određuje model izračunavanja stope mogućeg recikliranja i stopu moguće ponovne upotrebe materijala za novo vozilo [19]. Prikupljaju se i podaci o potrebnoj energiji za demontažu vozila i recikliranje. Slika 11. prikazuje procese na kraju životnog vijeka, kao i sudbinu materijala. Nije uzeto u obzir što se događa s akumulatorom auta jer se pretpostavlja da ima sekundarnu upotrebu izvan definicije područja [16].



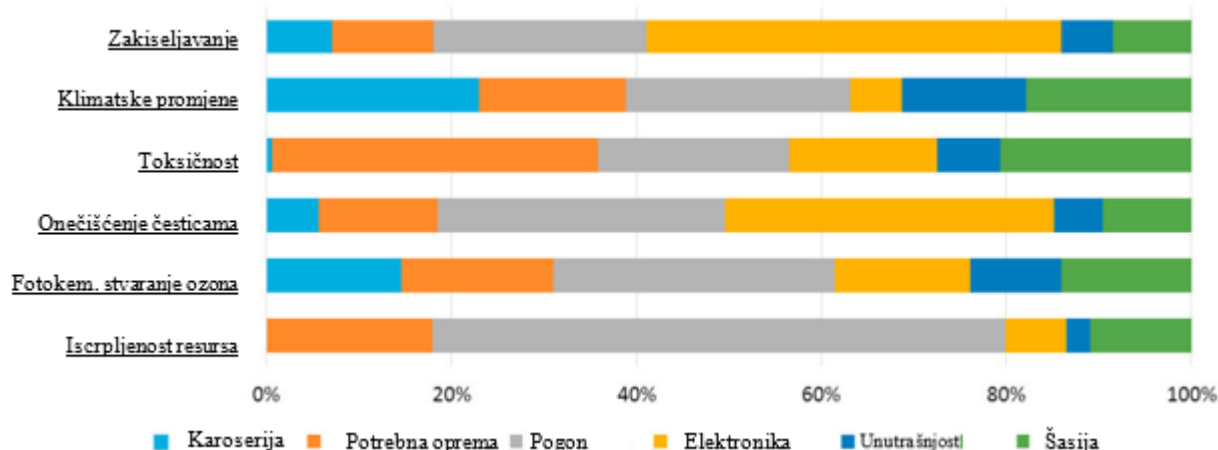
Slika 11. Tok zbiljanja na kraju životnog vijeka automobila [16]

### 5.3. Treća faza: Procjena utjecaja na okoliš

Za prikaz rezultata koristi se mjera GWP (eng. *Global Warming Potential*) koja je razvijena za lakšu usporedbu različitih ispušnih plinova i njihov štetan utjecaj na okoliš, prvenstveno na globalno zagrijavanje. Temelji se na mjeri zagrijavanja koju svaki plin pridonosi stvaranju efekta staklenika u atmosferi. Za primjer, jedan kilogram ugljikovog dioksida je ekvivalentan učinku jednog kilograma ugljikovog dioksida emisije, ili, emisija 1 kg dušikovog oksida jednaka je emisiji 298 kg ugljikovog dioksida, a emisija 1 kg metana jednaka je emisiji 25 kg ugljikovog dioksida [20]. Na slikama Slika 12. i Slika 13. prikazana su područja u kojima auto ima najveći negativan utjecaj. Slika 12. prikazuje koliko veliki utjecaj ima pojedina faza životnog vijeka auta. Slika 13. predočava koliku ulogu ima pojedini sklop vozila u fazi proizvodnje [16].



Slika 12. Utjecaj životnog vijeka na okoliš [16]



Slika 13. Utjecaj proizvodnje sklopova na okoliš [16]

#### 5.4. Četvrta faza: Interpretacija rezultata

Zaključuje se da životni vijek vozila ima najveći negativni utjecaj na klimatske promjene. Najveći doprinos tomu ima faza korištenja vozila, oko 70 %. Ostatak se najviše odnosi na procese u lancu opskrbe potrebnog goriva. Kod proizvodnje dijelova vozila najmanji negativan utjecaj na okoliš ima proizvodnja unutrašnjosti, to jest interijera vozila. Ostala proizvodnja sklopova ima podjednako negativan utjecaj, a razlog tomu je što većina sklopova koristi sličnu kombinaciju materijala dok kod interijera postoji veća sloboda izbora od kojih su najčešća opcija ekološki materijali poput kože izrađene od recikliranih plastičnih boca.

Na zakiseljavanje okoliša faza proizvodnje i faza korištenja imaju podjednak učinak. Glavni razlog što faza proizvodnje ima veliki utjecaj na zakiseljavanje okoliša su ispušni plinovi koji se javljaju tijekom proizvodnje platine korištene u proizvodnji katalizatora ispušnog sustava. U fazi korištenja do zakiseljavanja dolazi zbog ispuštanja sumpor dioksida i flegitivnih emisija iz lanca opskrbe gorivom [16].

Što se tiče toksičnosti, misli se na potencijalan rizik razvoja štetnih zdravstvenih učinaka izraženih kao broj slučajeva raka ili nekancerogenih bolesti povezanih s kemijskom masom koju su ljudi unijeli u sebe [21]. Takvi slučajevi se najviše javljaju u procesima povezanim s rudarenjem i proizvodnjom potrebnih metala i kemikalija. Isti ti procesi stvaraju probleme kod onečišćavanja zraka česticama. U onečišćavanju zraka česticama također ima ulogu lanac opskrbe gorivom i ispušni plinovi u fazi korištenja vozila. Do razaranja ozona dolazi usred



ispuštanja dušikovog oksida i dioksida vožnjom vozila, kao i dobavom i proizvodnjom potrebnog goriva [16].

Kraj životnog vijeka nije spomenut jer ako se koriste propisane norme recikliranja i rukovanja, kraj životnog vijeka ima zanemariv negativan utjecaj na okoliš spram faze proizvodnje i korištenja. Bez obzira što se u analizi koriste mnogi parametri, ne može se biti siguran u točnost analize jer se nisu svi procesi uzeli u obzir zbog nedostupnosti informacija.

## 6. SOFTVERI U ŽIVOTNOM VIJEKU PROIZVODA

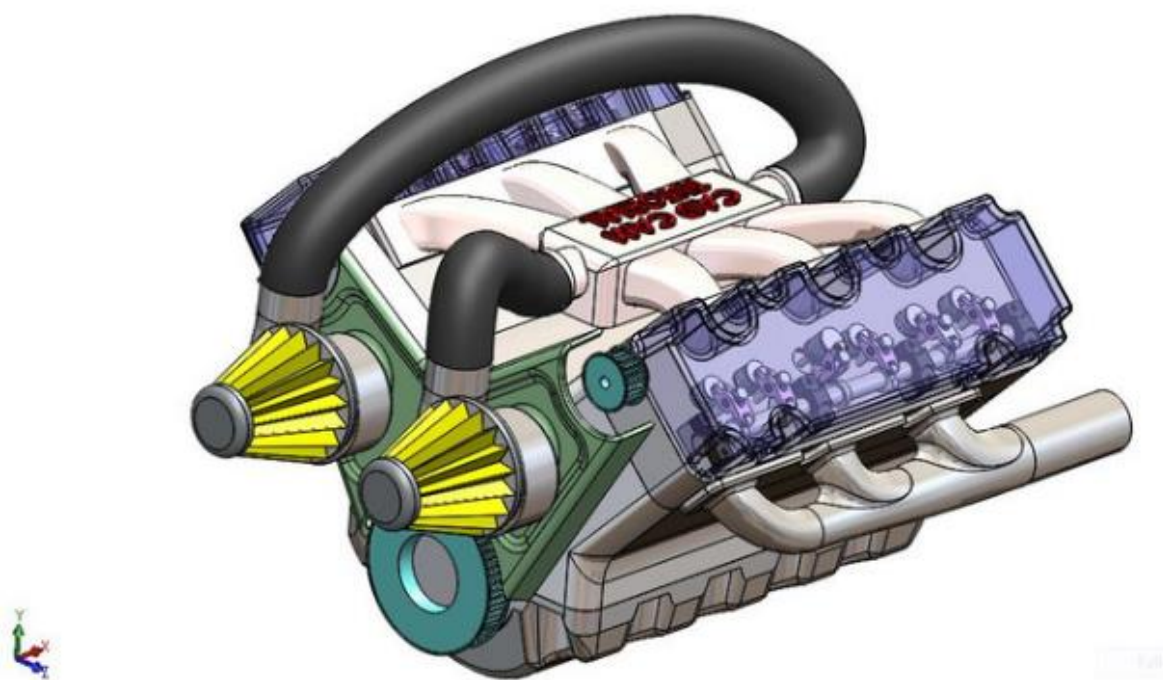
Upravljanje životnim vijekom proizvoda je osnovica svakog uspješnog poduzeća. Zbog konstantnog povećanja tržišta pojavljuje se sve više konkurencije te je potrebno brže predstaviti proizvod tržištu, a u isto vrijeme potrošači su sve zahtjevniji i proizvodi sve složeniji. Za ispunjenje takvih modernih zahtjeva nužna je PLM (eng. *Product Lifecycle Management*) softverska podrška. Efikasno upravljanje podacima postaje važnije nego ikada i današnja poduzeća zahtijevaju veću fleksibilnost, otpornost pa i suradnju kako bi ostala konkurentna i opstala na tržištu. Centraliziranje razvoja proizvoda oko zajedničke definicije proizvoda pruža inženjerima mogućnosti da nadmaše očekivanja kupaca te da isporuče izniman proizvod u kratkom vremenu [22].

Napredak tehnologije omogućuje ispunjenje zahtjeva. Posljednjih godina računalni programi su uvelike povećali dostupnost informacija o životnom vijeku proizvoda. Računalni programi poput CAx (eng. *Computer-Aided technologies*) i PLM softvera omogućuju pristup informacijama i podacima o proizvodu od ideje pa do kraja životnog vijeka [23]. Njihov potencijal je prepoznat i danas su ovi programi široko upotrebljavani u poduzećima diljem svijeta. Jedan od takvih programa, koji je najčešće korišten u autoindustriji, je CATIA (eng. *Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*). CATIA je softverski paket kojeg izdaje francusko poduzeće Dassault Systèmes i napisan je u programskom jeziku C++. Ovakvi programi omogućuju istodobno inženjerstvo, metodu razvoja proizvoda gdje se različite faze ispitivanja i projektiranja, mogu izvoditi istovremeno. Ovim pristupom smanjuju se troškovi i vrijeme kod razvoja proizvoda.



Slika 14. Logo CATIA-je [25]

Kod razvoja novih proizvoda među prvim koracima je izrada 3D modela, pomoću programskog paketa CAD (eng. *Computer-Aided Design*), kojeg u osnovi čine podaci geometrijske strukture proizvoda. Slika 15. potvrđuje da CAD model omogućuje vidjeti i ispitati sve komponente proizvoda, kao i one kojima u realnosti nije lako pristupiti.



Slika 15. 3D CAD model motora na unutarnje izgaranje [24]

Nekoliko funkcionalnosti za koje se CAD model može iskoristiti:

1. Pruža inženjerima mogućnost pripreme tehničke dokumentacije, radnih i sklopnih crteža, prikaz radnih komada, proračun i razvoj proizvoda. Popis dijelova i alata koji su potrebni za obradu gotovog proizvoda. Pripremu dodatne dokumentacije koja obuhvaća uvjete nabava, transporta, ispitivanja itd.
2. CAD model se također može upotrijebiti za metodu DFMA (eng. *Design for Manufacture and Assembly*). Metoda DFMA je pristup razvoju proizvoda koji se usredotočuje na poboljšanja konstrukcije proizvoda radi jednostavnosti izrade i skraćanja vremena sklapanja proizvoda. Uobičajeno se izrađuje više koncepata

proizvoda radi njihove usporedbe da se nađe proizvod koji će izazvati najpozitivnije reakcije potrošača, a opet da bude prihvatljiv za poduzeće. Također, u kombinaciji CAD modela i DFMA metodologije brzo se može doći do procjene troškova proizvodnje [26].

3. Bez CAD modela nije moguć CAM (eng. *Computer-Aided Manufacturing*). CAM nudi rješenja u samoj fazi proizvodnje, obično u procesima 2,5 i 5 osne obrade poput tokarenja, glodanja. Omogućuje maksimalnu kontrolu u odabiru alata i kvalitete obrade.
4. Osim što CAD model proizvoda sadrži sve geometrijske podatke proizvoda, pridruživanjem vrste materijala i njegovih svojstava omogućuju se dodatna ispitivanja i simulacije u isto vrijeme. Za primjer CATIA ima integrirane module za CAE (eng. *Computer-Aided Engineering*). Procjena naprezanja na temelju metode konačnih elemenata, procjene čvrstoće i toplinskih opterećenja, modul za proračun kretanja i vibracija itd. Omogućeno je oblikovanje i simulacija tehnoloških operacija i postupaka.

Kod upotrebe CAM programskih modula više se upotrebljava Siemens NX. CATIA nema sve potrebne alate koji se upotrebljavaju u proizvodnji. Osim već nabrojenog, NX kroz CAM modul obuhvaća programiranje CMM (eng. *Coordinate Measuring Machine*) strojeva, koji služe za mjerenje geometrije fizičkog proizvoda. Moguće je programiranje raznovrsnih robota korištenih u proizvodnim procesima. Ima ugrađene alate za optimiranje putanje alata i provjeru kolizije što smanjuje rizik od oštećenja i pogrešaka alata. Prije puštanja programa u proizvodnju može se simulirati obrada kako bi se utvrdilo da je sve uredno [43].



**Slika 16. Logo Siemens NX [43]**

Ako je poduzeću važna integracija i kompatibilnost s drugim programima, preporuča se koristiti program Creo. Creo sadrži jedinstvenu tehnologiju pomoću koje je jednostavno otvarati datoteke različitih formata bez potrebe njihove pretvorbe. Poduzeće koja razvija Creo je PTC i njihov daljnji fokus u razvoju programa orijentiran je prema novim tehnologijama poput AR (eng. *Augmented reality*) i IoT uređaja. Radi toga, poduzećima koja žele digitalnu transformaciju ili mogućnost prijelaza u industriju 4.0 preporuča im se koristiti Creo [44].



Slika 17. Logo Creo

Osim navedenog, postoje još mnoge korisne značajke ali potrebno je izdvojiti što navedeni programi dopuštaju povezivanje i dijeljenje podataka s drugim softverima. To daje ogromnu fleksibilnost inženjerima da koriste usko specijalizirane softvere za različite faze razvoja [28].

Jedan od takvih softvera razvija njemačko poduzeće SAP. Njihov softver SAP S/4HANA služi za upravljanje proizvodnjom i poslovanjem. SAP S/4HANA je najpopularniji softver među ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*) sustavima. U početku su sustavi ERP služili kao podrška financijskim i računovodstvenim odjelima, kasnije su se počeli upotrebljavati u planiranju i upravljanju proizvodnje. ERP sustav nije jedan program već integracija više programskih alata u jedan skup. Većina ERP sustava sadrži programe za upravljanje sljedećim u područjima [41]:

- nabave
- kvalitete i kontrole
- planiranja i razvoja
- održavanja
- financijama
- itd.

Integracijom tih alata povećava se produktivnost, smanjuju se troškovi zalihe, ubrzuje se proizvodnja i poboljšava se logistika cjelokupnog poduzeća [42]. ERP sustav sadrži bazu podataka o svim bitnim aspektima poduzeća. Znači da i sadrži podatke o proizvodu i sudjeluje u upravljanju njegovim životnim vijekom. Efikasnim upravljanjem lancem opskrbe i optimiranjem proizvodnih procesa skraćuje se vrijeme trajanja faze razvoja i proizvodnje. Proizvod provodi manje vremena u skladištu i smanjuje se vrijeme od narudžbe do isporuke, proizvod brže izlazi na tržište. Korištenjem alata za upravljanje kvalitetom poduzeće osigurava kvalitetu proizvoda, procesa i usluga. Smanjuje se broj slučajeva u kojima se javlja greška kod proizvoda i omogućuje se analiza tih grešaka kako bi se spriječio njihov ponovni nastanak. To utječe na životni vijek proizvoda jer se smanjuje broj reklamacija korisnika i istovremeno se poboljšava reputacija poduzeća. Upotrebom sustava ERP u računovodstvu mogu se smanjiti

troškovi životnog vijeka proizvoda. Analizom svih procesa i detaljnim pregledom troškova uočava se gdje dolazi do nepotrebnih gubitaka [41].

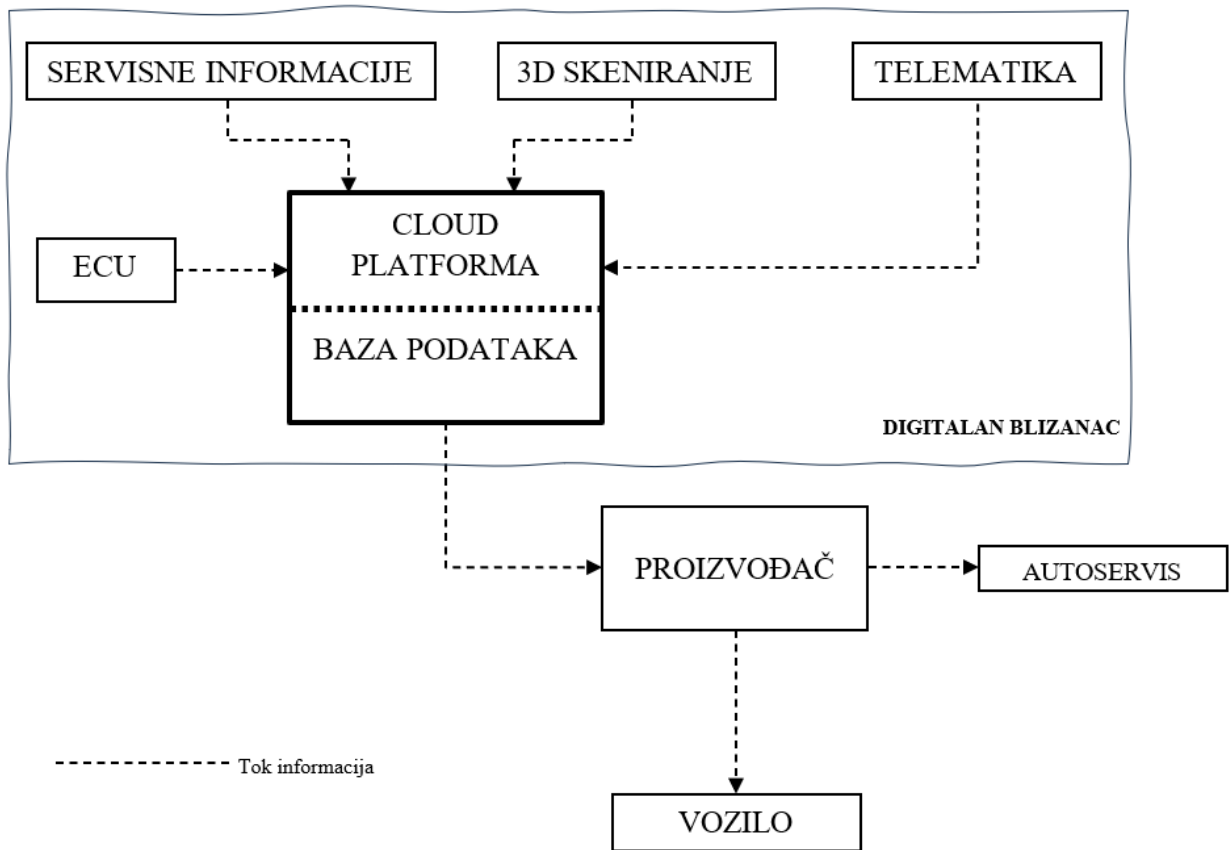
Također, jednostavni programi imaju ulogu u upravljanju životnim vijekom proizvoda. Neka poduzeća na svojim stranicama nude web konfigurator koji omogućuje korisnicima da odaberu svojstvo i izgled proizvoda. To omogućuje poduzeću da kod proizvoda s velikim izborom konfiguracije bude spremno na zahtjeve kupaca jer su već postavljeni opcije i pravila konfiguracije proizvoda. Smanjuje se potrebno vrijeme za prilagodbom proizvoda i ubrzava se proizvodnja.

Bez obzira na to što takvi programi imaju velike prednosti u razvoju proizvoda i njegovog životnog vijeka, nije učinkovito ograničiti njihovu uporabu samo za vrijeme razvoja i proizvodnje. Autoindustriju sačinjavaju mnogobrojni procesi i odluke, gdje se svaka odluka donosi na procjeni budućih događanja. Rane faze razvoja i proizvodnje su trenutci gdje te odluke imaju najveći utjecaj na kvalitetu, vrijeme isporuke, utjecaj proizvoda na okoliš, sigurnost, trošak i slično. [27] Sve su to samo procjene koje su se više nego jednom pokazale netočne. Zbog toga se u sljedećem poglavlju opisuje tehničko rješenje koje prikuplja podatke o vozilu u realnom vremenu.

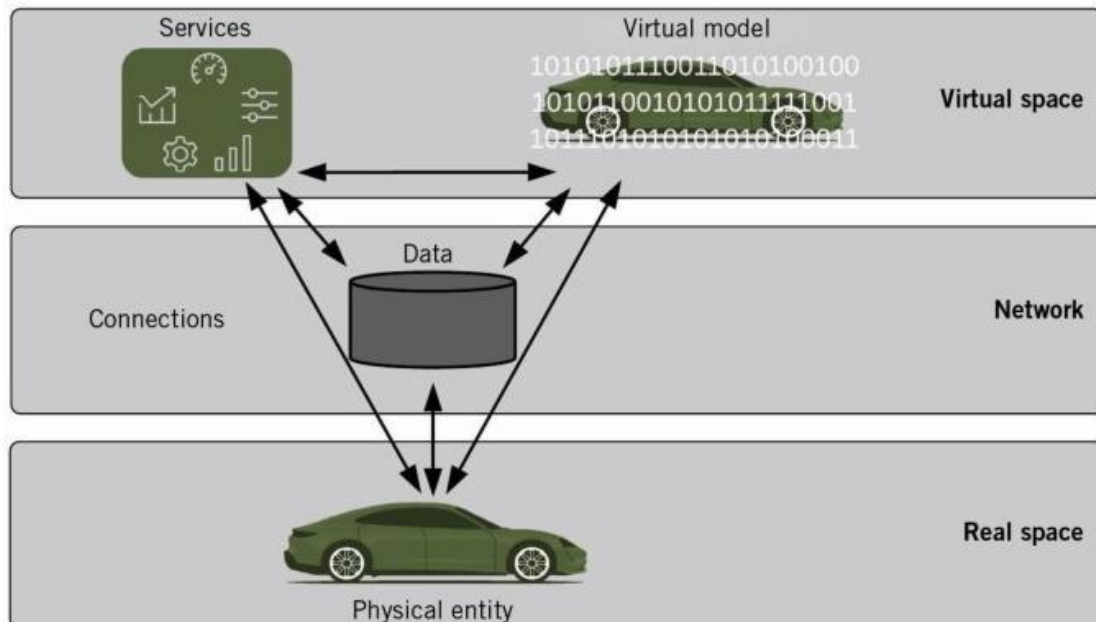
## 7. RAZVOJ DIGITALNOG BLIZANCA OSOBNOG VOZILA

Generalno gledajući, trajanje životnog vijeka osobnog vozila ovisi o odlukama donesenima za vrijeme razvoja i proizvodnje: no jednom nakon što vozilo dođe u ruke kupaca životni vijek uobičajeno presudno ovisi o ponašanju njegovog vlasnika. Proizvođač (proizvodno poduzeće) gotovo nema više nikakvu kontrolu nad proizvodom. Može se uočiti da sve više poduzeća pokušava to promijeniti jer shvaćaju da će tako pridobiti više kupaca. Sustavi koji se za to razvijaju ujedno pokušavaju omogućiti poduzećima da prikupljaju podatke o vozilu za vrijeme korištenja. Danas informacije postaju sve lakše dostupne i lako razmjenjive dok u isto vrijeme postaju najvrjedniji resurs svakog poduzeća. Velika prepreka je što zbog lake dostupnosti postoji velika količina neorganiziranih podataka. Shema sustava koji bi pomogao u uspostavi sustavnog korištenja podataka prikazana je na slici 18. Takav sustav ima velike prednosti, jer se svi potrebni podaci o vozilu nalaze na jednom mjestu. Inženjeri bi se mogli oslanjati na pouzdanost podataka za razvoj i održavanje proizvoda koji bi imali veliku ulogu u životnom vijeku proizvoda.

Za početak treba definirati tehnologiju digitalnog blizanca i objasniti koncept rada. Digitalan blizanc je digitalna preslika fizičkog proizvoda, ili procesa, koja pripomaže kod optimizacije proizvoda i poslovanja. Omogućava poduzećima osigurati digitalni otisak (eng. *digital footprint*) proizvoda od razvoja pa do kraja njegovog životnog vijeka. Iz digitalnog otiska inženjeri mogu bolje naučiti ne samo o fazi projektiranja već i o fazi korištenja proizvoda [29]. Digitalni blizanc se sastoji od tri dijela (Slika 19.): digitalni proizvod u virtualnom okruženju koji je ostvaren pomoću podataka i informacija iz fizičkog proizvoda [30].



Slika 18. Shematski prikaz digitalnog proizvoda vozila



Slika 19. Digitalan blizanac [38]



Ljudi često povezuju pojam digitalnog blizanca s CAD modelom, što i nije velika greška jer najčešće CAD model predstavlja digitalni proizvod. Sam CAD je kompletno izoliran u računalno simuliranom okruženju dok digitalan blizanac predstavlja proizvod kao digitalni profil proizvoda i procesa te sadrži sve sadašnje i prošle informacije događanja. Za primjer, to je integrirani model identičan fizičkom proizvodu čija je namjera detektirati sve nedostatke u proizvodnji i konstantno je ažuriran kako bi sadržavao sva trošenja nastala tijekom uporabe. U nekoliko riječi, to je senzorski digitalni model fizičkog proizvoda koji simulira objekt u fizičkom svijetu [29].

Važna komponenta digitalnog blizanca su podaci. Generalno, podaci se mogu svrstati u dvije grupe: podaci koji se dobivaju izravno iz proizvoda i podaci koji su kontekstualno vezani uz fizički proizvod. Kontekstualni podaci vezani uz fizički proizvod su podaci koji su vezani uz redovito održavanje, servis, lanac nabave, zamjena dijelova i izvješća o radu. Podaci koji se dobivaju izravno iz proizvoda obuhvaćaju podatke prikupljene pomoću senzora (naprimjer: tlak u gumama, temperatura motora, potrošnja goriva i slično).

Analizom prikupljenih podataka poduzeće može detektirati greške i ukloniti ih prije nego što dođe do većih problema, tako će produžiti životni vijek proizvoda i smanjiti negativan utjecaj na okoliš. Kod budućih proizvoda imat će bolje razumijevanje o njihovom korištenju te će moći točnije analizirati troškove, negativne utjecaje i drugo. Poduzeće će imati bolje razumijevanje o potrebama kupaca i razvijat će proizvode s boljim prihvaćanjem na tržištu.

## 7.1. Mrežna arhitektura digitalnog blizanca

Slika 18. prikazuje opću arhitekturu osmišljenog digitalnog blizanca vozila. Digitalan blizanac prikuplja informacije iz sljedećih umreženih izvora: sustav ECU, 3D skeniranje, telematski sustav i informacije prikupljene prilikom tehničkih pregleda. Informacije se spremaju u bazu podataka koja se nalazi na računalnom oblaku koji ima ulogu poslužitelja.

S velikim brojem vozila na cesti potrebno je koristiti mrežu koja će moći na vrijeme prenijeti i obraditi podatke. Najznačajnije stavke su IoT (eng. *Internet of Things*) i 5G mreža. "IoT je kolekcija ili skup stvari (objekata ili uređaja) koji su dizajnirani da bi bili upravljani te da bi pružali informacije bežičnom vezom preko interneta koristeći najčešće mobilnu aplikaciju za nadzor ili upravljanje" [32]. IoT zapravo služi za međusobno umrežavanje uređaja koji putem interneta razmjenjuju podatke, a pomoću tih podataka može se uređajem i upravljati.

Jednostavni primjer implementacije ove tehnologije u vozilima je Tesla automobil. Ako su vozilo i mobitel spojeni na internet može se upravljati određenim sustavima u vozilu preko mobilne aplikacije. Osim što se može manevrirati vozilom (izvan parkirnih mjesta i iza uglova) također takva implementacija pruža i sljedeće funkcije: otključavanje i zaključavanje automobila, upravljanje temperaturom, otvaranje i zatvaranje vrata i prozora, punjenje vozila i drugo [39].

Mreža korištena za komunikaciju između digitalnog i fizičkog proizvoda koristi 3 važne komponente u fizičkoj IoT mreži, implementirani IoT uređaji, SBS-ovi (eng. *Small-cell Base Stations*) i centralizirani MBS (eng. *Macro-cell Base Station*) za minimiranje potrebne energije mreže 5G. Svaki distribuirani IoT uređaj (senzori, kamere, računala..) prikuplja podatke koje je potrebno analizirati. Kako je za analizu podataka potrebno mnogo računalne snage, uređaji s ograničenim računalnim mogućnostima i baterijom možda neće ispuniti sve zadatke na vrijeme. Zato moraju ove zadatke rasteretiti rubnim poslužiteljima koji imaju intenzivnu računalnu snagu. Takve rubne poslužitelje sadrže SBS-ovi i oni mogu osigurati dovoljno računalne snage. Do potrebe za MBS-om dolazi ako u isto vrijeme SBS primi veliki broj zahtjeva koje ne može na vrijeme obraditi i dolazi do gubljenja paketa podataka. Potrebna je optimizacija resursa, propusnosti i snage prijenosa, a to MBS omogućuje. MBS sadrži rubni poslužitelj i DRL (eng. *Deep Reinforcement Learning*), dakle MBS ima dovoljnu snagu za računanje i komunikaciju, te nam pomoću DRL daje mogućnost obrade podataka pomoću umjetne inteligencije [33].

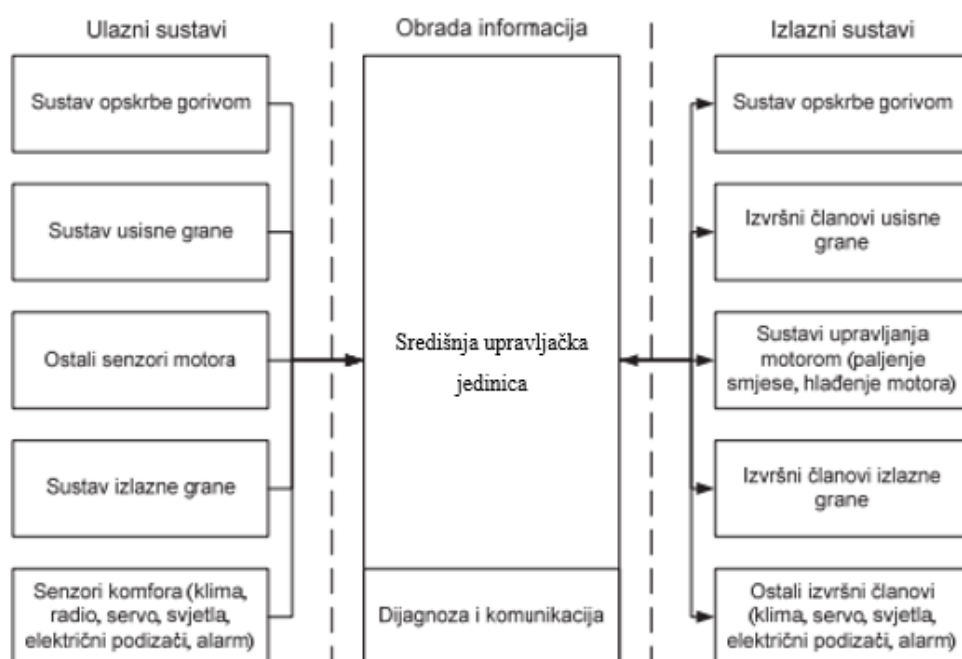
## 7.2. Komponente sustava

Sustav se sastoji od kombinacije već postojećih sustava, nije potrebna nadogradnja hardvera kod nijednog sustava osim kod 3D skeniranja. Razlog tomu je da postoji mogućnost kreiranja digitalnog blizanca za vozila koja su već u upotrebi.

### 7.2.1. Sustav ECU

ECU (eng. *Electronic Control Unit*) je mikroracunalo koje je sastavni dio svakog suvremenog vozila. Sva vozila sadrže nekoliko ECU-a gdje svaki ima zaduženje upravljati različitim podsustavima vozila. Suvremeni ECU predstavlja središnju upravljačku jedinicu motora. Funkcija ECU sustava je upravljanje različitim funkcijama vozila, poput motora, kočnica, navigacije, kontrola rada ventila, itd. U sustavu ECU (Slika 20. Sustav ECU [34]),

ulazni signali dolaze iz senzora u jedinicu za upravljanje motorom koja ih zatim obrađuje. Obradeni signali se zatim šalju u određene upravljačke podsustave. Pod sustavima ulazne grane podrazumijevamo senzore za mjerenje volumena zraka, sile na papučici gasa, temperature usisanog zraka. Sustavi izlazne grane služe za regulaciju emisije štetnih plinova i za smanjenje potrošnje goriva. Senzori koji omogućavaju tu regulaciju su lambda sonde ispred i nakon katalizatora, ventil povrata ispušnog plina i senzor za temperaturu ispušnog plina [34]. Kod električnih vozila sustav ECU se također koristi za sve aspekte upravljanja pogonom. To uključuje optimizaciju regenerativnog kočenja, kontrolu baterije i upravljanje energetsom potrošnjom kako bi se postigla najbolja energetska učinkovitost i performanse vozila. Komunikacija između senzora i upravljačke jedinice motora vrši se putem CAN (eng. *Controller Area Network*) digitalne mreže.



**Slika 20. Sustav ECU [34]**

Za prikupljanje informacija o vozilu iz sustava ECU koriste se čitači OBD (eng. *On-Board Diagnostics*). Sustav OBD sakuplja podatke iz različitih ECU jedinica i omogućuje praćenje i dijagnosticiranje različitih vozila. Čitači OBD se koriste kako bi se kroz prikupljene podatke mogli identificirati problemi i kvarovi u vozilu [40].

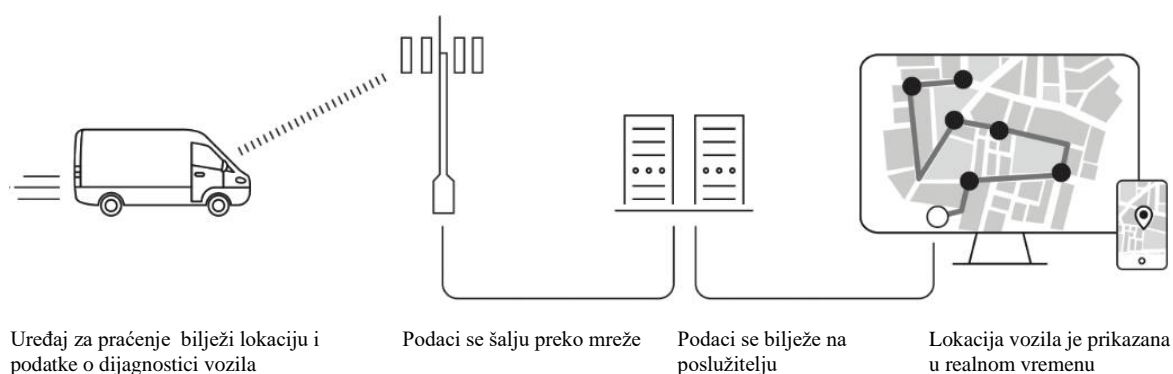
Implementacijom tehnologije digitalnog blizanca ne postoji potreba za korištenjem uređaja OBD jer se podaci šalju direktno u bazu podataka preko mobilne mreže iz koje su čitljivi.

### 7.2.2. Servisne informacije

Kada vlasnici vozila dovezu svoje automobile na tehnički pregled, proizvođači mogu prikupiti podatke o stanju vozila, popravcima, zamijenjenim dijelovima i drugim servisnim informacijama. To im omogućuje praćenje stanja i pouzdanosti vozila te pružanje potrebnih preporuka ili obavijesti o povlačenju dijelova ako se otkrije neki problem.

### 7.2.3. Telematika

Neka vozila već imaju ugrađene telematske sustave, a za ona koja ga nemaju, implementacija sustava je vrlo jednostavna i jeftina. Vozilo sadrži uređaj za praćenje lokacije vozila koji dozvoljava spremanje, slanje i preuzimanje podataka [35]. Taj uređaj se može povezati na CAN mrežu koju svako vozilo ima zbog prethodno opisanog sustava ECU. Lokacija se, zajedno s ostalim podacima vozila, preko mreže opisane u točki 7.1. sprema u bazu podataka. Osim lokacije podaci telematskog sustava mogu uključivati informacije o brzini, sudarima, potrošnji goriva, naglom kočenju ili ubrzavanju.



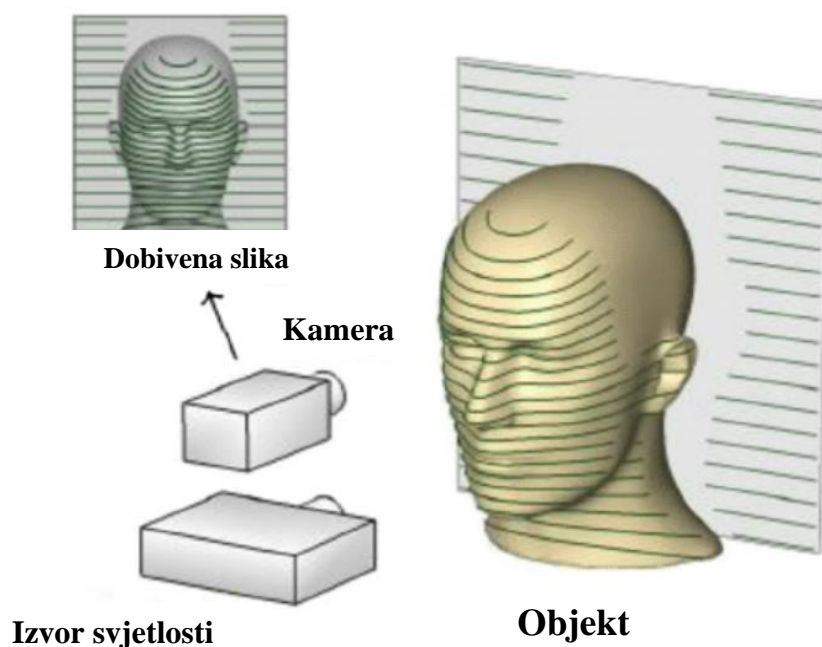
**Slika 21. Telematski sustav [35]**

### 7.2.4. 3D skeniranje

Proces pretvorbe fizičkog proizvoda u trodimenzionalnu digitalnu reprezentaciju naziva se 3D skeniranje. Analizira se fizički objekt, po potrebama i njegova okolina, kako bi se dobile bitne informacije za njegov oblik i ostale karakteristike izgleda [36]. Postoje mnogobrojni načini i tehnologije 3D skeniranja, a svaka od njih ima svoje prednosti i primjene.

Razmatraju se tri metode 3D skeniranja: fotogrametrija, skeniranje strukturiranim svjetlom i lasersko skeniranje.

Fotogrametrija je stvaranje trodimenzionalne slike iz niza fotografija koje određeni softver analizira povezivanjem karakterističnih točaka pomoću sofisticiranih algoritama računalnog vida. Stvara se oblak točaka koje zajedno stvaraju mrežu i predstavljaju skenirani objekt. Prednost ove metode je u tome što su potrebne samo fotografije objekta da bi ga se pretvorilo u 3D objekt. U skeniranju strukturiranim svjetlom (Slika 22.), objekt se skenira tako da se projiciraju uzorci svjetla na objekt. Uzorci svjetlosti su neki uobičajeni geometrijski oblici, poput mreže paralelnih pravaca. Kamera snima jednu ili više fotografija koje se kasnije analiziraju da bi se generirao 3D model. Dobiveni 3D modeli su veoma točni ali mana ove metode je potreba za mrakom i gubitak preciznosti kod skeniranja većih objekata [37].



Slika 22. Skeniranje strukturiranim svjetlom [37]

3D skeniranje laserom funkcioniра tako da se pomoću skenera u kameri mjeri vrijeme koje je potrebno laserskim snopovima da se odbiju od objekta i vrate. Poznavanjem brzine lasera i pomoću jednostavnih izračuna može se izračunati na kojoj udaljenosti se točka nalazi. Ponavljanjem tog procesa nekoliko puta dobiva se trodimenzionalni model fizičkog proizvoda [37]. Ova metoda je skuplja ali za potrebu digitalnog blizanca vozila je najbolji odabir jer pruža vrlo precizne rezultate u vrlo kratkom vremenu i može obuhvatiti velike površine vozila. Također, velika prednost ove metode je što se može koristiti spektar optičkog zračenja nevidljiv ljudskom oku. Podaci za stvaranje digitalnog blizanca pomoću laserskog 3D skeniranja

prikupljali bi se samo prilikom posjete tehničke stanice vozila jer bi to bilo prvo mjesto gdje bi se implementirala ova tehnologija. U budućnosti, s razvojem i pojeftinjenjem tehnologije lasersko skeniranje bi se implementiralo zajedno s kamerama za mjerenje brzine na cestama.



Slika 23. Lasersko skeniranje [37]

### 7.2.5. Baza podataka i platforma *cloud*

Prikupljeni podatci i informacije pohranjivanju se u bazu podataka spremljenu na računalni oblak Google Cloud. To je platforma koja sadrži paket usluga za „*cloud computing*“. Sadrži razne usluge poput pohranjivanja i upravljanje podataka, sigurnosti podataka, povezivanja, itd. Pristupiti Google Cloudu se može s bilo kojeg pametnog uređaja bilo gdje u svijetu, jedino je potrebna internetska veza. Odabran je Google Cloud jer ga je moguće povezati s velikim brojem raznih softvera i ima integriranu značajku pohranjivanja sigurnosnih kopija u određenim intervalima čime se sprječava gubitak podataka [30].

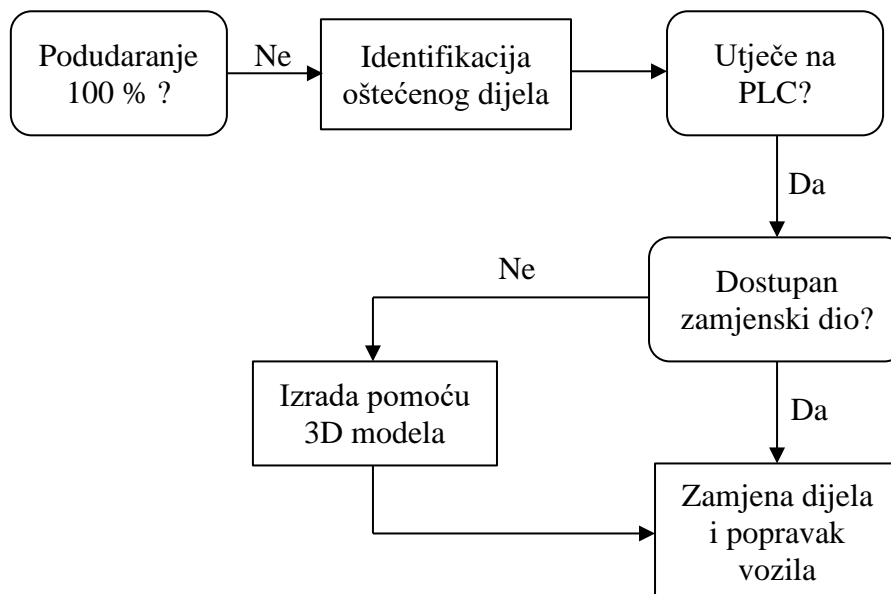
Baza podatka koja se nalazi na Google Cloudu kreira se pomoću softvera MySQL. MySQL je popularna relacijska baza podataka koja omogućava pohranu podataka u strukturiranim tablicama i prepoznavanje odnosa između njih. Ima odličnu kompatibilnost s raznim operativnim sustavima, zahtjeva vrlo malo računalnih resursa poput procesora, RAM-a, te ima optimiranu upotrebu memorije [30]. Izabran je zbog toga što podržava odnose između različitih tablica što je važno jer digitalni blizanac uključuje podatke iz različitih sustava: ECU, 3D skeniranje, telematika i servisne informacije. Različite vrste podataka organiziraju se u tablicama s definiranim stupcima. Naprimjer, tablica za informacije o motoru, tablica o ispušnim plinovima, tablica za povijest servisiranja itd.

### 7.3. Primjena digitalnog blizanca vozila

U ovoj točki navest će se neki od primjera na koji način digitalni blizanac vozila se može iskoristiti za vrijeme faze korištenja i procjene životnog vijeka.

U kombinaciji podataka prikupljenih s telematskim i ECU sustavom, može se smanjiti negativan utjecaj na okoliš i u isto vrijeme postići bolje performanse vozila. Pomoću telematskog sustava znala bi se trenutna lokacija vozila te bi ovisno vanjskim uvjetima, prikupljenima pomoću ECU sustava, digitalan blizanac mogao slati ažuriranja softvera upravljačkog sustava motora. Naprimjer, poznato je da je na visokim nadmorskim visinama manja gustoća zraka što sobom nosi nižu razinu kisika. U tom slučaju povećao bi se protok zraka povećanjem pritiska turbine kako bi se optimirala smjesa goriva i zraka za bolje performanse. Osim kontroliranja smjese goriva, ispušni plinovi se također mogu smanjiti nadziranjem rada katalizatora. Jasno je da s vremenom vozilo gubi snagu. Kada se prepozna gubljenje snage moguće je ažuriranjem ECU sustava ukloniti granicu maksimalnog broja okretaja koja je postavljena u tvorničkim postavkama radi sigurnosti i potrošnje goriva. Tako produžujemo životni vijek. Kod električnih vozila analiziranjem podataka telematskog sustava, usporedbom načina vožnje (naglo ubrzavanje i kočenje, prosječna brzina, potrošnja), postiže se bolja energetska učinkovitost. Praćenjem evidencije o satima korištenja pomoću telematike može se produžiti životni vijek preventivnim održavanjem.

Životni vijek proizvoda se također može produžiti 3D skeniranjem (Slika 24.). Pomoću dobivenog CAD modela može se usporediti trenutačno stanje vozila s prethodnim rezultatima skeniranja kako bi se provjerila poklapanja u dizajnu i specifikacijama. Detaljnim prikazom stanja karoserije, unutarnjih dijelova i drugih komponenti vozila otkrivaju se skrivena ili manja oštećenja vozila koja mogu utjecati na sigurnost i ispravnost vozila. Ako podudaranje modela nije 100 % traži se oštećeni dio vozila. Pomoću dobivenih podataka i servisnih informacija u slučaju oštećenja, ili trošenja, neke komponente mehaničar može naručiti novi dio. U slučaju da se takvi dijelovi više ne proizvode ili su nedostupni 3D model se može iskoristiti za izradu zamjenskog dijela s identičnim specifikacijama.

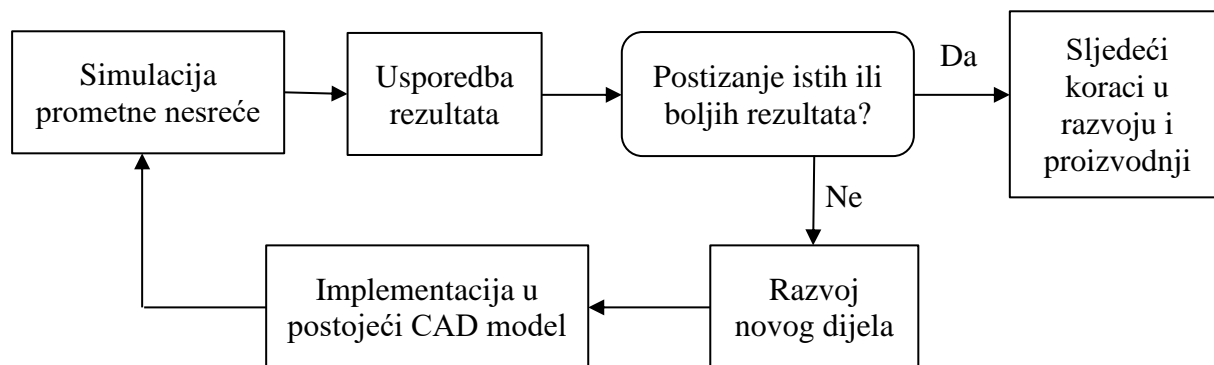


**Slika 24. Identifikacija oštećenja i popravak**

Poduzeće također može imati velike prednosti korištenjem digitalnog blizanca vozila. Osim što će pomoću prikupljenih podataka u budućnosti moći bolje provoditi analize životnog vijeka vozila, mogu imati bolju uštedu troškova, brži i jasniji razvoj proizvoda. S ubrzanom eksploatacijom zemljinih resursa poduzeća trebaju tražiti nove načine nabave materijala radi održive budućnosti. Digitalni bliznac se može iskoristiti za analizu stanja fizičkog vozila na kraju životnog vijeka i poduzeće donosi odluku da li im se isplati otkupiti vozilo za njegovu upotrebu u budućoj proizvodnji. Dijelovi vozila koji su u perfektnom stanju mogu se iskoristiti kao komponente za nova vozila, dok se ostatak reciklira i koristi za proizvodnju.

Također, podaci se mogu iskoristiti za nove modele vozila. Nove komponente se primjenjuju na digitalno vozilo u svrhu provođenja simulacija i testiranja. To omogućuje brže i jeftinije testiranje, identifikaciju potencijalnih problema ili načine poboljšanja performansi prije nego što se izvrši stvarna primjena na vozilu. Slika 25. prikazuje kako se podaci o prometnoj nesreći mogu iskoristiti za razvoj sigurnijeg vozila. Prikupljeni podaci o načinu vožnje iz ECU i telematskog sustava koristili bi se za izradu simulacije. U simulaciji bi se koristio posljednji skenirani 3D model vozila. Ako bi rezultati pokazali lošije rezultate od dobivenih za vrijeme razvoja i homologacije vozila, konstruirao bi se novi dio umjesto onog koji nije reagirao kako treba. Taj dio bi se implementirao u 3D model vozila kojim bi opet proveli simulaciju.





Slika 25. Razvoj novog vozila

## 8. ZAKLJUČAK

Životni vijek proizvoda može biti veoma kompliciran i nepredvidiv. Stoga se provode mnoge analize i postoje razni načini pomoću kojih se pokušava predvidjeti ponašanje proizvoda na tržištu i njegov utjecaj na okoliš. Uspješna procjena životnog vijeka rezultira velikim uspjehom, ne samo za jedno poduzeće već za cijelu industriju. Problem je u tome što su rezultati analize jasni tek na samom kraju životnog vijeka, a najteže je predvidjeti fazu kada je proizvod u fazi korištenja. Radi toga, u zadnjih nekoliko desetljeća, s razvojem tehnologije pojavljuju se mnogi alati koji olakšavaju predvidjeti životni vijek proizvoda.

U radu su navedene najčešće metode za analizu životnog vijeka koje su provedene već mnogo puta. Svaka metoda se provodi s namjerom da se predvidi samo jedan, premda vrlo važan, aspekt proizvoda. Obje metode imaju zajednički problem: za svaku primjenu, moraju se odrediti relevantni podaci i gdje ih vjerodostojno prikupiti. U radu je opisano koliko samo jedna tehnologija poput CAD-a može pomoći u tome, a neophodna je za stvaranje tzv. digitalnog blizanca vozila kao promatranog proizvoda. Digitalan blizanac vozila iznimno pridonosi vrijednosti procjene i produženju životnog vijeka jer se svi potrebni podaci o vozilu nalaze na jednom mjestu. Za praćenje upotrebe (korištenja) komponenti sustava korištena je kombinacija postojećih sustava u vozilima i tehnologija 3D skeniranja. Njihovim povezivanjem prikupljaju se informacije o proizvodu u zajedničku bazu podataka. Korištena mreža za povezivanja svih komponenti osigurava najbržu moguću komunikaciju bez gubljenja podataka.

Kontinuirano praćenje stanja vozila pomoću digitalnog blizanca produžuje životni vijek jer omogućuje preventivno održavanje i smanjuje negativan utjecaj proizvoda na okoliš. Također prikupljeni podaci imaju veliki značaj u budućem razvoju vozila i analizama. Postoji

mного простора za poboljšanja kroz nastavak rada. Postoje mogućnosti prikupljanja biometrijskih podataka za bolje dobivanje profila o načinu vožnje. U budućem radu potrebno je pronaći rješenje kako kroz 3D skeniranje češće dobivati podatke o vozilu i kako povećati mjere sigurnosti od neželjenog ponašanja uzrokovanog virusima i hakerskim napadima.

## 9. LITERATURA

- [1] <https://zg-magazin.com.hr/kruzno-gospodarstvo-trazi-drugaciji-nacin-razmisljanja-i-promjenu-navika/> Pristupljeno: 2023-08-02
- [2] S. Bulić: Kružno gospodarstvo. Završni rada. Fakultet ekonomije i turizma "Dr. Mijo Mirković", Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. 2019. Pristupljeno: 2023-08-02
- [3] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist> Pristupljeno: 2023-09-02
- [4] <https://hbr.org/1965/11/exploit-the-product-life-cycle> Pristupljeno: 2023-09-02
- [5] M. Šterpin: Analiza životnog vijeka proizvoda [Završni rad]. Rijeka: Filozofski fakultet, 2018. Pristupljeno: 2023-28-1
- [6] K. Beljo: Životni ciklus proizvoda – analiza slučaja na primjeru tvrtke „Kandit d.o.o.“ [Završni rad]. Osijek: Ekonomski fakultet, 2020. Pristupljeno: 2023-01-02
- [7] <https://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html> Pristupljeno: 2023-27-03
- [8] D. Pinturić: Procjena utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš [Diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015. Pristupljeno: 2023-05-02
- [9] <https://www.iso.org/standard/38498.html> Pristupljeno: 2023-27-03
- [10] A. Azapagic, R. Clift: The application of life cycle assessment to process optimisation. School of Engineering in the Environment, University of Surrey. 1999. Pristupljeno: 2023-26-03
- [11] I. Diaković: Trošak životnog vijeka u kontekstu javne nabave [Završni rad]. Varaždin: Fakultet organizacije i informatike, 2020. Pristupljeno: 2023-05-02

- [12] <https://hrcak.srce.hr/file/239681> Pristupljeno: 2023-01-04
- [13] <https://www.sigmaweb.org/publications/Public-Procurement-Brief-34-2016-Bosnian.pdf> Pristupljeno: 2023-07-04
- [14] <https://www.biznisinfo.ba/koliko-najveci-igraci-proizvedu-automobila-i-zarade-u-svako-minuti/> Pristupljeno: 2023-07-04
- [15] <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/svjetski-dan-bez-automobila/> Pristupljeno: 2023-10-04
- [16] F. D. Peroa, M. Delogua, M. Pierini: Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. Department of Industrial Engineering, University of Florence, Via di S. Marta 3, Florence 50139, Italy. 2018. Pristupljeno: 2023-28-04
- [17] <http://lightweight-alliance.eu/results/#1570617351582-a34afa58-dad9> Pristupljeno: 2023-01-05
- [18] <https://sphaera.com/product-sustainability-software/> Pristupljeno: 2023-01-05
- [19] <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/35061/47b6656c1be843deae8d9fdf9bccdbac/ISO-22628-2002.pdf> Pristupljeno: 2023-03-05
- [20] <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2019/37/greenhouse-gas-emissions-down/co2-equivalents#:~:text=This%20conversion%20is%20based%20on,kg%20of%20CO2%20emission.> Pristupljeno: 2023-03-05
- [21] [https://lc-impact.eu/HHhuman\\_toxicity.html#:~:text=%F0%9D%90%B8%F0%9D%90%B9%20%5Bdisease%20cases%2Fkgintake,in%20by%20a%20human%20population.](https://lc-impact.eu/HHhuman_toxicity.html#:~:text=%F0%9D%90%B8%F0%9D%90%B9%20%5Bdisease%20cases%2Fkgintake,in%20by%20a%20human%20population.) Pristupljeno: 2023-18-05
- [22] <https://www.3ds.com/products/product-lifecycle-management> Pristupljeno: 2023-18-05
- [23] [https://mcp-ce.org/wp-content/uploads/proceedings/2012/33\\_sievanen.pdf](https://mcp-ce.org/wp-content/uploads/proceedings/2012/33_sievanen.pdf) Pristupljeno: 2023-21-05
- [24] <https://grabcad.com/library/car-engine-8> Pristupljeno: 2023-21-05
- [25] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CATIA\\_Logotype\\_RGB\\_Blue.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CATIA_Logotype_RGB_Blue.png) Pristupljeno: 2023-02-06

- [26] [https://mcp-ce.org/wp-content/uploads/proceedings/2012/33\\_sievanen.pdf](https://mcp-ce.org/wp-content/uploads/proceedings/2012/33_sievanen.pdf)  
Pristupljeno: 2023-03-06
- [27] M. Lundin: Computer – Aided Product Development [Doctoral thesis]. Lulea University of Technology, 2015 Pristupljeno: 2023-03-06
- [28] [https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\\_224202.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_224202.pdf) Pristupljeno: 2023-05-06
- [29] <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html> Pristupljeno: 2023-10-06
- [30] R. Celjak: Implementacija tehnologije „digitalnog blizanca“ za analizu proizvoda tijekom faze korištenja [Završni rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2021. Pristupljeno: 2023-10-06
- [31] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, D. Fogli: A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. IEEE Access, vol. 7 Pristupljeno: 2023-08-06
- [32] <https://www.racunalo.com/vodic-za-razumijevanje-internet-stvari-internet-of-things-iot/> Pristupljeno: 2023-12-06
- [33] Y. Dai, K. Zhang, S. Maharjan, Y. Zhang: Deep Reinforcement Learning for Stochastic Computation Offloading in Digital Twin Networks. arXiv: 2011.08430v2 [cs.LG] 18 Nov 2020 Pristupljeno: 2023-14-06
- [34] <https://hrcak.srce.hr/file/127900> Pristupljeno: 2023-14-06
- [35] <https://www.verizonconnect.com/resources/article/what-is-telematics/#:~:text=Telematics%20provides%20a%20digital%20blueprint,measures%20and%20driver%20safety%20standards.> Pristupljeno: 2023-12-06
- [36] M. Đurković: 3D skeniranje objekta [Diplomski rad]. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2019. Pristupljeno: 2023-13-06
- [37] <https://bitfab.io/blog/types-of-3d-scanning/> Pristupljeno: 2023-13-06
- [38] <https://link.springer.com/article/10.1007/s38314-021-0667-y> Pristupljeno: 2023-23-06
- [39] [https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en\\_jo/GUID-F6E2CD5E-F226-4167-AC48-BD021D1FFDAB.html](https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_jo/GUID-F6E2CD5E-F226-4167-AC48-BD021D1FFDAB.html) Pristupljeno: 2023-24-06
- [40] T. Vaiti: Izrada sustava za online prikupljanje podataka s vozila opremljenih OBD uređajem [Završni rad]. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2020. Pristupljeno: 2023-25-06

- 
- [41] I. Tirić: Primjena ERP sustava za planiranje i upravljanje proizvodnjom [Završni rad].  
Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2021. Pristupljeno: 2023-30-06
- [42] <https://hrcak.srce.hr/file/41651> Pristupljeno: 2023-30-06
- [43] <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/manufacturing/> Pristupljeno: 2023-30-06
- [44] <https://nxrev.com/2018/10/creo-vs-catia/> Pristupljeno: 2023-30-06