

Izrada kataloga baterija

Oreč, Martin

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:235:650931>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Martin Oreč

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Nenad Bojčetić, dipl. ing.

Student:

Martin Oreč

Zagreb, godina.

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

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Nenadu Bojčetiću i kolegama iz tvrtke Rimac koji su mi pomogli i savjetovali me pri pisanju ovog rada.

Martin Oreč



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 Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Martin Oreč** Mat. br.: 0035198167

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izrada kataloga baterija**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Creation of battery catalogue**

Opis zadatka:

U cilju unapređenja procesa konstruiranja baterija (za električne automobile) neophodno je omogućiti pregled i uporabu postojećih tehničkih i tehnoloških rješenja. U tu svrhu je potrebno izraditi katalog za "Battery system engineering" odjel, tvrtke RIMAC, koristeći mogućnosti 3DEXPIRENCE programskog paketa.

U radu je potrebno:

- Analizirati dostupna tehnička i tehnološka rješenja sustava baterija.
- Analizirati i opisati proces konstruiranja baterija.
- Na osnovu prethodnih analiza predložiti parametre za pretraživanje te strukturu kataloga.
- Izraditi katalog koristeći mogućnosti 3DEXPIRENCE programskog paketa.
- Testirati uporabu kataloga u realnim uvjetima.

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

Zadatak zadan:

5. ožujka 2020.

Datum predaje rada:

7. svibnja 2020.

Predvideni datum obrane:

11. – 15.5.2020.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Nenad Bojčetić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA (<i>PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT-PLM</i>).....	1
1.1.1	Što je PLM.....	2
1.1.2	Povijest PLM-a.....	3
1.1.3	Proizvod.....	3
1.1.4	Životni ciklus proizvoda.....	4
1.1.5	Upravljanje.....	6
1.1.6	Vizija PLM-a: <i>Single source of truth</i>	6
1.1.7	Prednosti ostvarene uvođenjem PLM-a.....	7
1.2	Upravljanje podacima o proizvodu (<i>Product Data Management - PDM</i>).....	8
1.2.1	Motivacija za uvođenje PDM-a.....	9
1.3	PLM programska rješenja na tržištu.....	10
1.3.1	Upchain.....	10
1.3.2	Siemens NX.....	11
1.3.3	3DEXPIRIENCE.....	11
1.4	Opis implementacije PLM-a u firmi Rimac-automobili.....	13
1.4.1	Rimac automobili d.o.o.....	13
1.4.2	PLM u tvrtki Rimac automobili.....	13
2	Konstruiranje baterijskih paketa.....	16
2.1	Uvod.....	16
2.2	Glavni dijelovi baterijskog sustava kod električnih automobila.....	16
2.3	Baterijske ćelije.....	17
2.3.1	Tipovi ćelija.....	19
2.4	Primjena metodologije robusnog dizajna za izradu baterijskih paketa za električne automobile.....	22
2.4.1	Granice sustava za baterijski paket električnog automobila.....	23
2.4.2	Faktori šuma (buke).....	24
2.4.3	Tehničke specifikacije baterije.....	25
2.4.4	P-dijagram za baterijski paket za električni automobil.....	26
2.5	Pregled tehničkih rješenja za ostvarenje funkcije baterijskog paketa.....	27

2.5.1	Toplinsko širenje.....	28
2.5.2	Vibracijska izolacija.....	30
2.5.3	Sigurnost pri sudaru	31
2.5.4	Odabir materijala za izradu baterijskog paketa.....	32
2.5.5	Pozicioniranje i konfiguracija baterijskog paketa.....	33
3	Izrada kataloga za „Battery system engineering“ odjel firme Rimac-automobili	35
3.1	Katalog unutar 3DEXPIRIENCE programa	35
3.2	Izrada kataloga za baterije.....	36
3.2.1	<i>Structure</i> (Strukturni dio).....	38
3.2.2	<i>Thermal Management</i> (Toplinsko upravljanje)	39
3.2.3	<i>Module</i> (Modul)	40
3.2.4	<i>Power Distribution Unit (PDU)</i> (Jedinica za prijenos snage)	40
3.2.5	<i>Busbars</i> (Kablovi).....	40
3.2.6	<i>Wiring</i> (Ožičenje).....	41
4	Uporaba kataloga	42
4.1	Unošenje dijelova (podataka) u katalog.....	42
4.2	Pregledavanje kataloga	43
4.3	Prednosti kataloga	45
4.4	Nedostatci kataloga	45
5	ZAKLJUČAK.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1 PLM [15].....	2
Slika 2 Razvoj PLM-a [2]	3
Slika 3 Proizvod	4
Slika 4 Životni ciklus proizvoda [16].....	5
Slika 5 Faze životnog ciklusa proizvoda [16]	6
Slika 6 <i>Single source of truth</i> [2]	7
Slika 7 PDM u sastavu PLM-a [3]	9
Slika 8 3DEXPIRENCE [6].....	11
Slika 9 Aplikacije unutar 3DEXPIRENCE software-a [6]	12
Slika 10 Rimac C1 [7].....	13
Slika 11 PLM metodologija tvrtke Rimac-automobili [17]	13
Slika 12 Atributi	14
Slika 13 Spoj baterijskih ćelija [9]	16
Slika 14 Glavni dijelovi baterijskog paketa [9].....	17
Slika 15 Rad Li-ion baterije [9].....	18
Slika 16 Cilindrična ćelija [9]	20
Slika 17 Prizmatična ćelija [9]	21
Slika 18 Vrerćica [9]	22
Slika 19 P-dijagram	23
Slika 20 Baterija kao sustav [8].....	24
Slika 21 P-dijagram baterijskog paketa.....	27
Slika 22 Toplinske barijere [11].....	29
Slika 23 Razdjelnici ćelija [11]	29
Slika 24 Sustav za odvodnju dimnih plinova [11]	30
Slika 25 Sistem za povezivanje modulu i prigušenje vibracija [11]	31
Slika 26 Zaštita od utjecaja bočnog sudara [12]	32
Slika 27 „T oblik“ baterijskog paketa u automobilu Chevrolet Volt [8]	33
Slika 28 „ <i>Floor</i> “ konfiguracija baterijskog paketa (Tesla Model S)	34
Slika 29 Nisanova konfiguracija baterijskog paketa [11]	34
Slika 30 3DEXPIRENCE Katalog.....	35
Slika 31 Pregledavanje kataloga unutar <i>Physical Product</i> aplikacije	36

Slika 32 Baterijski paket za C2	36
Slika 33 Podjela kataloga	37
Slika 34 <i>Battery System Engineering Catalog</i>	38
Slika 35 Strukture-Fasteners	39
Slika 36 <i>Thermal Management-Clamps</i>	40
Slika 37 Unošenje komponente u katalog 1	42
Slika 38 Unošenje komponente u katalog 2	43
Slika 39 Pregledavanje kataloga 1	44
Slika 40 Pregledavanje kataloga 2	44

POPIS TABLICA

Tablica 1 Usporedba baterijskih ćelija	19
Tablica 2 Tehničke specifikacije baterija	26

SAŽETAK

Sveukupni napredak tehnologije ima veliki utjecaj i na razvoj cestovnog prometa, koji zadnjih nekoliko desetljeća, zbog sve veće zagađenosti okoliša, ima trend porasta broja električnih vozila na cestama. Jedan od ključnih faktora daljnjeg razvoja električnih vozila su baterijski sustavi, koji još uvijek cjenovno ne mogu konkurirati vozilima s motorima s unutarnjim izgaranjem. Iako sam razvoj i unaprjeđenje baterija više ovisi njihovoj kemijskoj konfiguraciji, konstruiranje baterijskih paketa ima veliku ulogu u konačnim performansama baterijskih paketa. U svrhu unaprjeđenja procesa konstruiranja baterijskih paketa izrađuje se katalog za pohranu i pregledavanje dosadašnjih rješenja. Katalog se izrađuje u sklopu upravljanja životnim ciklusom proizvoda za baterijski odjel tvrtke Rimac-automobili.

Ključne riječi: upravljanje životnim ciklusom proizvoda, baterijski paket, katalog

SUMMARY

The overall advancement of technology has also had a big impact on the development of road transport, which has a trend of increasing number of electric vehicles over the last few decades, due to increasing environmental pollution. One of the key factors for the further development of electric vehicles is development of battery systems, which still cannot compete in price with internal combustion engine vehicles. Although the development and improvement of batteries itself depends more on their chemical configuration, the design of battery packs plays a large role in the final performance of battery packs. In order to improve the process of battery pack design, the catalog is created for storing and reviewing past solutions. The catalog is made as part of the product lifecycle management for Battery System Engineering department in company Rimac-automobili.

Key words: product lifecycle management, battery pack, catalog,

1 UVOD

Uvođenje električnih vozila na ceste jedan je od najvećih izazova današnjeg inženjerstva. Jedna od najvećih motivacija za uvođenje električnih vozila u cestovni promet je sve veća zagađenost zraka i okoliša, koja je uvelike uzrokovana ispušnim plinovima koji nastaju pri izgaranju fosilnih goriva. Uz sprječavanje zagađenja, električni automobili također imaju i druge prednosti u odnosu na vozila pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem, kao što je npr. efikasniji prijenos energije, lakša kontrola brzine, bolja upravljivost i druge. Najvažniji razlog ne konkurentnosti električnih automobila u odnosu na automobile s motorom s unutarnjim izgaranjem jesu baterije. Baterije i dalje imaju puno nižu gustoću energije, odnosno snage u odnosu na fosilna goriva i cijena kWh baterije je još uvijek previsoka da bi konkurirala fosilnim gorivima.

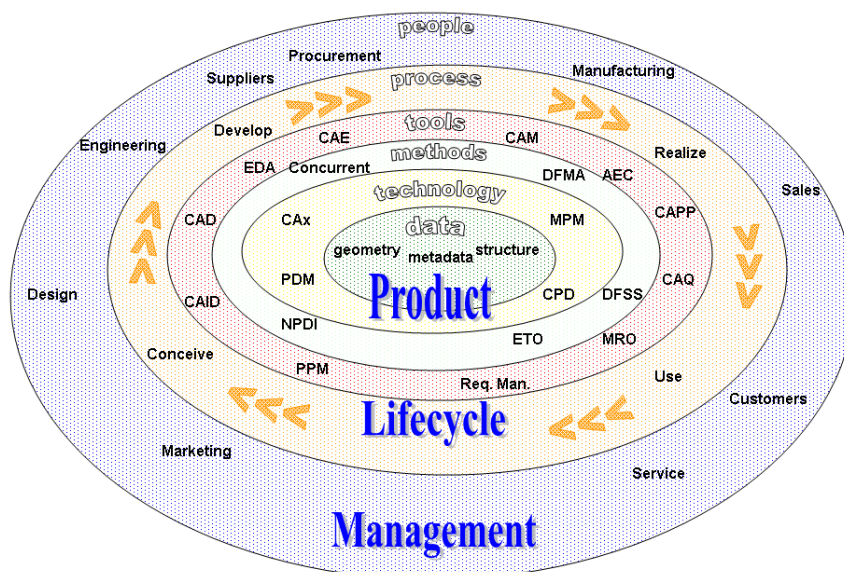
Tvrtka Rimac-automobili jedna je od rijetkih tvrtki u Hrvatskoj koja se bavi elektrifikacijom cestovnog prometa te na tržištu nudi razna rješenja iz ovog područja, a jedna od najvažnijih dijelova koje razvija jesu baterijski sustavi. Tvrtka ima iznimno uspješne projekta iz ovog područja, a u svrhu daljnjeg poboljšanja poslovnog procesa odjela koji se bavi baterijskim sustavima predlaže se izrada funkcionalnog kataloga za pregledavanje i unosenje do sada korištenih dijelova i komponenti. Cilj ovoga rada je izraditi katalog, koji će omogućiti inženjerima pohranu do sad stečenih znanja, odnosno tehničkih i tehnoloških rješenja. Budući da tvrtka koristi programski paket 3DEXPIRIENCE, koji je PLM platforma, katalog se izrađuje unutar tog programskog paketa.

1.1 UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM CIKLUSOM PROIZVODA (*PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT-PLM*)

Product Lifecycle Management (PLM) je sustav upravljanja životnim ciklusom proizvoda koji obuhvaća upravljanje svim podacima i informacijama vezanim za razvoj novog ili aktualizaciju već postojećeg proizvoda.

PLM je holistički pristup upravljanja proizvodom koji zahvaća cjelokupni životni ciklus proizvoda – od razvoja i proizvodnje, prodaje i održavanje pa do rastavljanja i zbrinjavanja proizvoda.

Kao što je prikazano na Slika 1, PLM uključuje mnoge aktivnosti, alate i ljude. PLM upravlja i raspolaže podacima kao što su geometrija i struktura proizvoda, koristi razne tehnologije kao što su PDM, CAx (*Computer Aided x*), MPM (*Media Process Management*), CPD (*Collaborative Product Development*). Razne metodologije kao što su DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) metoda, DFSS (*Design for Six Sigma*), ETO (*Engineer to Order*) i druge. PLM koristi i razne alate od kojih su neki CAE, CAD, CAM, AEC i drugi Software-i. Ljudi uključeni u PLM su proizvođači, prodavači, korisnici, servisni djelatnici, marketinški stručnjaci, dizajneri, inženjeri, dobavljači i nabavljači.



Slika 1 PLM [15]

1.1.1 Što je PLM

Postoji puno teoretičara koji su nastojali opisati ovaj pojam. Prema Abramovici-u je PLM strateški pristup upravljanju proizvoda, koji se sastoji od integriranih metoda i alata koji se koriste za kooperativno stvaranje, upravljanje i primjenu svih inženjerskih informacija povezanih s proizvodima u cjelokupnom životnom ciklusu proizvoda. Po njemu, PLM ne treba shvatiti kao informacijsku tehnologiju (IT) već kao koncept upravljanja koji IT sustavi koriste kao podršku.[2]

Grievess vidi PLM kao integrirani, informacijski zasnovan pristup koji uključuje ljude, procese i tehnologije u svim fazama životnog ciklusa proizvoda, od prvih ideja do proizvodnje uporabe, održavanja i odlaganja. PLM sadrži informacije koje se mogu koristiti kako bi se izbjeglo gubljenje vremena, truda i materijala na cijeloj tvrtki i opskrbnom lancu. [2]

Prema J. Starku-u PLM je poslovna aktivnost upravljanja tvrtkom na najučinkovitiji način. PLM je sustav upravljanja proizvodima tvrtke. To nije samo upravljanje jednim proizvodom tvrtke već integrirano upravljanje cjelokupnim portfoliom proizvoda tvrtke. Na najvišoj razini, cilj PLM-a je povećati prihod od proizvoda, smanjiti troškove povezane s proizvodom, maksimizirati vrijednosti portfolija proizvoda i maksimizirati vrijednost sadašnjih i budućih proizvoda za klijente i dioničare. [1]

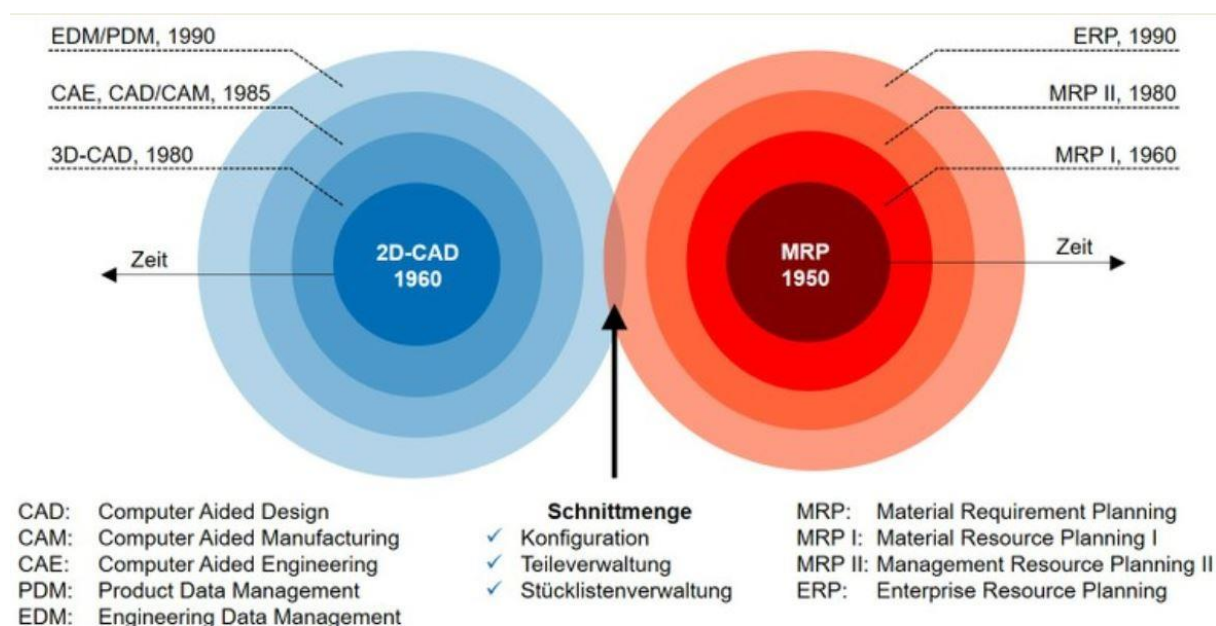
Prema Eigneru, zadatak PLM-a je interdisciplinarno modeliranje proizvoda, koje uključuje cilj neprekidnog opisa proizvoda tijekom njegovog razvoja. U modelima upravljanja zahtjevima iz različitih razvojnih odjela moraju se preslikati u holistički model ili dopuniti opsežnost pratećim procesom na način određen specifičnim disciplinama.[2]

Prema Bourasu, „PLM sa zatvorenom petljom“ predstavlja koncept za tehničku infrastrukturu PLM sustava. Podaci se razmjenjuju i koriste u svim fazama životnog ciklusa proizvoda. Na taj način mogu, ne samo razvojni inženjeri koristiti podatke iz faze uporabe, već i servisni tehničari mogu koristiti podatke iz faze razvoja proizvoda. Stvaranje i uporaba podataka,

informacija i znanja od strane svih sudionika koji su uključeni u životni ciklus proizvoda zatvara krug PLM-sustava. [2]

1.1.2 Povijest PLM-a

Da bismo razumjeli strukturu, funkcije i mogućnosti trenutnih softverskih rješenja za PLM potrebno je znati tijek njihovog razvoja. Slika 2 daje kratak pregled razvoja PLM sustava. U tom se kontekstu može vidjeti da je razvoj PLM rješenja oblikovan različitim ciljevima CAD-a, ERP / PPS-a i neovisnih pružatelja usluga. Između 1950-ih i 1980-ih CAD i MRP programski sustavi razvijaju se neovisno jedan od drugog. 1990-ih se razvija PLM koji integrira oba dva sustava i koristi ih za praćenje životnog ciklusa proizvoda.



Slika 2 Razvoj PLM-a [2]

Slično kao i *Enterprise Resource Planning* (ERP), PLM se pojavio kao daljnji razvoj koncepata i tehnologija, koji su u početku razmatrani neovisno jedan o drugom. Tek s povećanjem zrelosti postalo je moguće integrirati te koncepte i interpretirati ih na takav način da podržavaju različita područja poduzeća i omogućuju međusobnu suradnju. Ti koncepti i tehnologije uključuju računalno potpomognuto oblikovanje (CAD), upravljanje inženjerskim podacima (EDM), upravljanje podacima o proizvodima (PDM) i računalno integriranu proizvodnju (CIM).

Predmetno područje upravljanja životnim ciklusom također se kontinuirano razvija u znanosti. U nastavku bi se trebali predstaviti pristupi koji daju pregled sličnosti i razlika između znanstvenih pristupa u području upravljanja životnim ciklusom proizvoda. [2]

1.1.3 Proizvod

Proizvod je ono što tvrtka nudi na tržištu. Proizvod može biti stolica, zrakoplov, knjiga, usluga i slično, sve što za neku tvrtku ostvaruje prihod (Slika 3). Bez proizvoda poduzeće ne treba postojati jer nema nikakvih korisnika. Proizvod je ono na čemu tvrtka ostvaruje svoju

dobit, stoga je proizvod od krucijalne važnosti za tvrtku. Dobar proizvod donosi i dobru profitabilnost.

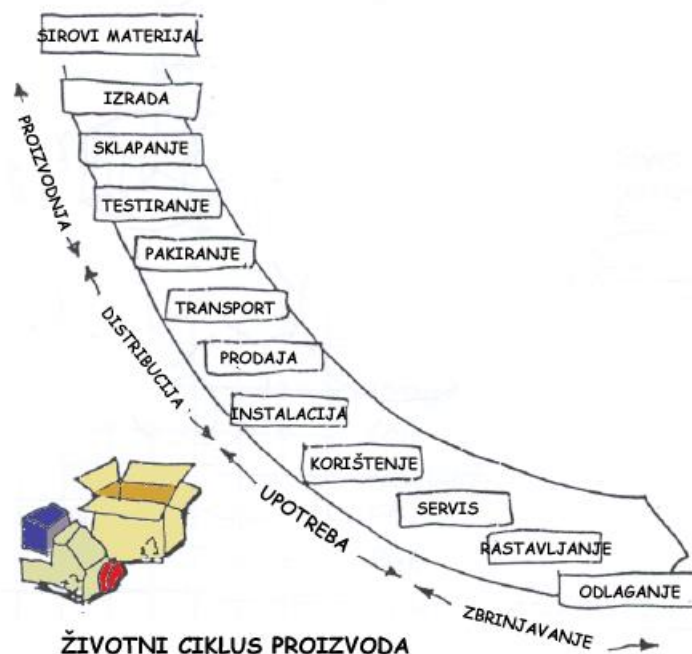


Slika 3 Proizvod

1.1.4 Životni ciklus proizvoda

Prema [1] postoji pet faza u životnom ciklusu proizvoda . U svakoj od ovih pet faza, proizvod je u drugom stanju. Tijekom idejne faze proizvod je ideja u glavama ljudi. Tijekom faze definicije ideje se pretvaraju u detaljan opis. Do kraja faze realizacije proizvod poprima svoj konačni oblik (npr. automobil) u kojem ga klijent može koristiti. Za vrijeme faze upotrebe / podrške, proizvod je kod kupca koji ga koristi. Naposljetku proizvod prelazi u fazu u kojoj više nije korišten. Umirovljen od strane tvrtke, a zbrinut od strane korisnika. Specifične aktivnosti koje se odvijaju tijekom životnog ciklusa razlikuju se od jednog industrijskog sektora do drugog.

Na Slika 4 je prikazan jedan od načina na koji se može promatrati životni ciklus proizvoda s njegovim glavnim fazama, proizvodnja, distribucija, upotreba i zbrinjavanje, te aktivnostima koje pojedine faze uključuju.

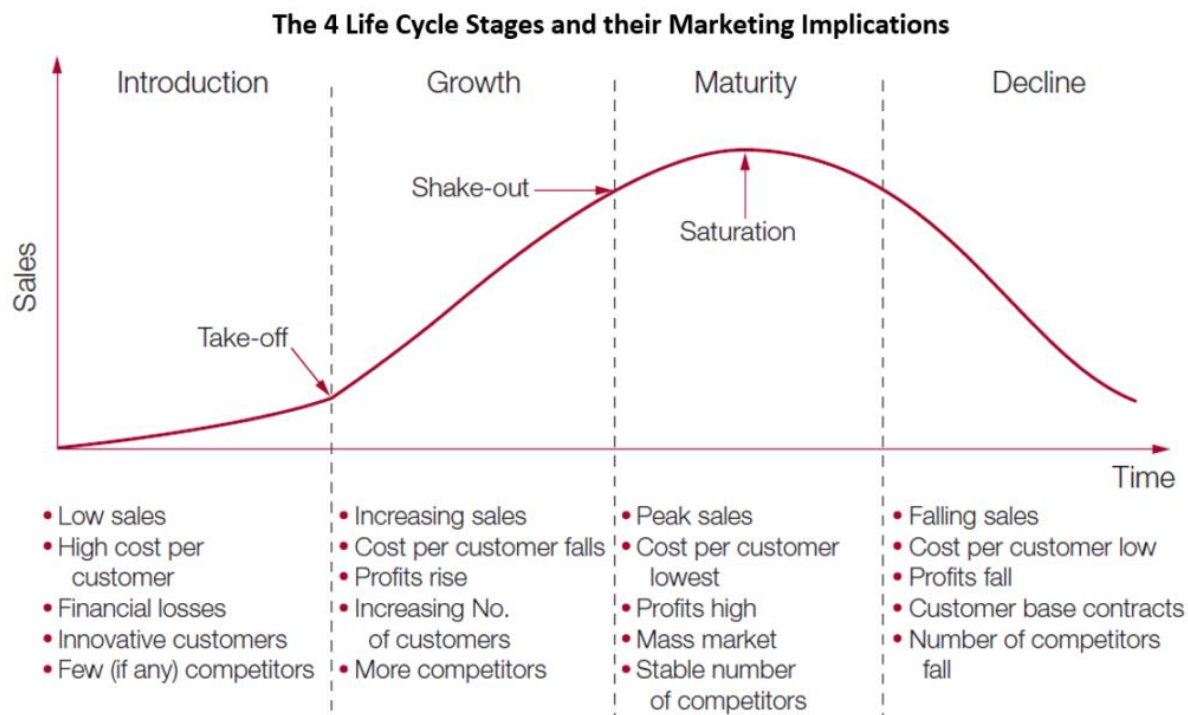


Slika 4 Životni ciklus proizvoda [16]

Treba imati na umu da različiti sudionici u životnom ciklusu proizvoda imaju drugačije poglede na životni ciklus proizvoda. Proizvođači i korisnici imaju drugačiji pogled na životni ciklus proizvoda. Korisnik proizvoda vidi četiri faze životnog ciklusa proizvoda: idejni začetak, realizacija, korištenje, raspolaganje. Proizvođač vidi pet faza životnog ciklusa ali drugačije: idejni začetak, definicija proizvoda, realizacija, podrška, zastara proizvoda.

S gledišta marketinga postoje četiri faze kroz koju proizvod prolazi: uvođenje, rast, zrelost i pad. Vidi Slika 5. S gledišta odjela za razvoj proizvoda postoji četiri faze: uvođenje na tržište, porast tržišta, tržišna zrelost i pad prodaje. Moguće je u pojedinim fazama uzimati drugačije pristupe identitetu proizvoda, cijeni i prodajnoj strategiji.

S gledišta očuvanja okoliša također postoji životni ciklus proizvoda. Sirovi materijal (npr. ulje, aluminij, itd.) je izvađen iz zemlje, zatim je taj sirovi materijal procesuiran potom iskorišten u proizvodnji, proizvod je korišten i na kraju kada proizvod više nije korišten ili je nepotreban završava na otpadu, od kuda je može ponovo koristiti, reciklirati ili zbrinuti.



Slika 5 Faze životnog ciklusa proizvoda [16]

1.1.5 Upravljanje

Upravljanje proizvodom uključuje aktivnosti kao što su organizacija i koordinacija resursima vezanim uz proizvod, odlučivanje, postavljanje ciljeva i kontrola rezultata. Proizvod mora biti upravljan u svim fazama životnog ciklusa kako bi bili sigurni da sve teče i kako bi osigurali dobit od proizvoda.

Proizvodom se mora upravljati već u idejnoj fazi, kako bi se osiguralo da nije došlo do nekih pogrešaka u promišljanju i postavljanju ideje.

Proizvodom se mora upravljati i kada je proizvod definiran. Npr. razvoj proizvoda mora biti upravljan kako bi bili sigurni da proizvod ispunjava zahtjeve korisnika/kupaca.

Proizvodom se upravlja i kada je on već proizveden. Npr. važno je da je točna verzija proizvoda definirana i korištena u proizvodnji.

Proizvodom treba upravljati kada se koristi. Npr., proizvod se mora pravilno održavati uzimajući u obzir njegov serijski broj, datum proizvodnje, prethodne nadogradnje, promjene na tržištu i tehnološku evoluciju.

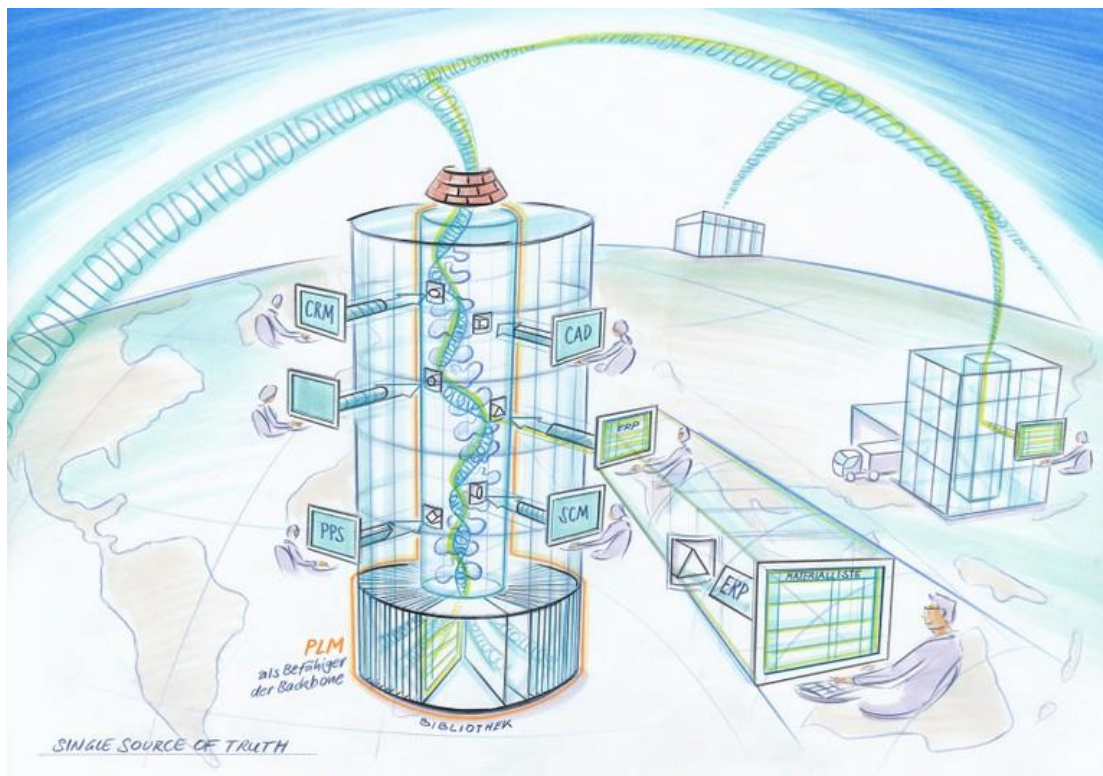
Proizvodom se treba upravljati i u vrijeme odlaganja. Potrebno je paziti da se otrovne komponente i toksični otpad iz proizvoda ne nalaze negdje gdje bi mogli ugroziti okoliš.

1.1.6 Vizija PLM-a: *Single source of truth*

Kao što nam ilustracija na Slika 6 prikazuje, vizija PLM-a temeljena na znanstvenom pristupu, je uspostavljanje jednog izvora podataka i informacija za cijelu tvrtku. Cilj uvođenja PLM-a je omogućiti kontinuirani protok podataka/informacija kroz sva područja tvrtke. Svi korisnici podataka trebali bi imati pristup središnjem izvoru podataka tvrtke tzv. „Data backbone“. Pristupom svim prethodno postojećim IT sustavima paralelno s PLM sustavom s povezanom okosnicom podataka, za tvrtke se može ostvariti jedinstveni izvor

istinitih (stvarnih) podataka. Uz pomoć PLM sustava, svi korisnici imaju pristup svim aktualnim podacima u svakom trenutku. [2]

Da bi se ostvarila uspješna implementacija PLM-vizije potrebno je povezivanje PLM pristupa upravljanja i programskih rješenja, to znači da je potrebno procese tvrtke i podatke o proizvodu implementirati u IT. Cjelokupni životni ciklus predstavlja vremenski okvir, a proizvod centralni objekt kontinuirane integracije podataka u tvrtki. U širem smislu, PLM vizija se može prenositi i kroz cjelovitu mrežu stvaranja vrijednosti, tj. u lancu dobavljača, kupaca i poslužitelja usluga. Ova vizija omogućava brže inovacijske cikluse uz niže troškove, kao i učinkovitije korištenje prednosti globalno distribuiranih lokacija i dobavljača.



Slika 6 Single source of truth [2]

Osim gore navedenih prednosti koje ova vizija PLM-a nudi, implementacija PLM-a nudi tvrtkama još neke prednosti. Strukturirani, sustavom podržavani PLM omogućava agilan, interdisciplinarni te pravovremen proces razvoja proizvoda.

1.1.7 Prednosti ostvarene uvođenjem PLM-a

Prednosti koje se ostvaruju uvođenjem PLM-a u sustav razvoja proizvoda mogu se primijetiti na gotovo svim dijelovima vrijednosnog lanca. Uporabom PLM-a skraćuje se vrijeme izlaska na tržište, proizvod se može bolje pratiti i održavati tokom faze uporabe te se može lakše i kontrolirati planirati faze sazrijevanja proizvoda. Sveukupne prednosti uvođenja PLM-a možemo podijeliti na četiri područja.

Financijska prednost se ostvaruje time što se povećava konkurentnost tvrtke na tržištu jer se ostvaruje skraćivanje izlaska proizvoda na tržište, u konačnici povećava se broj prodanih proizvoda uz smanjenje troškova proizvodnje. Smanjenje troškova očituje se u gotovo svim područjima uključenim u stvaranje proizvoda.

Jedna od dodatnih prednosti ostvarenih uvođenjem PLM-a jest skraćenje **Time-to-Market** vremena. Učinkovitim procesom razvoja proizvoda ostvaruje skraćenje vremena potrebnog za prerađu projekata, vremena izrade, vremena za rješavanje novonastalih problema.

Kroz PLM se također ostvaruje prednost u realizaciji ciljane **kvalitete** proizvoda. Pri tome se ne misli samo na kvalitetu proizvoda u smislu točnosti mjera, obrade i sl., već i na kvalitetu cjelokupnog procesa koji stoji u pozadini. Kroz dobro praćen i kontroliran proces smanjuje se mogućnost pogrešaka na proizvodu, odnosno reklamacija proizvoda, koje za tvrtku predstavljaju trošak.

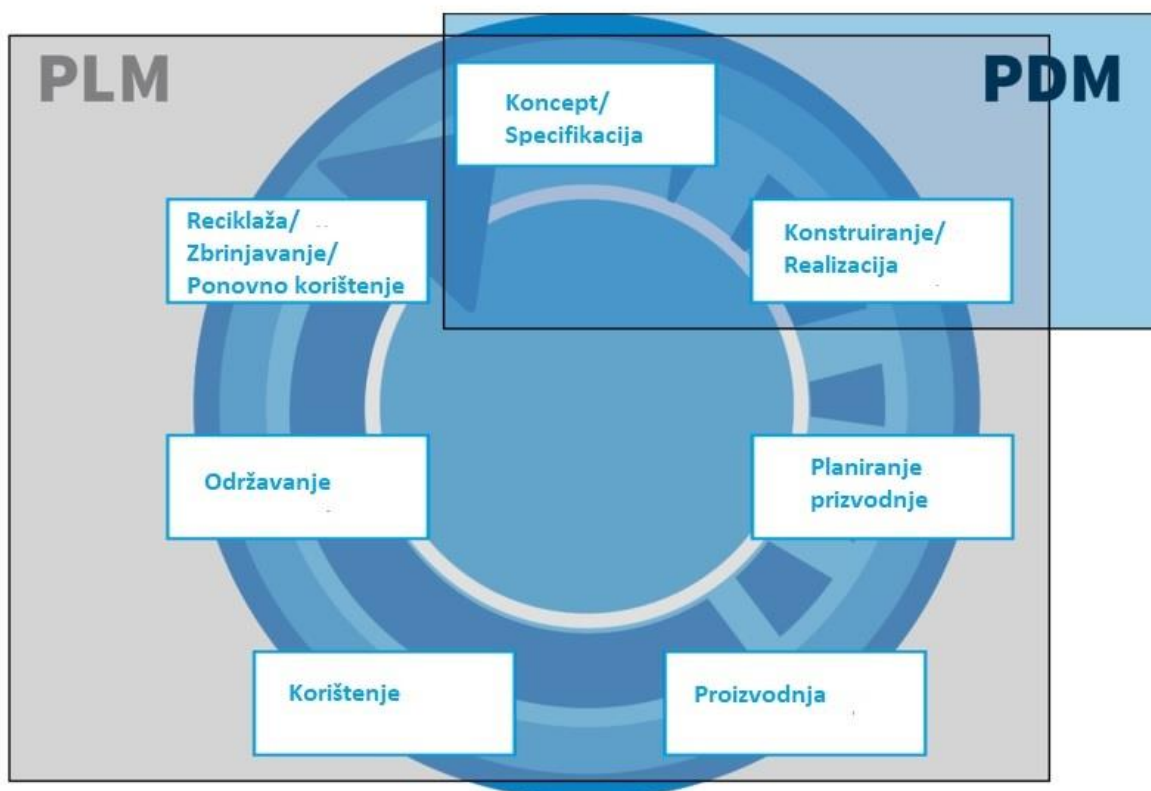
Poslovni učinak jest također jedna od prednosti koji se, iako teško mjerljiv, ostvaruje kroz implementaciju PLM-a. Pod ovim se ponajviše misli na upravljanje resursima i podacima unutar tvrtke. Što su podaci unutar tvrtke aktualniji i dostupniji to su bolje mogu donositi transparentne i dobre odluke unutar tvrtke. Ovime se ostvaruje brži i efikasniji pristup podacima svim odjelima, smanjuje se nekonzistentnost podatak i stvaranje sigurne i integrirane baze podataka.

1.2 Upravljanje podacima o proizvodu (Product Data Management - PDM)

PDM ima jednu od ključnih uloga unutar PLM-a (Slika 7) , a bavi se upravljanjem svim podacima koju su vezani uz proizvod.

Pod pojmom PDM (*Product Data Management*) podrazumijeva se dakle upravljanje svim informacijama i podacima nastalim tijekom razvoja novog odnosno aktualizacije već postojećeg proizvoda. Nadalje, možemo reći da PDM ne uključuje samo upravljanje već priprema i pohranjivanje informacija i podataka koji će se koristiti u kasnijim fazama nastajanja proizvoda. [3]

PDM uključuje klasifikaciju, mehanizme pretraživanja i arhiviranja, kontrolu toka dokumenata i informacija, osiguravanje i provođenje pravila i uloga, različite oblike pretvorbe i razmjene dokumenata. [4]



Slika 7 PDM u sastavu PLM-a [3]

Funkcije PDM sustava su sljedeće [4]:

- Vođenje hijerarhijske strukture proizvoda
- Upravljanje dokumentima
- Tok dokumenata i podrška radnim procesima
- Klasifikacija i pretraživanje entiteta
- Vođenje (praćenje) projekata
- Komunikacija i obavješćivanje
- Prijenos podataka
- Označavanje entiteta

1.2.1 Motivacija za uvođenje PDM-a

PDM omogućuje uredan i sofisticiran rad za inženjere i ostale koji su uključeni u proces nastajanja proizvoda jer se svi podaci i informacije koji su vezani uz proizvod nalaze na jasno definiranom "mjestu" i svi, kojima je potrebno, mogu pristupiti tim podacima.

Neki od pokazatelja potrebe za uvođenjem PDM sustavu, prema izvoru [4] u tvrtku su sljedeći:

- 47% neuspješnih ISO certifikacija pripisuje se lošoj kontroli dokumenata
- 3-7% tehničkih resursa se gubi svake godine zbog izgubljene ili loše arhivirane dokumentacija

- 20% inženjerskog/proizvodnog vremena se gubi na traženje prave revizije tehničke dokumentacije
- 86% tvrtki ne koristi standardne dijelove, nego se slanje ne neformalne interakcije svojih zaposlenika

PDM pomaže tvrtkama pri upravljanju cjelokupnog razvoja proizvoda. Ovdje su navedene neke važne prednosti koje tvrtci doprinosi korištenje PDM sustava kako navodi izvor [14]:

- **Poboljšanje zajedničkog rada.** Funkcije koje nude PDM-*Software-i* kao što su brz pristup podacima, kontrola revizije i verzije podataka i mogućnost praćenja obrade podataka omogućuje razvojnim timovima kvalitetniji zajednički rad. PDM-*Software* sprječava prepisivanje podataka čime se smanjuje opasnost od kontradikcije u verzijama.
- **Racionalizaciju procesa konstruiranja.** S PDM sustavom timovi mogu ostvariti automatske promjene naloga, liste dijelova i drugo, a da pritom podaci ostanu sinkronizirani.
- **Učinkovitiji ciklusi razvoja proizvoda.** Kada se razvojni tim ne treba baviti traženjem i upravljanjem podataka, mogu više vremena potrošiti za koristan inženjerski rad.
- **Redukcija rizika pogreške.** Kada su svi podaci spremljeni u centralni PDM-Sustav, smanjuje se opasnost od gubitka podataka, dupliciranja i kontradiktornih verzija podataka.
- **Jednostavnije stvaranje novih podataka.** PDM predstavlja također, bazu znanja koja se može koristiti pri osmišljavanju i stvaranju budućih proizvoda.

1.3 PLM programska rješenja na tržištu

Budući da PLM postaje sve zastupljeniji u tvrtkama zbog raznih prednosti koje nudi tvrtkama prilikom natjecanja na tržištu, razvili su se i mnogi programski paketi koji omogućuju implementaciju PLM-a u tvrtkama. U ovom će poglavlju biti predstavljeni neki.

1.3.1 Upchain

Upchain je *cloud* PLM rješenje koje omogućuje malim i velikim tvrtkama, sudjelovanje u stvaranju proizvoda različitim profesijama. Značajke koje ovaj PLM software nudi su:

- Nadzorne ploče i KPI-ove (*Key Performance Indicator*) projekata
- Upravljanje BOM-om (*Bill of Material*)
- Automatsko numeriranje dijelova
- Upravljanje promjenama
- 2D / 3D CAD preglednik i označavanje
- Agilno upravljanje projektima
- CAD dodaci i API integracije – mogućnost pregleda CAD podataka

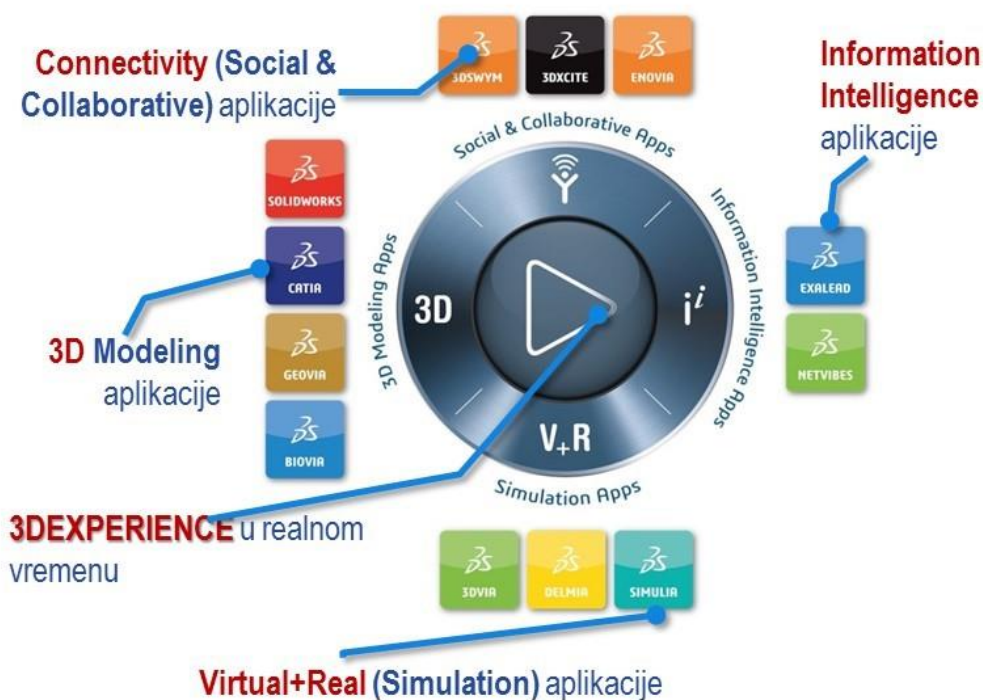
Ovaj sustav ne nudi izradu CAD modela i nije toliko uključiv u sam razvojni dio pri nastajanju proizvoda.[5]

1.3.2 Siemens NX

Siemens NX je također jedan od programskih paketa koji nudi tvrtkama koje se bave razvojem proizvoda cjelokupnu PLM integraciju. U ovom programskom paketu sadržane su sljedeće mogućnosti:

- CAD i CAM modeliranje
- CAE i CFD simulacije
- Virtualna stvarnost i *Digital Mock-up* analize
- Upravljanje i modeliranje proizvodnim procesom
- Upravljanje tablicama materijala
- Upravljanje dokumentacijom i informacijama
- Upravljanje troškovima razvoja
- Planiranje i izvršavanje projekata
- Traženje i integracija dobavljača u sustav

1.3.3 3DEXPERIENCE



Slika 8 3DEXPERIENCE [6]

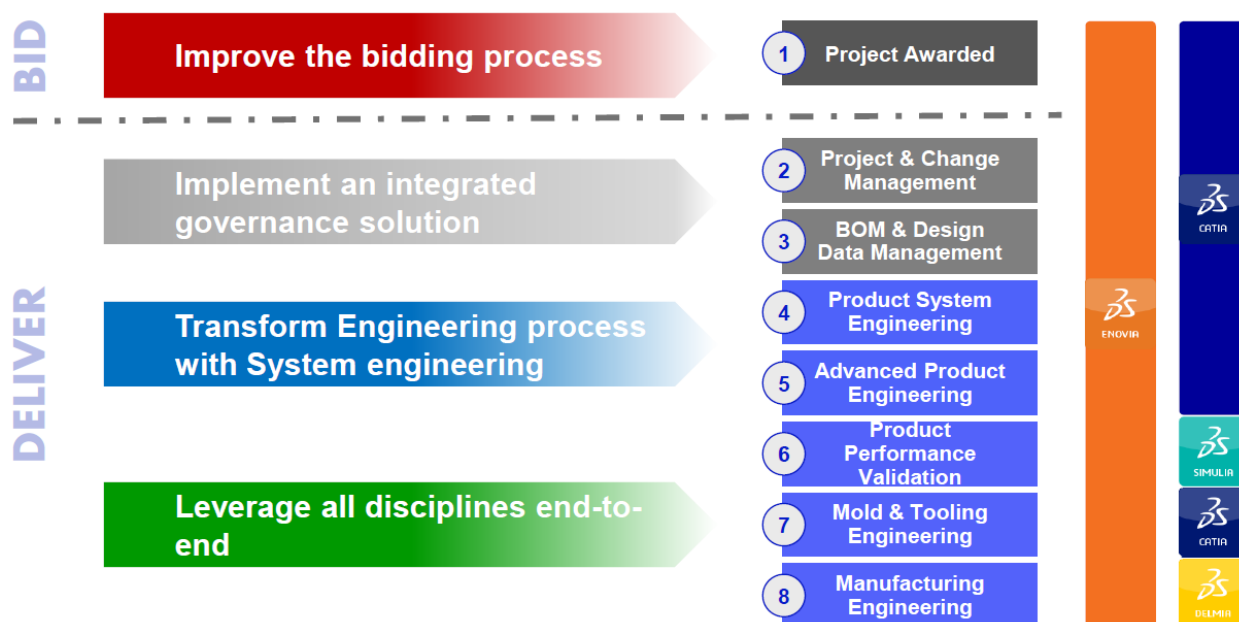
3DEXPERIENCE je poslovna platforma koja omogućuje povezivanje raznih odjela unutar tvrtke, kao što su inženjeri, dizajneri, menadžeri, marketinški stručnjaci, projektanti, prodajni

zastupnici i drugi. Sve te odjele i lokacije povezuje u integrirano okruženje što omogućuje bolje praćenje i upravljanje nastajanja proizvoda. [6]

Na tržištu se ova platforma pojavljuje 2014. Godine, a za ostvarenje već spomenutih karakteristika, koristi već dobro poznata, programska rješenja koja kompanija Dassault Systemes nudi na tržištu.

Na Slika 8 je prikazan tzv. kompas, koji je ujedno i ikona, tj. znak programskog paketa 3DEXPIRENCE. Programski paket se sastoji od 4 aplikacije. Gornja značajka na kompasu označava pristup društvenoj/suradničkoj aplikaciji, koja omogućuje komunikaciju i razmjenu podataka među suradnicima raznih disciplina. Lijeva značajka na kompasu označava pristup alatima za modeliranje proizvoda kao što su *Catia* i *Solidworks*. Donja značajka označava pristup aplikacijama za izvođenje simulacija, kao što *Simulia* i *Delmia*. Desna strana kompasu označava pristup informacijskim aplikacijama.

Slika 9 prikazuje zastupljenost pojedinih aplikacijama u procesu nastajanja proizvoda.



Slika 9 Aplikacije unutar 3DEXPIRENCE software-a [6]

Neke od prednosti koje tvrtke ostvaruju korištenjem ovoga software-a su:

- Mogućnost uporabe dosad stečenih znanja na prethodnim projektima
- Mogućnost uporabe već postojećih i provjerenih sklopova i komponenti, prethodno upotrjebljenih u prethodnim projektima
- Mogućnost paralelnog rada više ljudi na istome dijelu
- Lakša komunikacija unutar tima
- Optimiziran proces kontroliranja uz pomoć alata za simulaciju i digitalnog modela
- Povezivanje razvoja i proizvodnje

1.4 Opis implementacije PLM-a u firmi Rimac-automobili

1.4.1 Rimac automobili d.o.o

Tvrtku Rimac automobili d.o.o osnovao je Mate Rimac sa svojim kolegama 2009. godine u Sv. Nedelji. Cilj tvrtke bio je proizvesti potpuno električni hipersportski auto. Prvi automobil Concept One predstavljen je na Frankfurtskom sajmu 2011. godine. 2013. godine isporučen je prvi automobil (*Concept One*) (Slika 10). Tvrtka se u narednim godinama znatno širi, te već 2019. godine broji preko 500 zaposlenih. Takav napredak firme omogućuje joj i razvoj novog automobila C_TWO prikazanog prvi puta na Ženevskom sajmu 2018. godine. Osim razvoja svojih automobila, tvrtka Rimac bavi se razvojem tehnologija kao što su, pogonski sustavi, baterijski sustavi, *infotainment* i dr. Tvrtka Rimac automobili jedina je kompanija u hrvatskoj koja u cijelosti dizajnira, razvija i proizvodi automobil. U ovom će radu biti posebno predstavljen dio izrade baterija, koji je jedan od najprezentabilnijih primjera dobrog poslovanja i tehnološkog postignuća ove tvrtke.[7]



Slika 10 Rimac C1 [7]

1.4.2 PLM u tvrtki Rimac automobili

Rimac automobili jedna je od rijetkih kompanija u Hrvatskoj koja u svoj sustav implementiran PLM. Firma u svrhu implementacija PLM-a koristi Dassaultov programski paket 3DEXPERIENCE, opisan u prethodnom odjeljku.

U ovom će poglavlju biti opisano kako konkretno izgleda PLM metodologija unutar programskog paketa 3DEXPERIENCE u kontekstu razvoja proizvoda. Ova metodologija se koristi pri izradi dijelova i sklopova.

Shematski prikaz PLM metodologije je prikazan na Slika 11. Radni tijek sastoji se od 3 glavne faze: faza dizajniranja, faza pripreme za proizvodnju i faza proizvodnje. Te faze su

povezane i međusobno ovisne. Prelazak s jedne faze na drugu je uvjetovan stanjem u prethodnoj fazi.

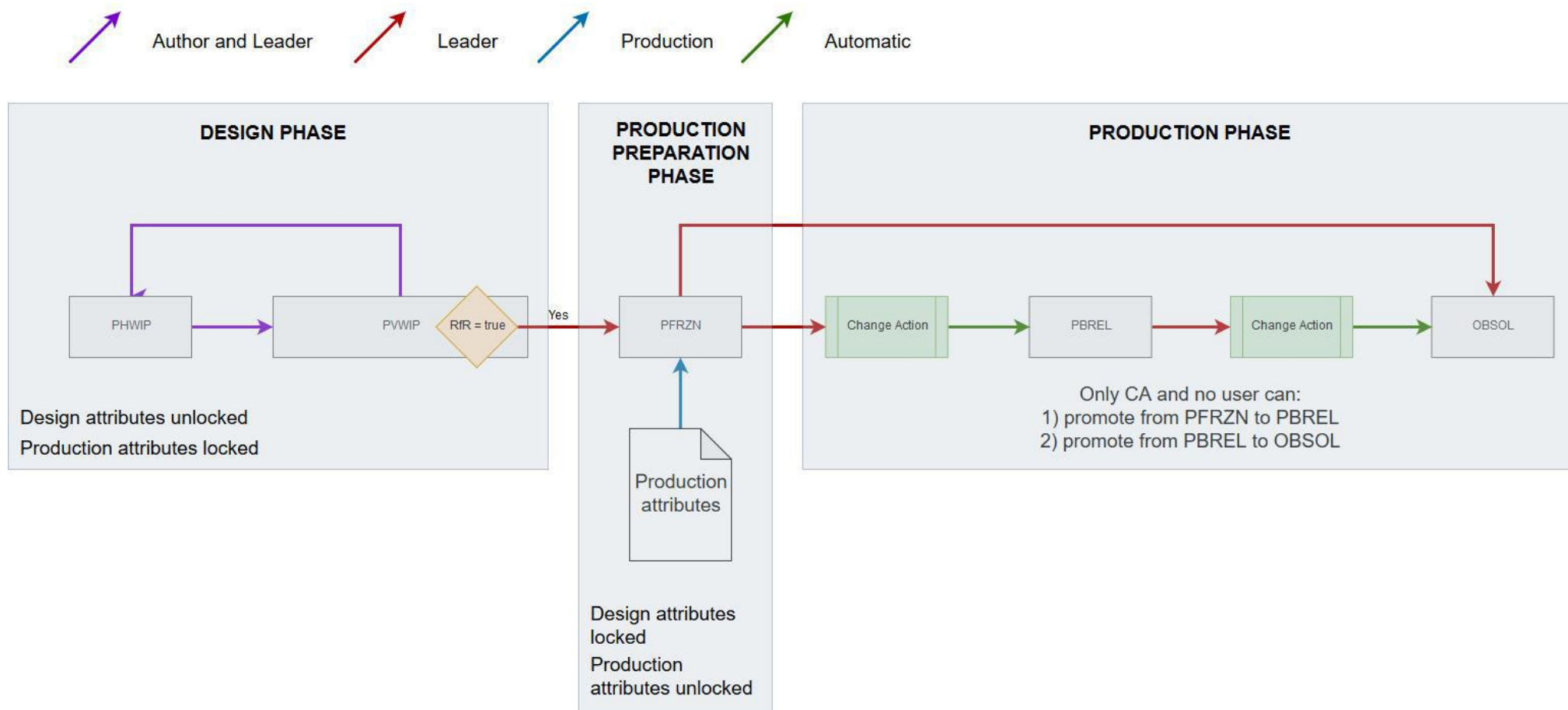
1.4.2.1 Faza dizajna

U ovoj fazi razvojni tim ili pojedinac iz tima radi na nekom dijelu ili sklopu te se u ovoj fazi atributi vezani uz dizajn otključani dok su atributi vezani za proizvodnju zaključani (nedostupni). Uloge koje su uključene u ovoj fazi razvoja su:

- Članovi razvojnog tima (*Design Team Members – DTM*)
- Voditelj razvojnog tima (*Design Team Leader – DTL*)

Jedino DTL može i smije promijeniti attribute koji su potrebni da se prijeđe na sljedeću fazu.

Faze zrelosti koje se dodjeljuju u ovoj fazi su PHWIP (*Private Hidden Work in Progres*) u ovoj fazi se radi na pojedinom dijelu ili sklopa tako da je ostalim djelatnicima to nevidljivo.



Slika 11 PLM metodologija tvrtke Rimac-automobili [17]

Sljedeći status zrelosti koji se dodjeljuje je PVWIP (*Private Visible Work in Progres*). U ovoj fazi se i dalje radi na pojedinom dijelu ili sklopu, ali ostalima koji nisu uključeni u projekt je vidljivo što se radi te ukoliko im je dozvoljeno mogu sudjelovati pri izmjenama. Kao što je vidljivo na gornjem prikazu prijelaz iz jednog u drugi status zrelosti lako je moguć i ne zahtijeva odobrenje voditelja.

Nakon što su članovi tima završili s konstruiranjem modela, u postavkama se atribut „*Ready for Review*“ (spremno za pregled) postavlja u stanje „*True*“. Nakon što je to učinjeno, CAD model više ne može biti spremljen osim ako voditelj tima ponovno postavi atribut RfR (*Ready for Review*) u „*False*“. Ova faza završava ili da se modelu dodjeljuje novi status zrelosti PFRZN (*Private Frozen*) koji je onda model čini nepromjenljivim (osim za voditelja) ili se, ukoliko se uoči nedostatak na modelu RfR atribut postavlja kao netočan što omogućuje samo članovima tima ispravke.

U ovoj fazi, modelu se pridodaju atributi koji ga opisuju. Ti atributi moraju biti u potpunosti ispunjeni kako bi model mogao prijeći u sljedeću fazu. Ti atributi su sljedeći (Slika 12):

Product Stage	Unassigned
3DPart	Unassigned
Design Make Buy Code	Unassigned
Supplier	
Surface Treatment	Unassigned
Production Make Buy Code	Unassigned
Supplier Nominated	NO
Material	
CA	
ERP Code	
Ready for Review	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Weight	0

Slika 12 Atributi

- *CA (Change Action)*
 - Ukoliko je potrebna izmjena na nekome dijelu
- *Ready for Review*
- *Product stage*
 - U ovom atributu je opisana faza modela s obzirom na proizvodnu razinu
 - Postoji 6 razina:
 - *Feasibility* (izvedivost) - model s jednom ili više funkcija ili koncepata
 - *A-Sample* – model s ograničenim funkcionalnostima
 - *B-Sample* – model sa svim funkcionalnostima, ali bez zajamčenosti
 - *C-Sample* – model sa zagarantiranim svim funkcionalnostima
 - *D-Sample* – model s ostvarenim svim funkcionalnostima potvrđenim u realnim uvjetima

- *S-Series* – serijska proizvodnja
 - *Design Make Buy Code*
 - Donosi informaciju je li proizvod/model izrađen ili već postoji na tržištu
 - Unosi konstruktor
 - *Make/Buy/Virtual*
 - *Supplier* (dobavljač)
 - *Surface Treatment* (obrada površine)
 - *Production Make Buy Code*
 - Unosi proizvodni inženjer
 - *Supplier Nominated* – je li dobavljač određen
 - *Material*
 - *CA (Change Action)*
 - *ERP Code*
 - Iznimno važan podatak za standardne dijelove, jer taj kod dolazi do odjela nabave i po njemu se naručuju standardni dijelovi
 - Taj kod dobivaju i svi ostali (nestandardni) dijelovi
 - *Weight* – masa

Nakon što su svi ovi atributi na dijelu jednoznačno dodijeljeni proizvod može promijeniti svoj „Maturity status“.

1.4.2.2 Faza pripreme za proizvodnju

U ovoj fazi proizvodni inženjeri dodaju proizvodne attribute (*Production Make Buy Code*) u CAD model te pripremaju i optimiziraju CAD model za proizvodnju. Osobe uključene u ovu fazu radnog tijeka su članovi proizvodnog tima (*Manufacturing engineering team members* – METM) i voditelj proizvodnog tima (*Manufacturing engineering team leader* – METL). CAD model u ovoj fazi dobiva PFRZ status zrelosti te je spreman za proizvodnu fazu.

1.4.2.3 Faza proizvodnje

U ovoj fazi je CAD modelu dodijeljen status zrelosti PFRZ te se na njemu ne mogu više nikakve promjene raditi. Ukoliko je uočena kakva greška, voditelj razvojnog tima model prebacuje u OBSOL (*Obsolete-zastarjelo*) stanje tako da napravi novi *Change Action* (CA). Ukoliko je model spreman za proizvodnju, voditelj razvojnog tima (DTL) modelu dodjeljuje PBREL (*Public Released*) status zrelosti, ukoliko se model koji ima PBREL status zrelosti više ne koristi, DTL radi novi *Change Action* i model stavlja u OBSOL stanje te se taj model više ne može koristiti, niti se od njega može napraviti nova revizija.

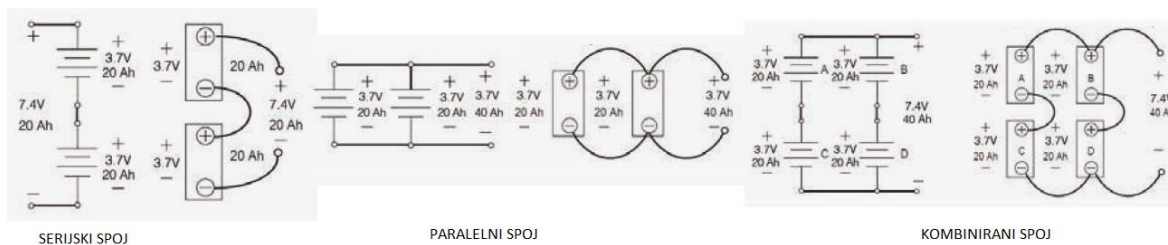
2 Konstruiranje baterijskih paketa

Trenutno električna vozila zauzimaju tek 0.1% od ukupnog broja lakih teretnih vozila i uvođenje električnih automobila u cestovni promet čini se kao iznimno zahtjevan zadatak. Jedan od glavnih razloga tome je njihova visoka cijena s obzirom na vozila pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem. Baterijski paketi uzrokuju čak 46% tog velikog troška, stoga je uloženi veliki napor i trud raznih stručnjaka, da se novim saznanjima i modifikacijama baterija ta cijena smanji. Koliko je u ta istraživanja već dosad uloženo, govori i podatak da je 2007.-2008. godine trošak proizvodnje baterije za električni auto iznosio 1000 USD po kWh, a već 2017.-2018. ta cijena je pala na 210 USD po kWh. Cilj je smanjiti tu cijenu na 100 USD po kWh kako bi električni automobili mogli biti konkurentni s obzirom na dosadašnje automobile. Iz toga se da pretpostaviti da su baterijski paketi jedan od ključnih faktora u razvoju i u dovođenju električnih automobila u cestovni promet. [8]

2.1 Uvod

Automobilske baterije su sastavljene od stotine zasebnih elemenata, od kojih su elektrokemijske ćelije vitalni dijelovi tog sustava za zapremanje i distribuciju električne energije. Način na koji se spajaju ćelije određuje i performanse cijelog paketa.

Slika 13 prikazuje načine spajanja baterijskih ćelija. Ćelije se mogu slagati serijski pri čemu se zbrajaju naponi, a kapacitet ostaje isti. Kod paralelnog spoja baterijskih ćelija napon ostaje nepromijenjen ali se povećava kapacitet. Kombinacijom ovih dvaju osnovnih metoda omogućuje da se ostvare tražene specifikacije baterijskog paketa.



Slika 13 Spoj baterijskih ćelija [9]

2.2 Glavni dijelovi baterijskog sustava kod električnih automobila

Generalno baterijski sustava kod električnih automobila možemo podijeliti na tri glavna dijela. **Baterijski paket**, koji je svojevrsno kućište za cjelokupan baterijski sustav, **baterijski modul** koji ostvaruju esencijalnu funkciju cijeloga sustava, a to je zapremanje i distribucija el. energije, odnosno skladištenje i osiguravanje položaja baterijskih ćelija te **Power Distribution Unit** (PDU) koji osigurava kontrolirano i sigurno prenošenje energije na pojedine dijelove cjelokupnog sustava el. automobila.

Na Slika 14 su prikazani neki od glavnih dijelova baterijskog sustava koji služe za ostvarenje funkcionalnosti baterije.

Ćelija je, kao što je već navedeno, najvažniji dio baterijskog paketa jer se preko nje ostvaruje osnovna funkcionalnost. Više o njima u sljedećem poglavlju.

Kablovi (busbar) su visoko provodljive metalne šine koje služe prijenosu električne energije između modula te kao s spoj jedinicom za distribuciju snage (PDU)

Battery Management System (BMS) jedan od ključnih dijelova za rad baterije. BMS upravlja i optimizira rad baterije. U baterijskom paketu najčešće postoji glavni BMS i sporedni koji su povezani na module (*BMS Slave*)

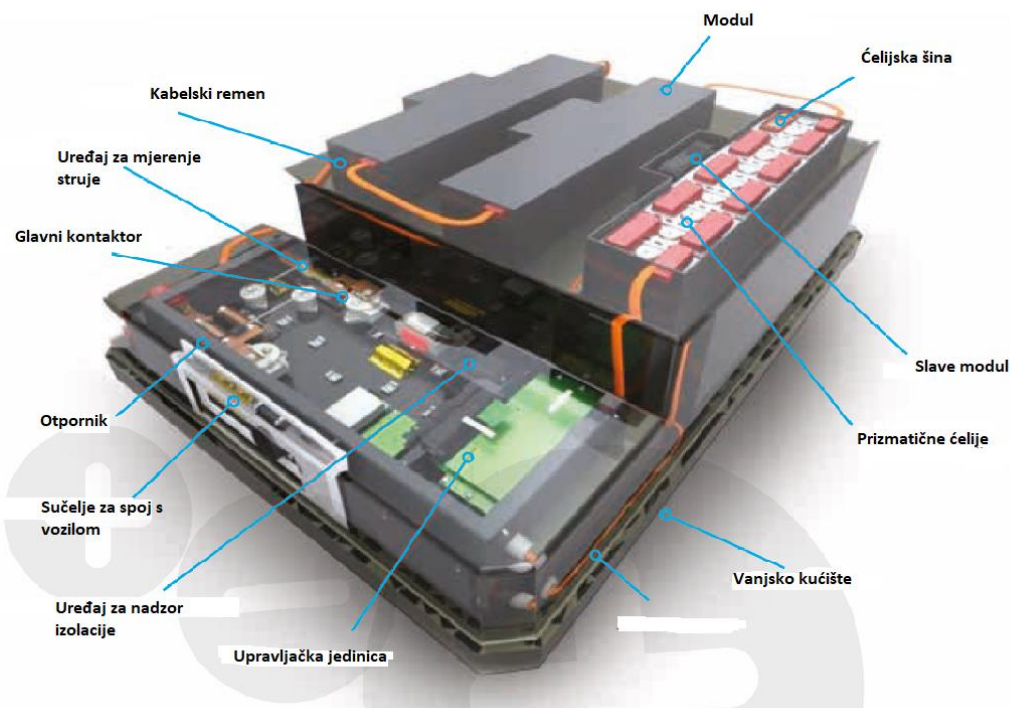
Ćelijski kablovi povezuju ćelije i prenose el. energiju između njih.

Sučelje za spoj s vozilom osigurava i omogućuje povezanost vozila s baterijskim paketom.

Uređaj za mjerenje struje omogućuje BMS-u prikaz trenutnih naponskih opterećenja tijekom punjenja i pražnjenja.

Uređaj za nadzor izolacije provjerava izolaciju (električnu) baterijskog sustava čime se osigurava da ne dođe do strujnog udara.

Glavni sklopnik (kontaktor) je glavni visokonaponski prekidač koji prekida strujni krug u slučaju da je to potrebno.



Slika 14 Glavni dijelovi baterijskog paketa [9]

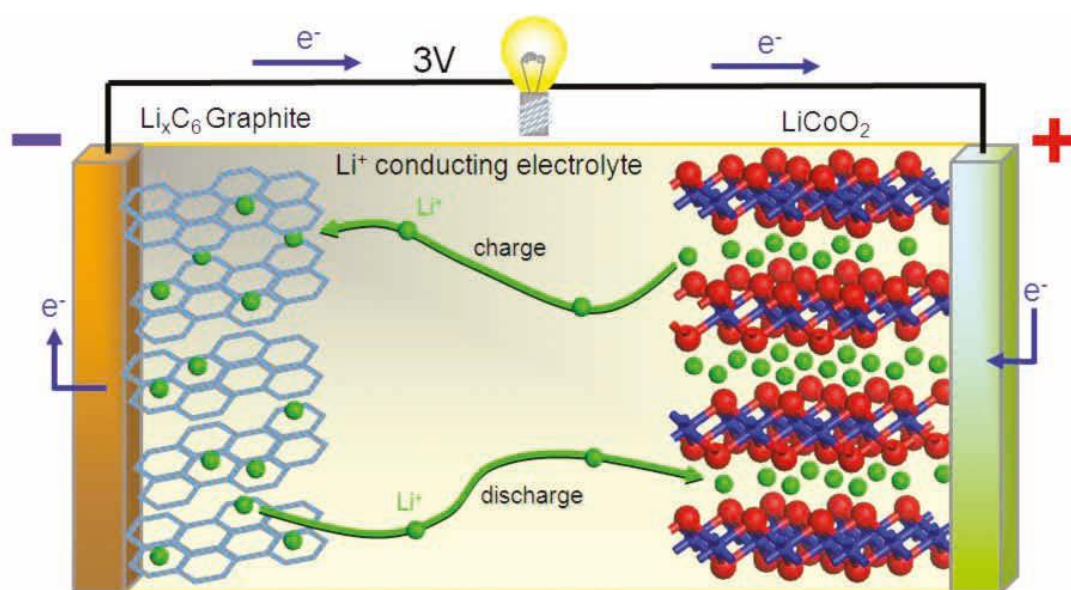
2.3 Baterijske ćelije

Ćelije su osnovni gradivni element baterije. Ćelija je zatvoreni izvor energije pohranjene u kemijskom obliku. Ćelija ima funkciju pretvorbe kemijske energije u električnu. Ćelije mogu biti jednokratne i višekratne (punjive).

Kemijska energija sadržana u materijalima od kojih je ćelija sastavljena pretvara se u električnu energiju pomoću elektrokemijske reakcije oksidacija-redukcija. Elektrokemijska

ćelija se obično sastoji od dvije elektrode, pozitivne i negativne, a između njih se nalazi elektrolit.

Slika 15 nam donosi prikaz funkcioniranja baterijske Li-ionske ćelije. Princip je sličan i za sve ostale vrste baterija. Pretvorba kemijske energije u električnu se odvija na sljedeći način. Litijev atom koji se nalazi u strukturi metalnog oksida, u ovo slučaju kobaltovog oksida, je stabilan, a kada je van metalne strukture vrlo je nestabilan i postaje Li-ion odnosno otpušta elektron što uzrokuje protjecanje električne energije. U fazi punjenja baterije Li-ion prolazi preko elektrolita s katode na anodu, koja se sastoji od grafita koji služi kao „skladište“. U toj su fazi Li-ioni i elektron smješteni u grafitnim ćelijama. Kao što je već napomenuto litij je u toj fazi nestabilan i „želi“ se vratiti u spoj s metalom gdje je stabilan. Elektrolit propušta Li-iona na katodu no ne propušta elektrone, što elektrone tjera da se vanjskim putem spoje Li-ionom na katode. Na taj se način ostvaruje protok elektrona kako je prikazano na slici, odnosno protok električne energije.



Slika 15 Rad Li-ion baterije [9]

Elektrolit je ionski provodnik, ali električni izolator, tako je on medij za prijenos naboja unutar ćelije između katode (pozitivne elektrode) i anode (negativne elektrode). Kod Li-ionskih ćelija, elektrolit je najčešće organsko otapalo koje sadrži otopljene litijeve soli, npr. LiPF₆ u propilen karbonatu. Unutar elektrolita smješten je i porozni separator koji razdvaja elektrode kako bi osigurao ćeliju od kratkog spoja te osigurao ionski difuziju. Separator je obično mikroporozni sloj koji se sastoji od polimerne membrane. U današnje se vrijeme često koristi i keramički separator.

U tablici 1 su prikazane različite kemijske konfiguracije baterijskih ćelije. Iz navedene tablice da se zaključit zašto su Li-ion-ske baterije trenutno najzastupljenije u proizvodnji.

Karakteristika	Mjerna jedinica	Pb	NiCd	NiMH	Li-ion
Napon ćelije	V	2,00	1,20	1,20	2.4-3.8
Specifična energija	Wh/kg	30-40	35-80	55-110	100-300
Gustoća energije	Wh/l	50-90	50-70	160-420	125-600+
Gustoća snage	W/kg	100-200	100-150	100-500	500-5000
Brzina punjenja/pražnjenja	Stopa	6-10C	20C	15C	80C
Korisni kapacitet	Dubina pražnjenja %	50	50	50-80	>80
Korisnost punjenja	0/0	60-80	60-80	70-90	>95
Samopražnjenje	%	3-4	15-20	15-30	2-3
Raspon temperature	°C	-40 to 60	-20 to 70	-20 to 65	-30 to 70
Životni ciklusi	Broj ćelija	200-400	300-1000	500-1000	>2000
Memorijski efekt		Ne	Da	Da (<NiCd)	Ne
Robusnost (prekomjerni/premali napon)		Da	Da	Da	potreban BMS

Tablica 1 Usporedba baterijskih ćelija

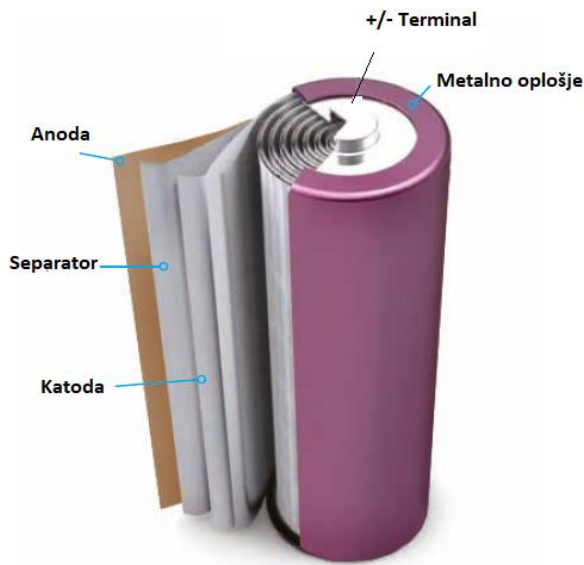
2.3.1 Tipovi ćelija

Jedna od osnovnih stvari koju konstruktor odabire prilikom osmišljavanja, odnosno modeliranja baterijskog paketa je tip ćelije koji će se koristiti. Materijali, sveukupna kemija i izvedba ćelije ima veliki ulogu u sveukupnim performansama ćelije. Litij-ionske ćelije dostupne su u raznim oblicima te inženjerstvo u tom smislu također ima veliku ulogu u ostvarenju sve boljih karakteristika baterija. Ćelije za pohranu el. energije trebaju inženjersku potporu kako bi u baterijskom paketu ostvarile svoju funkciju. U ovom će dijelu biti predstavljena tri najčešća oblika baterijskih ćelija koja se koriste kod električnih automobila.

2.3.1.1 Cilindrične ćelije

Ovaj tip ćelije, prikazan na Slika 16, je ujedno i najzastupljeniji. Najčešća varijanta ove ćelije je 18650 varijanta, tako nazvana jer joj je promjer 18 mm a visina 65 mm. Ovaj tip ćelija ima vrlo široku primjenu, koriste se kod laptopa, električnih bicikala, kućanskih aparata i slično. Prednosti ovakvih ćelija su niska cijena, zbog iznimno dobro optimiziranog procesa proizvodnje i relativno visoka gustoća energije. Ova ćelija ima najvišu gustoću energije zbog načina na koji su napravljene (rolanjem slojeva), no problem nastaje pri postavljanju ovih baterijskih ćelija u cjelokupni baterijski paket, jer one imaju okruglu geometriju, dok paketi, odnosno moduli imaju pravokutnu formu te na taj način dolazi do gubljenja prostora, odnosno do smanjenja cjelokupne gustoće energije baterijskog paketa. Daljnji nedostatak ovih ćelija jest njihovo teško hlađenje.

Neki od proizvođača automobila koji koriste ovu vrstu ćelija su Tesla, Lucid, Faraday i Rimac.



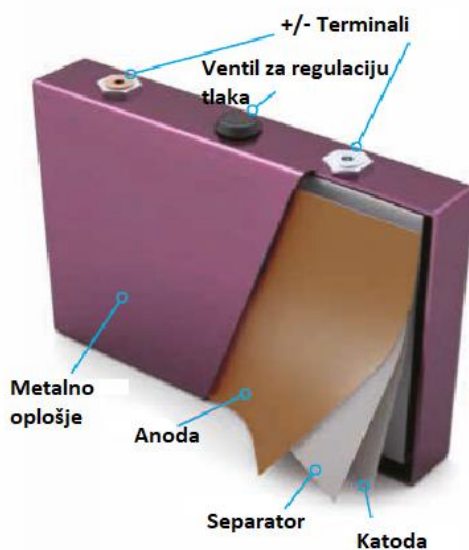
Slika 16 Cilindrična ćelija [9]

2.3.1.2 Prizmatične ćelije

Za kućište ovog tipa baterijskih, prikazanog na Slika 17 ćelija se najčešće koriste aluminijski ili čelični limovi. Metalno oplošje (kućište) osigurava strukturnu stabilnost, robusnost i zaštitu od utjecaja vlage i sličnih vanjskih utjecaja, te omogućuju upotrebu zaštitnih komponenti kao što je ventil za regulaciju tlaka, koje su neprimjenjivi na drugim tipovima ćelija. Što im je također prednost u odnosu na cilindrične ćelije je, veća prostorna efikasnost pri sklapanju modula, odnosno baterijskog paketa, zbog njihove pravokutne geometrije. Ove je ćelije lakše za hladiti od cilindričnih.

Nedostatci ovoga tipa ćelija su niska razina gustoće energije, limitirane dostupne veličine ćelije što sužava fleksibilnost pri kreiranju baterijskog paketa.

Neki od automobila koji koriste ovaj tip ćelija su BMW i Volkswagen.



Slika 17 Prizmatična ćelija [9]

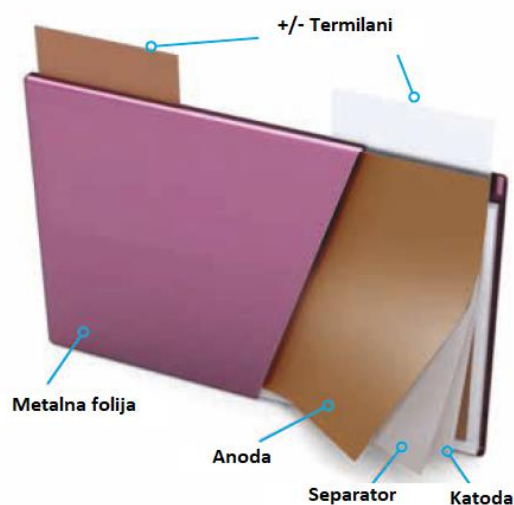
2.3.1.3 Vrećice

Kod baterijskih ćelija – vrećica je unutarnji niz elektroda smješten unutar mekog, plastično-aluminijskog paketa (Slika 18). Na ovaj se način minimizira udio materijala za pakiranje ćelija, čime se ujedno postiže i povećanje gustoće energije, ali obično se zahtjeva složenija struktura modula kako bi se zadržala stabilna struktura unutar modula.

Prednosti ovih ćelija su: visoka fleksibilnost pri izradi modula, visoka kapacitivna fleksibilnost i širok raspon dobavljača.

Nedostaci su: slaba mehanička stabilnost te potreba za kontrolom tlaka unutar modula.

Neke od automobilske kompanije koje koriste ove ćelije u svojim modelima električnih automobila su Chevrolet, Nissan i Renault.



Slika 18 Vrećica [9]

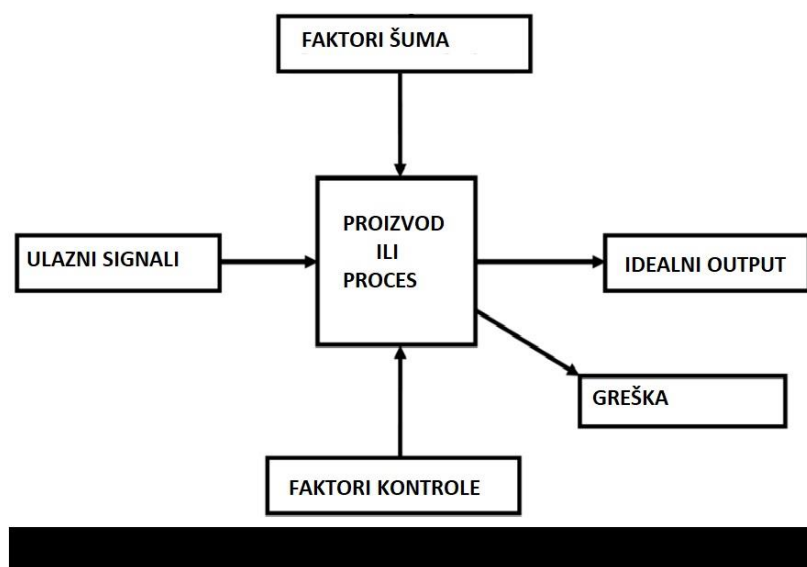
2.4 Primjena metodologije robusnog dizajna za izradu baterijskih paketa za električne automobile

Ono što na početku ove analize treba napomenuti jest, da se u dosadašnjem inženjerskom radu i istraživanju na području baterija (za električna vozila) uspostavilo da je modularni dizajn baterijskih paketa tj. podjela baterijskog paketa na tzv. module pokazala najučinkovitija iz sljedećih razloga. Modularni dizajn omogućuje skaliranje baterijskih paketa tako da se postigne potrebna energetska razina bez potrebe za velikim konstrukcijskim izmjenama. Manjim modulima je lakše baratati tokom proizvodnje, omogućeno je testiranje svakog modula prije integracije unutar paketa. Neki se moduli mogu koristiti i u različitim baterijskim paketima, te je povećana sigurnost pri radu jer moduli nemaju veliki izlazni napon, te nisu opasni za čovjeka. [10]

Općenito govoreći, kupci od inženjerskih sustava žele da isporučuju tražene karakteristike proizvoda prilikom svakog korištenja tijekom životnog ciklusa proizvoda. Međutim te ciljane karakteristike proizvoda, općenito opisana kroz inženjerska ograničenja i ciljeve, mogu biti izložene efektima raspršivanja. Ti utjecaji raspršivanja ne samo da ugrožavaju željenu razinu performansi, nego poskupljuju cjelokupni trošak životnog ciklusa proizvoda (popravci, pregledi i sl.).

Kritične karakteristike kod Li-ionskih baterijskih paketa su gustoća energije, gustoća snage, cijena, broj životnih ciklusa i sigurnost. Devijacija ovih karakteristika u odnosu na željene vrijednosti uzrokuje gubitak kvalitete. Uklanjanje uzročnika tih devijacija često je teško, neizvedivo ili preskupa. Stoga se kao alternativa za optimiranje karakteristika može primijeniti metodologija robusnog dizajna (*Robust Design Methodology*-RDM). RDM je sistematičan i na vrijednostima baziran pristup razvoju proizvoda koji za cilj ima ostvariti proizvod neosjetljiv na uzroke varijabilnosti proizvoda uz što manji trošak.

Kako bi se identificirali kandidati za robusnost i olakšalo generiranje konceptualnih rješenja za pouzdan dizajn, RDM koristi parametarski dijagram (P-dijagram) prikazan na Slika 19 .



Slika 19 P-dijagram

Jedan od ključnih problema kod dizajna i proizvodnje izdvajanje i razumijevanje informacija i podataka vezanih uz uzroke varijabilnosti. P-dijagram je alat koji omogućava konceptualnu analizu velikog skupa podataka koji predstavljaju interakciju proizvoda ili procesa s parametrima te stvaranje pouzdanog dizajna razlikovanjem različitih čimbenika koji na njega utječu.

Ulazni signali su energija i drugi resursi koji su uloženi u sustav, zajedno s različitim čimbenicima koji utječu na određenu osobinu kvalitete koje su očekivane kao idealni izlaz.

Faktori šuma su izvori varijabilnosti koji se ne mogu kontrolirati ili je njihovo upravljanje preskupo te uzrokuju smetnje.

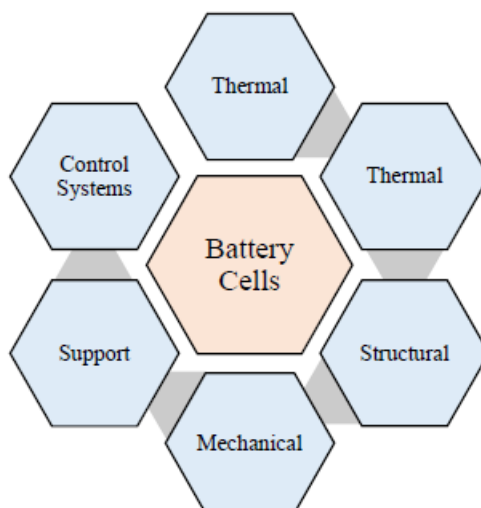
Faktori kontrole su oni faktori koji se mogu kontrolirati, kao što su npr. odabir materijala, dimenzije, odabir komponenti i slično.

Greška se javlja kao rezultat faktora šuma (buke).

Idealni izlaz (output) su željene vrijednosti karakteristika pri korištenju proizvoda.

2.4.1 Granice sustava za baterijski paket električnog automobila

Baterijski paket električnog automobila je u svojoj biti kombinacija paralelnih i serijskih spojeva elektrokemijskih ćelija. Baterijski paket možemo promatrati kao jedan sustav koji svoju interakciju s okolinom tj. ostatkom većeg sustava (cjelokupnog automobila i okoline) ostvaruje preko svojih granica (Slika 20).



Slika 20 Baterija kao sustav [8]

Mehaničko sučelje - predstavlja sve one konstrukcijske značajke kao što su odstojnici za ćelije, ispušni ventili, brtve i ostalo što je integrirano u baterijski paket, većinom zbog sigurnosnih razloga.

Strukturno sučelje - baterijski paket mora biti postavljen u kućište kako bi bio zaštićen od raznih utjecaja okoliša, kao što su vlaga, prljavština i ostalo. Također je potrebna prikladna zaštita od vibracija te visoka sigurnost u slučaju sudara. Neki od dijelova koji spadaju u ovo sučelje, odnosno koji ostvaruju funkciju zaštite baterijskog sustava su pokrovne ploče, letve, ukrute i sl.

Termičko sučelje - Li-ion baterije su iznimno osjetljive na toplinske promjene, a za njihov idealan rad potrebna je temperatura između 25-30 °C. Da bi se ta temperatura održala potreban je tzv. *Thermal Management System* (TMS), koji uključuje razne dijelove poput kanala za provod rashladne tekućine, pumpe, fenove, izmjenjivače topline i sl.

Električno sučelje - baterijski paket generira električnu energiju pri određenom naponu kako bi se ostvarili traženi zahtjevi (izlazna snaga). Ta se energija prenosi preko strujnog kruga, koji se sastoji od visokonaponskih i niskonaponskih vodiča, otpornika, prekidača, sklopnika i ostalog.

Kontrolno sučelje - kako bi baterijski paket vršio svoju primarnu funkciju, potrebno je omogućiti upravljanje njegovim karakteristikama kao što su napon, struja, tlak i vlažnost. Za to nam služe *Battery management system* te razni senzori.

Potporno sučelje - je ono preko kojeg baterijski paket ostvaruje vezu s ostatkom automobila. Tu spadaju montažni nosači koji ujedno i osiguravaju izolaciju baterije od vibracija.

2.4.2 Faktori šuma (buke)

Prema [8] faktori šuma, odnosno faktori na koje se ne može direktno utjecati su sljedeći.

Način korištenja - domet vožnje uvelike ovisi o načinu vožnje, o brzini i akceleraciji koju vozač ostvaruje prilikom vožnje. Veća brzina i akceleracija automobila iziskuje veću energiju, odnosno snagu koju baterija mora isporučiti. Zasad je većina el. automobila prilagođena za

običnu gradsku vožnju, s relativno malim dometom. Vozna podloga također ima važnu ulogu, jer ona ima direktan utjecaj na vibracije cijelog sustava.

Vibracije - sama vožnja inducira vibracije između 1-25 Hz. Baterijske ćelije vrećice imaju najlošiju otpornost na vibracije jer dolazi do porasta lokalnog naprežanja koje rezultira mehaničkim ili elektromehaničkim zatajenjem.

Temperatura okoline - kao što je već spomenuto, temperatura ima velik utjecaj na performanse baterije. Otkriveno je da svakim porastom temperature ćelije za jedan stupanj između 30-40 °C uzrokuje smanjenje životnog vijeka baterije za od prilike 2 mjeseca.[8] Nije opasna samo visoka temperatura okoline već i niska koja također onemogućuje optimalan rad baterije.

Razlika između ćelija- slučajne i neizbježne kemijske i fizičke varijacije među ćelijama mogu imati dalekosežne posljedice, jer onemogućuju precizno određivanje performansi cjelokupnog baterijskog paketa.

Dodatna opterećenja- interakcija baterije s ostatkom sustava, kao što su curenje topline iz različitih elektromehaničkih sustava, vibracije šasije, električne smetnje, hlađenje/grijanje kabine i drugi imaju utjecaj na kvalitetu baterije.

Cilj je inženjera da umanje utjecaj ovih faktora na cjelokupni sustav.

2.4.3 Tehničke specifikacije baterije

Općenito tehničke specifikacije su ono karakteristike proizvoda pomoću kojih želimo egzaktno i objektivno predočiti potrebe korisnika. Prema *United States Advanced Battery Consortium* (USABC) mjerila za ocjenjivanje performansi baterijskih paketa su prikazane na Tablica 2.

<i>Parametar</i>	<i>Minimalni ciljevi za komercijalizaciju</i>	<i>Ciljevi za budućnost</i>
Specifična energija (Wh/kg)	150	200
Specifična snaga (W/kg)	300	400
Gustoća energije (Wh/l)	230	300
Gustoća snage (W/l)	460	600
Vrijeme punjenja, h	6	4
Vijek trajanja, godine	10	10
Broj ciklusa punjenja/praznjenja	1000	1000
Pad snage i kapaciteta tokom životnog ciklusa, vrijeme %	20	10
Prodajna cijena, \$/kWh	<150	100

Tablica 2 Tehničke specifikacije baterija

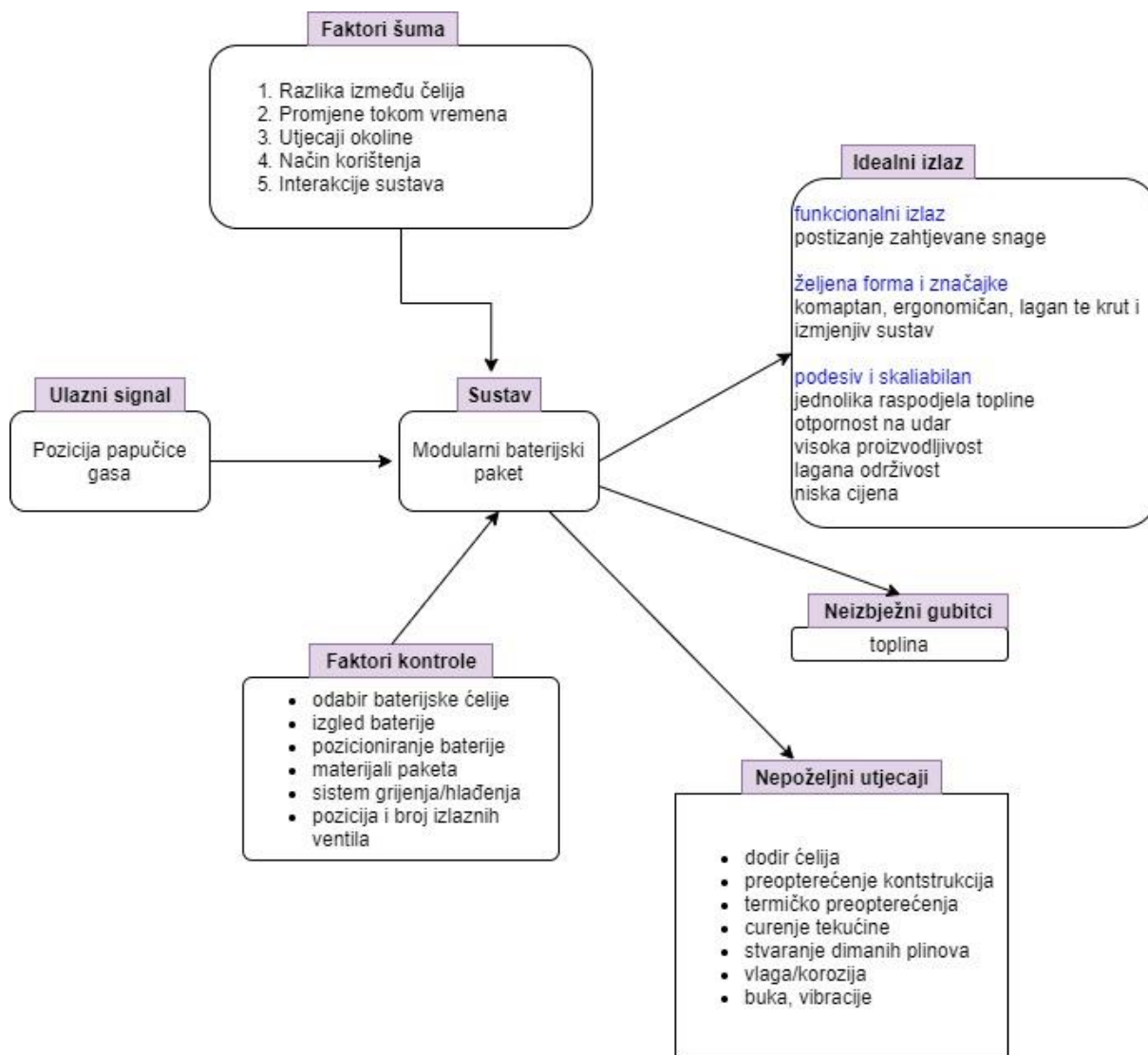
Stručnjacima u izvoru [8] navode kao rezultat svojega istraživanja da baterijski paket mora biti:

- Lagan
- Kompaktan
- Ergonomičan
- Strukturalno krut
- Lako zamjenjiv
- Termički stabilan
- Otporan na udarce
- Vatrootporan
- Lagan za proizvodnju
- Lagan za održavanje
- Imati nisku cijenu

2.4.4 P-dijagram za baterijski paket za električni automobil

Na Slika 21 je prikazan P-dijagram koji prikazuje baterijski paket kao jedan sustav. U tom sustavu su prikazani ulazni parametri koji imaju utjecaj na izlaz koji sustav daje uz moguće pogreške sustava. P-dijagram služi kako bi se dokumentirali i na jasan način prikazali gubici energije, koje svaki inženjerski sustav ima. Toplina koja se generira tokom rada baterije je tipičan primjer gubitka energije prisutnog u ovom sustavu. U svakom sustavu, tako i u ovom postoje neizbježni gubici, u ovom slučaju je to generiranje topline pri radu baterije koje degradira njezin rad. Neizbježno je dakle, da se dogodi toplinska interakcija između baterijskih ćelija i cjelokupnog sustava, a cilj je inženjera smanjenje, ili idealno, uklanjanje

nepoželjnih utjecaja na rad baterije. Dijagram omogućava uvid u sve čimbenike koji su uključeni u rad i dizajn baterija.



Slika 21 P-dijagram baterijskog paketa

2.5 Pregled tehničkih rješenja za ostvarenje funkcije baterijskog paketa

U ovom će odlomku biti opisane tehnička rješenja za pojedine zahtjeve i probleme koje se javljaju kod baterija za električni automobil. Li-ionske baterije su trenutno najzastupljenije u proizvodnji baterija za električna vozila, zbog svoje visoke gustoće snage i energije te relativno dugog životnog vijeka. No njihova osjetljivost na vibracije, netolerancija na visoke, odnosno niske temperature i tlak, te ostali faktori, predstavljaju dosta velik izazov za inženjere. Svi ovi faktori jako utječu na životni vijek baterije s toga je važno da se u što većoj mjeri smanji njihov utjecaj. [11]

Neki od najvažnijih zahtjeva koje pri razvoju baterije moraju biti ispunjena su sprječavanje širenja topline unutar modula (paketa), izolacija od vibracija, sigurnost pri sudaru, sprečavanje relativnog pomaka između ćelija te postavljanje baterijskog paketa unutar vozila.

2.5.1 Toplinsko širenje

Toplinsko širenje (eng. *Thermal runaway*) je početak egzotermne lančane reakcije u kojoj dolazi do pregrijavanja ćelije. Prekomjerno zagrijavanje ćelije može dovesti do isparavanja kemijskih tvari koje tvore dimne plinove i otpadne tekućine koje su iznimno opasne za ljude ali mogu prouzročiti i velika oštećenja unutar same baterije. Uzroci pregrijavanja baterijske ćelije mogu biti kratki spoj, preopterećenje, proizvodne greške, izloženost baterije visokim vanjskim temperaturama i sl. Ono što je također iznimno opasno kod ove pojave jest porast tlaka, koji nastaje izlaženjem dimnih plinova, unutar baterijskog paketa što može uzrokovati ne samo greške pri radu već i ozbiljna mehanička oštećenja paketa, a time i potencijalnu opasnost za korisnike.

Kontrolni faktor ove pojave jest temperatura samozapaljenja (*auto-ignition temperature* AIT). Ono što je također opasno kod ove pojave jest, kad se dimni plinovi spoje s kisikom iz zraka pri čemu dolazi do snižavanja temperature samozapaljenja te do ranije eksplozije.

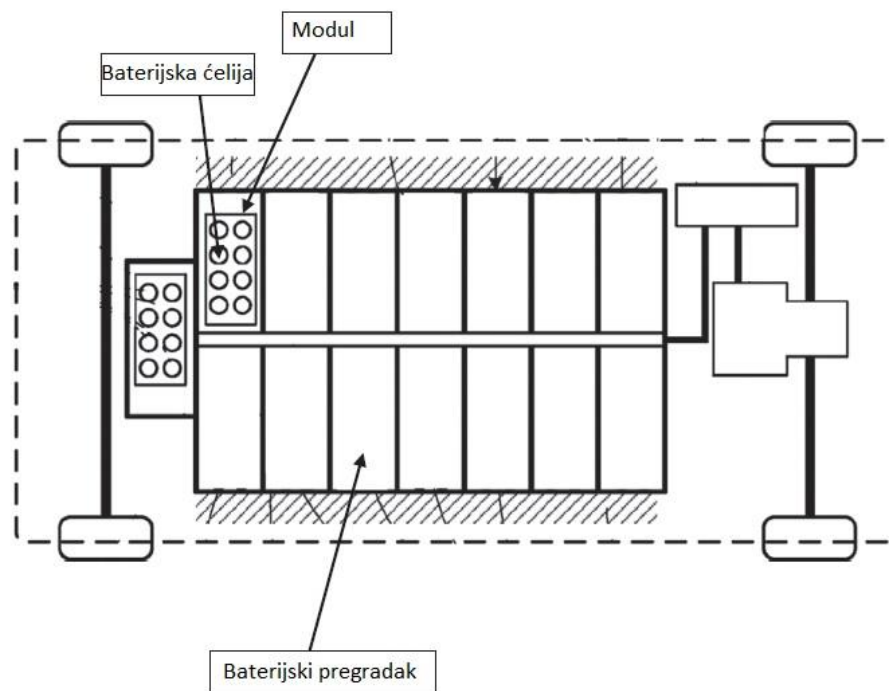
Cilj pri rješavanju ove problematike je, što je više moguće izolirati baterijski paket od ostatka sustava, naročito od onog dijela gdje su prisutni korisnici, omogućiti izlaženje plinova na siguran način, te spriječiti lančanu reakciju pregrijavanja na ostale ćelije.

Povećane temperature koje se javljaju prilikom pregrijavanja ćelije, mogu uzrokovati i topljenje ili čak isparavanje montažnih nosača. To uzrokuje pomicanje same ćelije iz originalnog položaja, što može dovesti do dodira između ćelije, čime bi se povećala efikasnost širenja topline. Za sprečavanje tog prekomjernog toplinskog širenja predlaže se izvedba baterije s termičkim barijerama na razini modula i na razini ćelija.

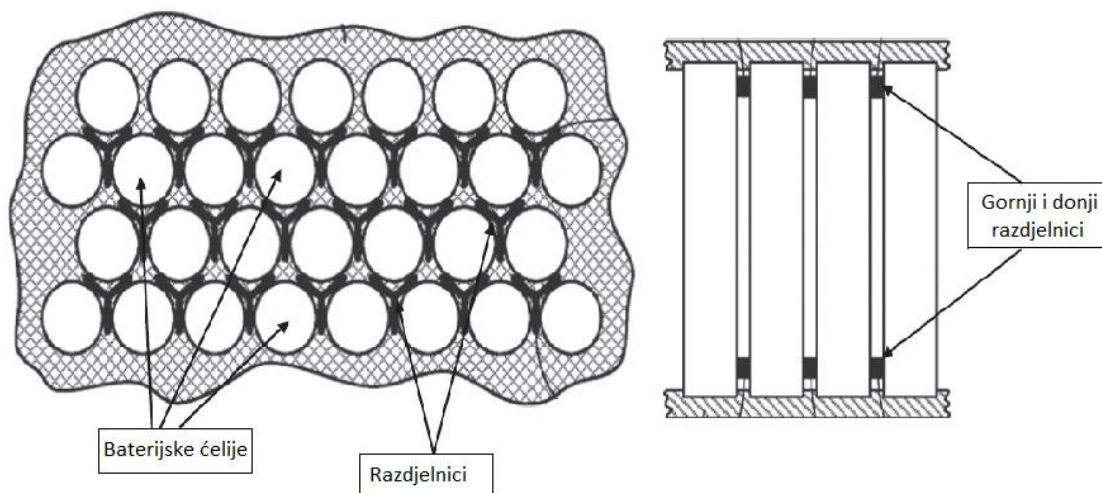
Na Slika 22 je prikazan prijedlog sprječavanja toplinskog širenja, predstavljenog u patentu (8663824) firme Tesla. U ovom rješenju su baterijski moduli postavljeni unutar baterijskog paketa u posebne pregratke, tako da između svakog modula postoji određeni međuprostor ispunjen zrakom koji je sam po sebi termički izolator te onemogućuje efektivan prijenos topline na susjedni modul.

Za sprječavanje širenja topline na razini ćelija koriste se razdjelnici koji su međusobno neovisni. Oni, osim što imaju funkciju sprečavanje širenja topline, također imaju funkciju održavanja položaja ćelije. Izvedba razdjelnika ovisi o samoj vrsti ćelija.

U patentu 8481191, koji je također izrađen u tvrtki Tesla, je predloženo sprječavanje širenja topline na razini ćelija te zadržavanje njihova položaja (Slika 22). Ovaj patent nudi rješenje za fiksaciju cilindričnih ćelija. Sa slike se vidi da su razdjelnici postavljeni pri vrhu i dnu ćelija te da su, u odnosu na visinu ćelije, vrlo niski čime se postiže niža masa cjelokupnog sustava, te veću mogućnost pristupa površini ćelije, što je dosta važni pri njezinom hlađenju.



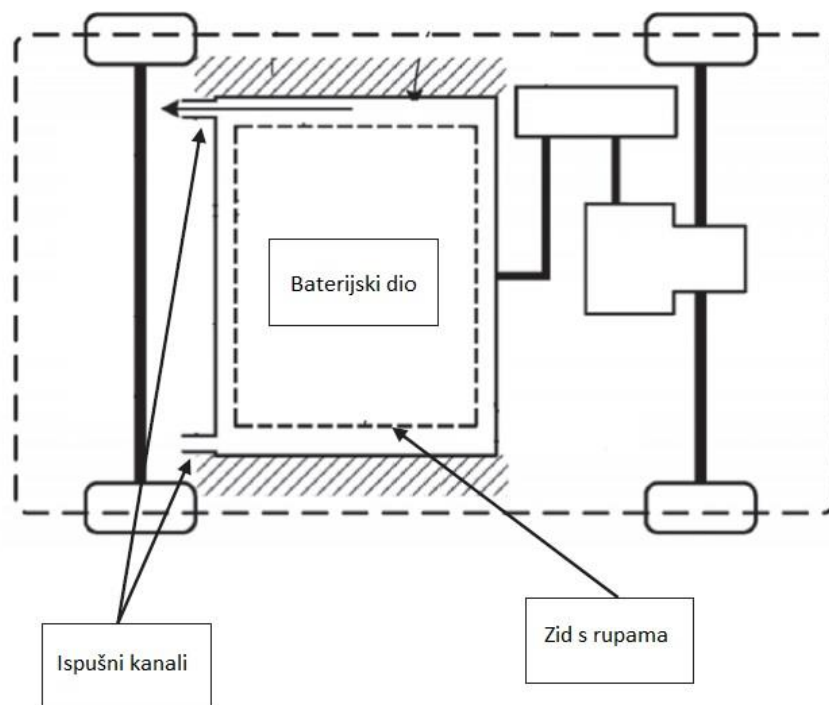
Slika 22 Toplinske barijere [11]



Slika 23 Razdjelnici ćelija [11]

Ono što je također potrebno osigurati unutar baterijskog paketa jest, mogućnost izlaženja dimnih plinova koji se mogu pojaviti prilikom pregrijavanja ćelija. Ispušne mlaznice moraju biti postavljene tako da dimni plinovi nikako ne mogu doći u blizinu putničkog dijela ili bilo kojeg prostora u kojem bi netko mogao stradati. Na slici 24 je predloženo rješenje iz patenta 8663824. Ovim se rješenjem omogućuje izlazak ispušnih plinova, a onemogućuje ulazak bilo kakvih zagađivača kao što su krhotine s ceste i vlaga. Za tu svrhu kod ovog patentnog rješenja koriste se zabrtvljene mlaznice koje ostaju zatvorene prilikom normalnog rada vozila, a aktiviraju se tek prilikom povećanja tlaka unutar baterijskog paketa. U ovom su patentu

također uključeni šupljikave strukturni (propusni zid) elementi koji dimne plinove koji nastaju unutar paketa odnose do ispušnih kanala preko kojeg štetni dimni plinovi napuštaju sustav.

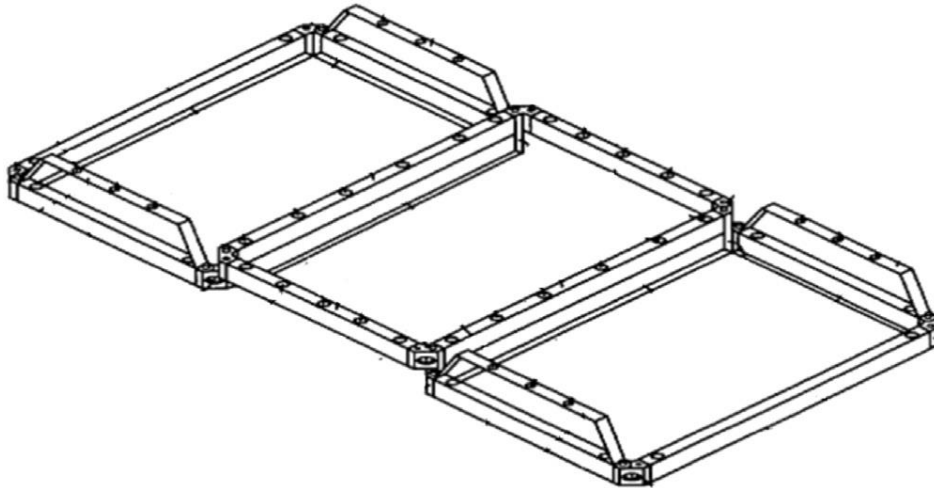


Slika 24 Sustav za odvodnju dimnih plinova [11]

2.5.2 Vibracijska izolacija

Konvencionalne baterije nisu predviđene da podnose velike vibracije i dinamička opterećenje, dok je kod baterija koje su namijenjene za električna vozila, zbog prirode korištenje, situacija drugačija. Naime, prilikom vožnje po neravnim površinama, u cjelokupnom sustavu automobila, a tako i u baterije, javljaju se dinamička opterećenja i vibracije koje su štetne i mogu uzrokovati gubitke u vodljivosti vodiča te zamoru materijala kućišta i ostalih strukturnih dijelova baterijskog paketa. Osim toga, velike vibracije također mogu uzrokovati delaminaciju slojeva unutar ćelije, što u konačnici u potpunosti onemogućuje ostvarenje njene funkcije.

Tvrtka General Motors kao rješenje ovog problema u patentu US7507499 prikazanog na Slika 25 predlaže držanje modula u okvirima koji okružuju modul po obodu, koji su poslagani prema slici. Svaki okvir se sastoji od četiri plastične grede i četiri aluminijska kutnika preko kojih se, zateznim vijcima i navojnim umetcima koji se nalaze u gredi, grede spajaju u okvir. Kako zatezni vijci prolaze kroz umetke, grede se napinju. Apsorpcija vibracija se ostvaruje preko prigušnih jastučića postavljenih između modula te na svim uglovima okvira. Prigušivači su trenjem povezani s vanjskom površinom kućišta baterije što onemogućuje gibanje baterije u vertikalnom smjeru.

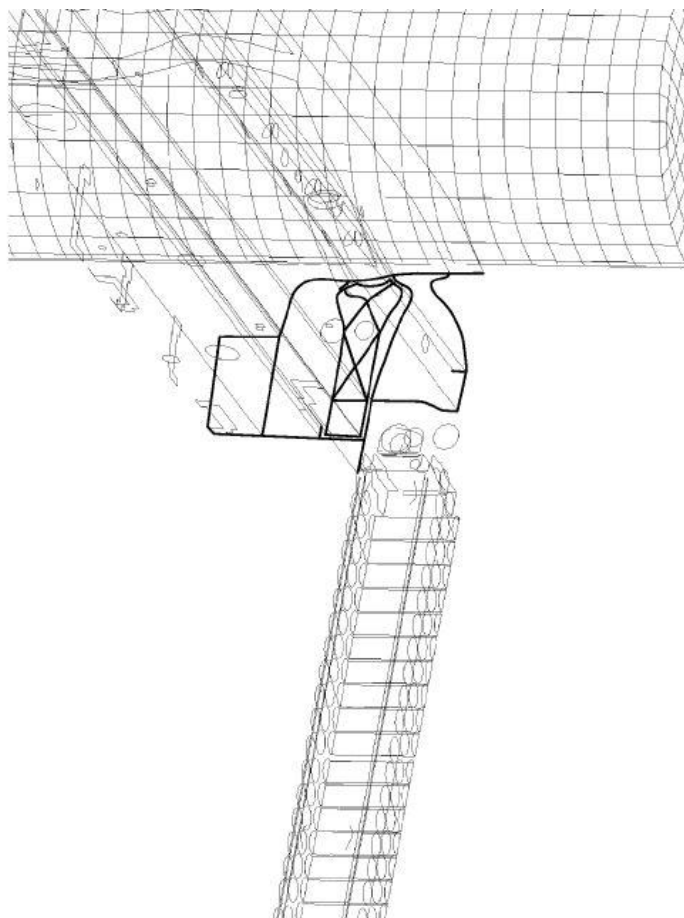


Slika 25 Sistem za povezivanje modulu i prigušenje vibracija [11]

2.5.3 Sigurnost pri sudaru

Od velike je važnosti da se baterijski paket prilikom sudara što je više moguće očuva, jer sudar može uzrokovati velika oštećenja i puknuća u bateriji koja za posljedicu mogu imati eksploziju baterije.

Tvrtka Tesla za rješavanje problematike bočnog sudara u patentu US8702161 (Slika 26) predlaže konstrukciju bočnih branika, koji imaju križnu strukturu. Bočni branici sa strukturom kakva je prikazana na slici, preuzimaju odnosno svojom deformacijom apsorbiraju, udarno opterećenje prilikom sudara.



Slika 26 Zaštita od utjecaja bočnog sudara [12]

2.5.4 Odabir materijala za izradu baterijskog paketa

Materijali od kojih je izrađen baterijski paket ima vrlo važnu ulogu za savladavanje termičkih i mehaničkih opterećenja koji se javljaju u paketu prilikom vožnje. Stoga je izbor materijala ključan kako bi se zadovoljili zahtjevi robusnog i pouzdanog dizajna.

Za izradu kućišta preporuča se da bočni i podni dijelovi budu proizvedeni od laganih, čvrstih, kemijski stabilnih te na visoke tlakove i temperature otpornih materijala, kao što su aluminijske legure, kompoziti ili legirani čelik. Gornji dio bi trebao biti izrađen od električki nevodljivog ali termički vodljivog materijala, da omogućuje odnošenje topline.

Jedna od sljedećih ključnih komponenti, koja osigurava položaj ćelija tijekom zagrijavanja ćelija, jesu odstojnici. Odstojnici bi trebali biti napravljeni od laganih, čvrstih, električki nevodljivih te toplinski iznimno slabo vodljivih materijala. Neki od materijala koji imaju ova svojstva su staklovlakna, grafit ili akril.

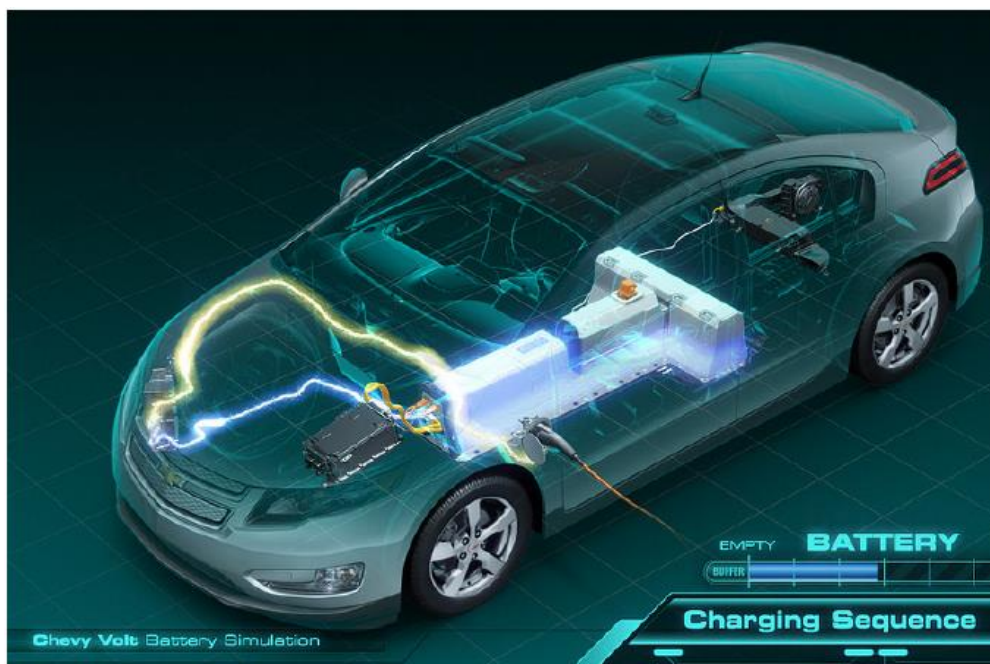
Rashladni dijelovi su također jedni od ključnih sastavnih dijelova paketa. O njima uvelike ovisi cjelokupni životni vijek baterije, stoga izbor njihova materijal ima veliku važnost. Zahtjevi za materijal rashladnih dijelova su visoka toplinska vodljivost i visoka apsorpcija vibracija. Ugljik nudi iznimno dobra svojstva apsorpcije vibracije, stoga materijali koji u sebi sadrže ugljik mogu biti prikladni za ovu uporabu.

2.5.5 Pozicioniranje i konfiguracija baterijskog paketa

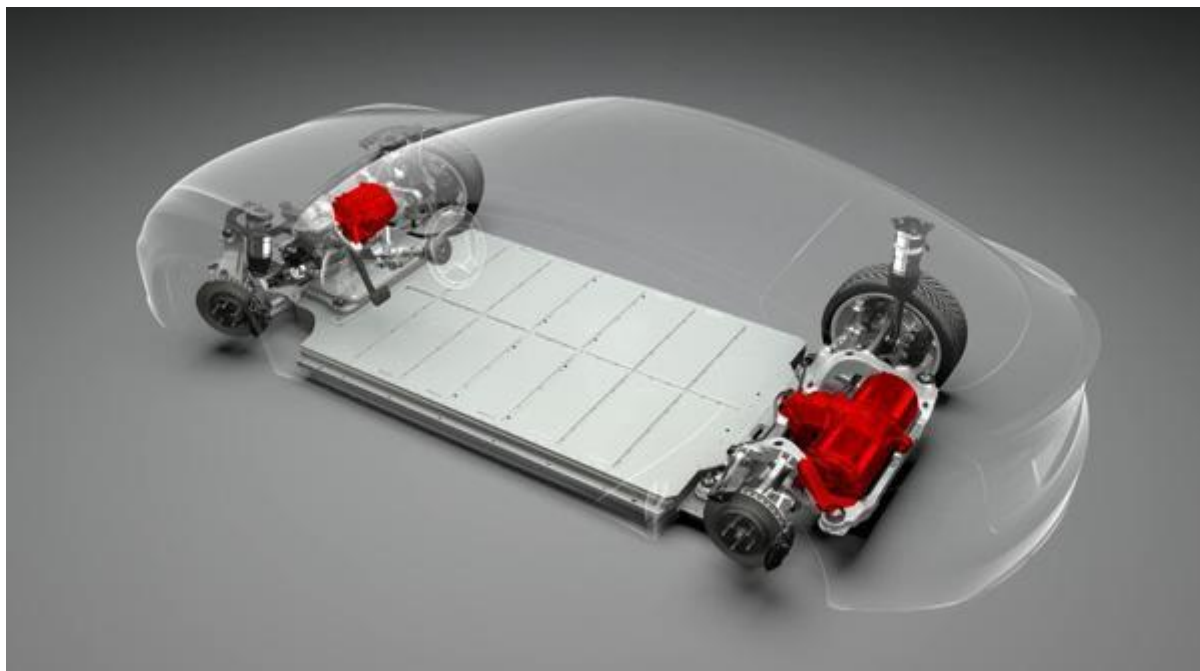
Baterijski se paketi unutar električnog automobila uvijek nastoje smještati u prostore koji su neiskorišteni. Sa gledišta dinamike vozila uvijek je cilj da se baterija pozicionira tako da je centar mase cjelokupnog automobila što niži, kako bi se minimizirala mehanička opterećenja. S toplinskog gledišta, paket mora biti postavljen tako da omogućuje cirkulaciju zraka potrebnu za hlađenje i odvođenje dimnih plinova. Kako bi se zadovoljili uvjeti električne zaštite, baterijski se paket treba tretirati kao glavni dio pogonskog sustava, kao što je motor s unutarnjim izgaranjem kod takvih automobila. Baterijski paket se mora smjestiti van dosega putnika, kako bi se putnike zaštitilo od eventualnog strujnog udara. Baterijski bi paket također treba biti što je više moguće zaštićen od utjecaja sudara. Kad sve te faktore koji utječu na pozicioniranje baterije sagledamo u cjelini, lako možemo zaključiti da je optimalno smještanje baterije u podnožju automobila. No takvo smještanje također ima svoje nedostatke, naime smještanje baterije na samom dnu daje iznimno ograničen razmak od ceste, što predstavlja velik izazov u inženjerskom smislu, jer se bateriju treba sačuvati od raznih negativnih utjecaja kao što su zaštita od udara krhotina s ceste i slično.

Dvije su osnovne konfiguracije tj. oblika baterijskih paketa unutar el. automobila. „T oblik“, koje se npr. koristi u bateriji za GM Chevrolet Volt prikazan (Slika 27) . Ovakav oblik i pozicioniranje baterijskog paketa omogućuju da se baterijski paket nalazi u „sigurnoj zoni“ automobila, odnosno na relativnoj sredini gdje je dobro zaštićen od utjecaja bočnog i prednjeg sudara. Dio koji je u odnosu na smjer vožnje okomit, odnosno kraći dio baterije je smješten ispod stražnjih sjedala, a duži dio prolazi kroz tunnel između prednjih sjedala.

Drugi oblik baterijskog paketa je „Floor“ odnosno podna konfiguracija. Ovaj oblik koristi npr. Tesla Model S (Slika 28). Kod ovog oblika baterijske ćelije su smještene u plosnatom kućištu smještenom na dnu, ispod poda putničke kabine. Ovakav oblik maksimizira prostor kabine i prostor iskoristiv za stavljanje prtljage. Ovakva konfiguracije također povećava stabilnost vozila zbog toga što snižava centar mase. Ono što je nedostatak ove konfiguracije je veća izloženost baterije utjecajima vozne podloge te teža zaštita od sudara.

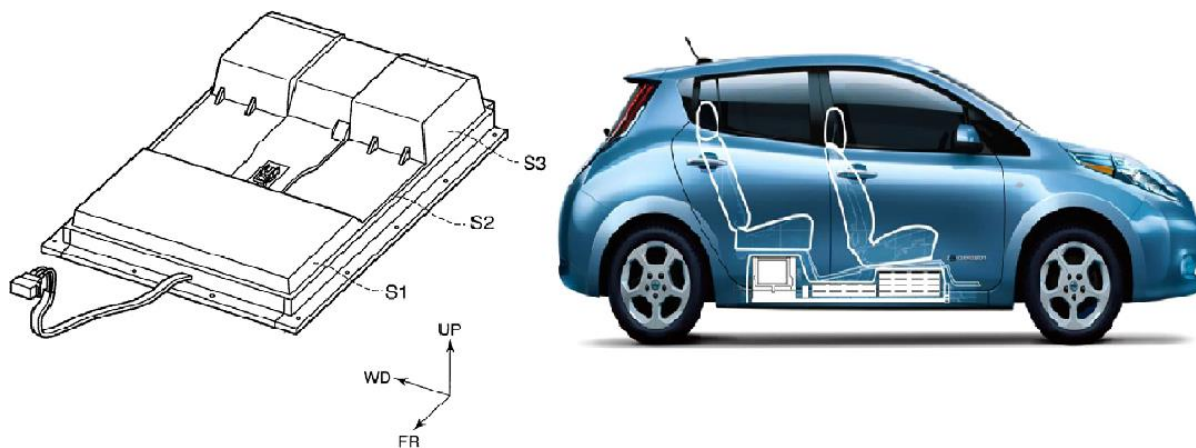


Slika 27 „T oblik“ baterijskog paketa u automobilu Chevrolet Volt [8]



Slika 28 „Floor“ konfiguracija baterijskog paketa (Tesla Model S)

Tvrtka Nissan je u svom patentu US8561743 predstavila metodu smještanja i oblikovanja baterijskog paketa tako da se maksimizira raspoloživ prostor bez da se ugrožava sigurnost putnika i dinamika vozila (Slika 29). Ovaj oblik baterije podijeljen je u 3 sektora, S1, S2 i S3. Sektor S3 je najviši ali i najuži (gledanu u smjeru vozila) te je smješten ispod stražnjih sjedala, sektor S2 koji se nalazi ispod poda kabine, produžetku, niži je od S3 čime se ostvaruje veći podni prostor u stražnjem dijelu kabine. Sektor S1 nalazi se ispod prednjih sjedala te je nešto niži od sektora S3, čime su automatski i prednja sjedala niža od stražnjih. To omogućuje putnicima na stražnjim sjedalima dobar pregled okoline.

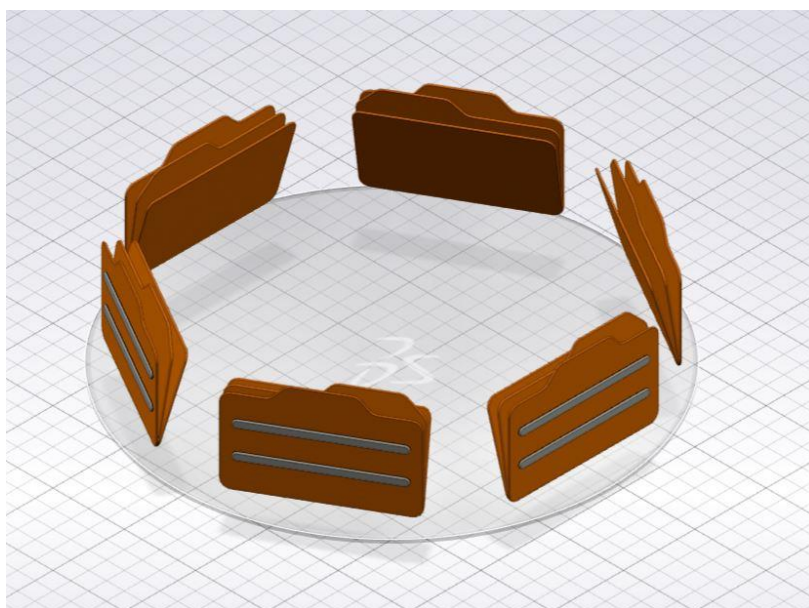


Slika 29 Nissanova konfiguracija baterijskog paketa [11]

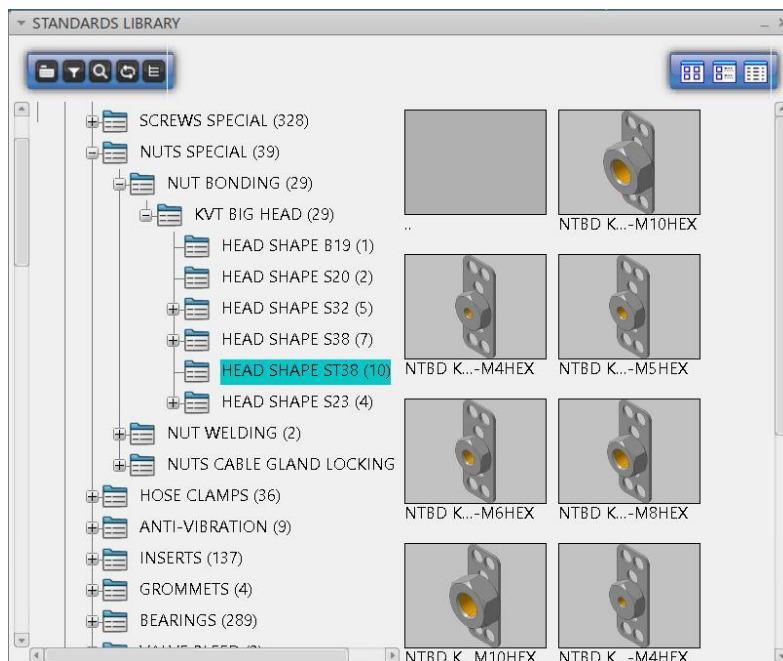
3 Izrada kataloga za „Battery system engineering“ odjel firme Rimac-automobili

3.1 Katalog unutar 3DEXPIRIENCE programa

Jedan od alata koji se unutar 3DEXPIRIENCE programskog paketa može koristiti kao baza podataka jest katalog (*Catalog*). Njegov grafički prikaz u programskom paketu prikazan je na Slika 30. Katalog je dio PLM sustava koji je integriran u ovaj programski paket. Ovaj se alat najčešće koristi kao svojevrsna biblioteka za standardne komponente, no u ovom radu će ova aplikacije biti korištena kao platforma i za ostale dijelove. Katalog sadrži poveznice i grafičke prikaze komponenti, te omogućuje jednostavan pristup tim komponentama. Katalog omogućuje pohranu podataka u mape (Slika 30) koje omogućuju jednostavnu podjelu i olakšano pregledavanje. Pregledavanje sadržaja kataloga moguće je otvaranjem samog kataloga, ali i unutar *Physical Product (Assembly)* aplikacije, u kojoj inženjer izrađuje određeni sklop (Slika 31). Prilikom rada u toj aplikacije omogućen je pristup, odnosno korištenje dijela koji je sadržan u katalogu, što znatno olakšava rad inženjera. Osim toga prilikom pregledavanja kataloga unutar *Physical Product* aplikacije vidljiv je i grafički prikaz komponente.



Slika 30 3DEXPIRIENCE Katalog



Slika 31 Pregledavanje kataloga unutar *Physical Product* aplikacije

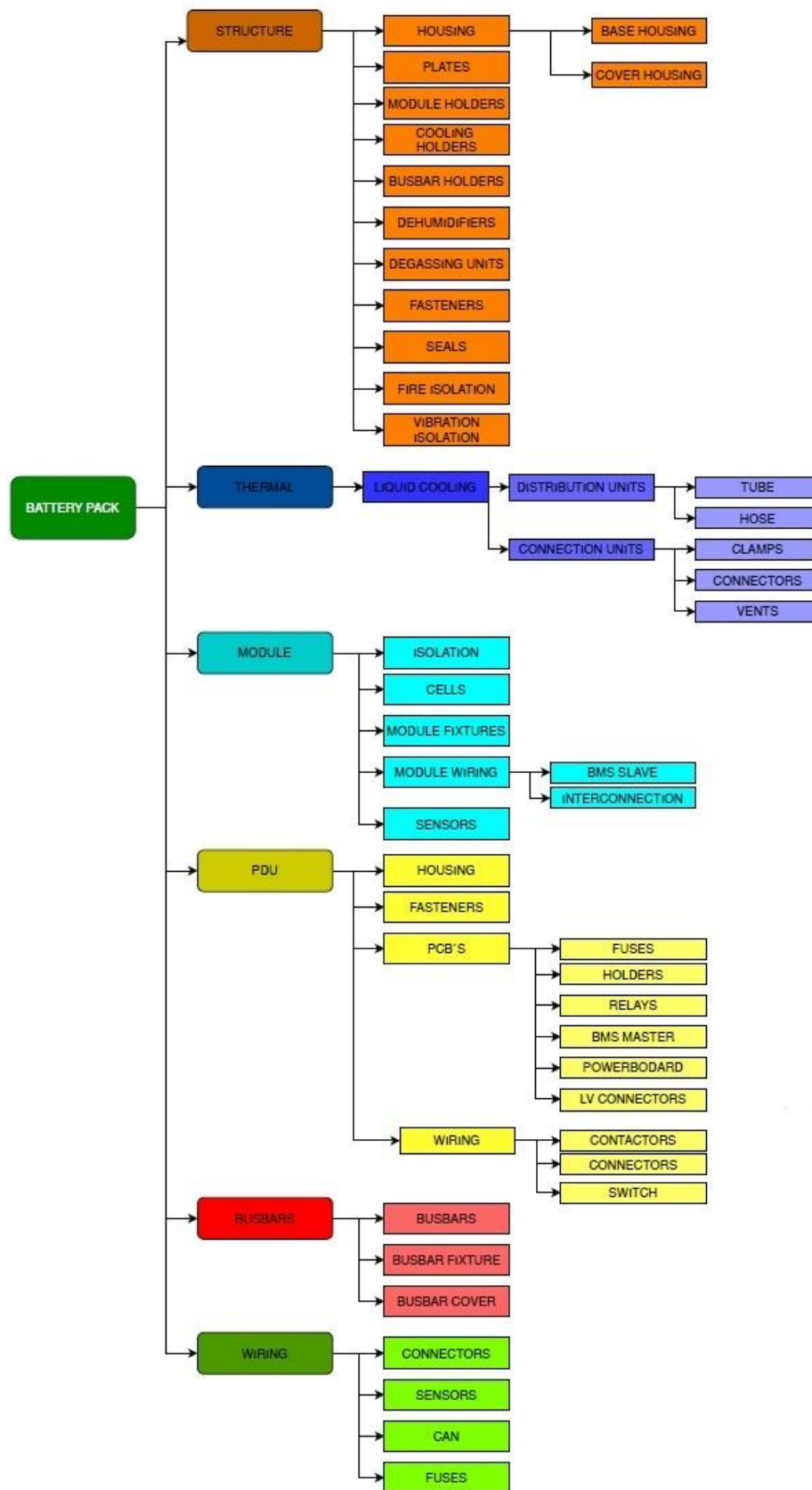
3.2 Izrada kataloga za baterije

Za izradu ovoga rada provedena je analiza CAD modela baterijskog paketa Concept Two (C2) Rimac automobila. Na Slika 32 prikazan je baterijski paket za C2 bez gornjeg kućišta u proizvodnoj fazi.



Slika 32 Baterijski paket za C2

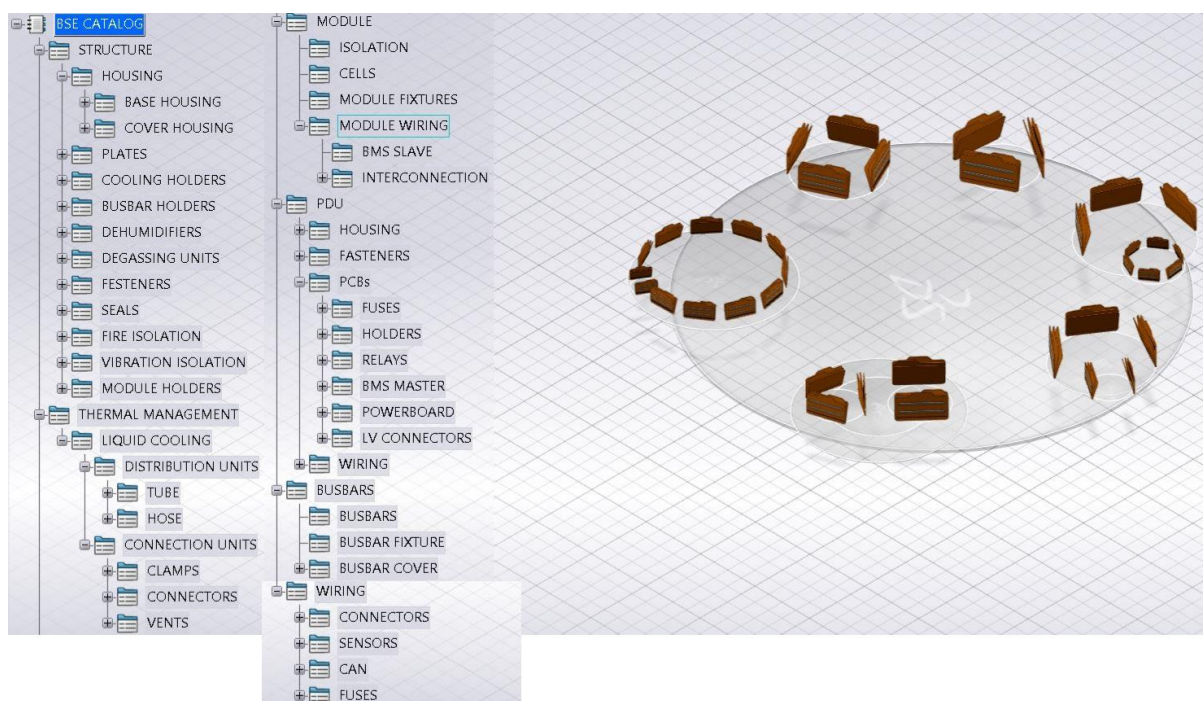
Analizom 3D modela baterijskog paketa prikazanog na Slika 32 te uzimanjem u obzir prethodno provedene analize baterijskih sustava predlaže se sljedeća podjela kataloga za baterijski sustav (Slika 33).



Slika 33 Podjela kataloga

Slika 34 prikazuje katalog za pohranu i korištenje u njemu pohranjenih podataka, namijenjen *Battery System Engineering* odjelu tvrtke Rimac automobili izrađenog u programskom paketu 3DEXPERIENCE. Kao što je vidljivo sa slike 34 katalog prati podjelu prikazanu na Slika 33. Osnovna podjela kataloga je na strukturni dio (*Structure*), toplinsko upravljanje (*Thermal management*), modul (*Module*), jedinica za upravljanje snagom (*Power Distribution Unit*), kablovi (*Busbars*) i ožičenje (*Wiring*). Imena mapa su na engleskom jeziku jer je tvrtka Rimac višenacionalna i službeni jezik je engleski. Katalog je podijeljen po glavnim funkcionalnim dijelovima baterijskog sustava. Glavna je funkcija kataloga je da olakša i omogući inženjerima baterijskog odjela pregledavanje i eventualno korištenje komponenti sadržanih u katalog, te uvid u dosadašnja rješenja pojedinih funkcionalnosti.

Sa Slika 34 se također može vidjeti način funkcioniranja kataloga. Prilikom otvaranja kataloga pojavljuju se osnovne mape (*Structure, Thermal Management, itd.*). Otvaranjem osnovnih mapa otvaraju se podmape koje pripadaju toj mapi. Njihov hijerarhijski slijed lako je uočiti po veličini grafičkog prikaza mape.



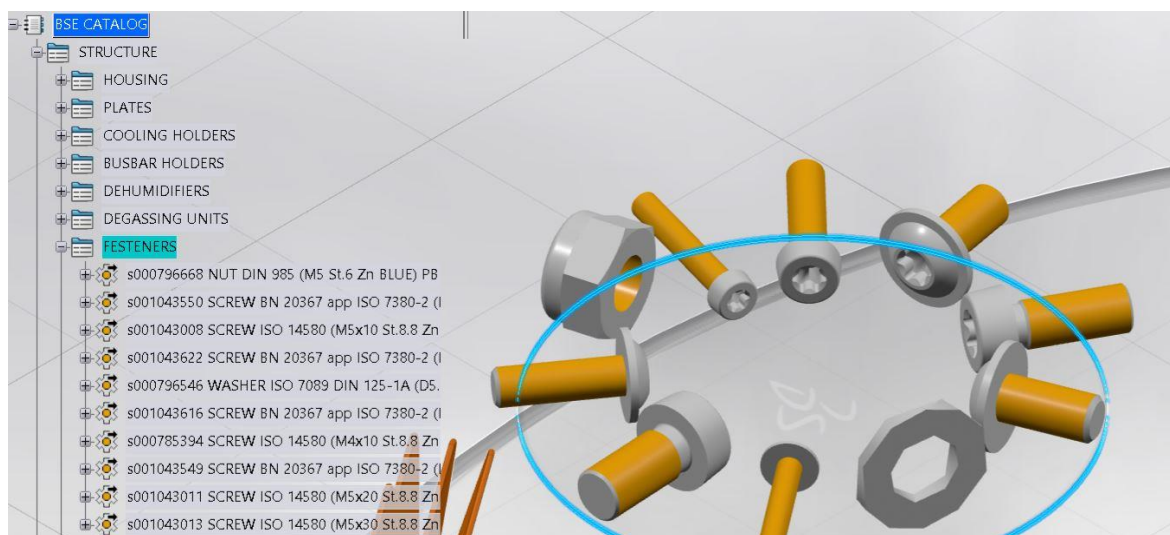
Slika 34 *Battery System Engineering Catalog*

3.2.1 *Structure* (Strukturni dio)

U ovome dijelu kataloga su smješteni svi dijelovi kojima je funkcija očuvanje mehaničke stabilnosti i povezivanja baterijskog paketa s ostatkom sustava (automobila).

Ovaj je dio kataloga podijeljen na podmape. U mapi **Housing** se nalaze dijelovi kućišta baterijskog paketa, koji su najčešće podijeljeni na gornji (*cover*) i donji (*base*) dio te dijelove koji su potrebni za njegova spajanje i učvršćivanje. U podmapi **Plates** se nalaze dijelovi izrađeni od lima koji unutar paketa ostvaruju strukturnu stabilnost i mehaničku ujedinenost cijelog sustava. Primjer za ovu podskupinu su metalne ploče od kojih je napravljen „tunel“ između prednjeg i stražnjeg dijela baterijskog paketa. U podskupini **Module holders** su dodani nosači baterijskih modula, koji imaju iznimno važnu ulogu jer osiguravaju položaj

modula. **Cooling holders** sadrži dijelove koji osiguravaju položaj cijevi koje provode rashladnu tekućinu unutar baterijskog paketa. Unutar podskupine **Busbar holders** nalaze se dijelovi koji osiguravaju položaj visokonaponskih kablova (*busbar*) kojima se prenosi električna energija s modula do jedinice za upravljanje snagom (PDU). Unutar **Dehumidifiers** podskupine nalaze se odvlaživači, oni su nužni za zaštitu baterijskih ćelija od vlage koja ima vrlo štetno djelovanje na svojstva baterija. Mapa **Degassing units** sadrži dijelove koji su zaduženi za odvođenje dimnih plinova iz baterijskog paketa. Unutar podskupine **Fasteners** nalaze se svi dijelovi kojima se povezuju i učvršćuju ostali dijelovi sustava. Dijelovi kao što su vijci, matice, zakovice i sl. Podskupina **Seals** sadrži sve brtvene dijelove. **Fire isolation** podskupina sadrži dijelove čija je funkcija sprječavanje požara u baterijskom paketu. Posljednja podskupina je **Vibration isolation** koja sadrži dijelove primijenjene za smanjenje utjecaja vibracija unutar baterijskog sustava. Na Slika 35 je prikazan primjer pregledavanja spojnih dijelova korištenih pri izradi baterijskog paketa za C2. Na slici se također može vidjeti kako izgleda otvaranje zadnje mape. Tek zadnja mapa (hijerarhijski gledano) sadrži grafičke prikaze konkretnih dijelova.



Slika 35 Structure-Fasteners

3.2.2 Thermal Management (Toplinsko upravljanje)

U ovome dijelu kataloga nalaze se strukturni dijelovi uključeni u *Thermal Management System*. Unutar tvrtke se dosada nije koristilo hlađenje zrakom, stoga je taj dio kataloga izostavljen, a napravljena je samo mapa **Liquid cooling**.

Ovaj dio kataloga ima podjelu na **Distribution** i **connection units**. U podskupinu **Distribution units** spadaju dijelovi koji imaju funkciju prenošenja rashladne tekućine, a to su najčešće krute cijevi (**Tube**) i fleksibilna crijeva (**Hose**). **Connection units** sadrži dijelove koji služe za spajanje cijevi, crijeva te spajanje dijelova za prijenos tekućine s konačnim rashladnim tijelima, kao što su npr. rashladne ploče koje se nalaze iznad i/ili ispod ćelija, unutar modula. Ti dijelovi su najčešće stezaljke (**Clamps**), hidrauličke spojke (**Connectors**) te različiti ventili (**Vents**) kojima se regulira protjecanje tekućine. Na Slika 36 je prikazan primjer pregledavanja dosad korištenih stezaljki za spajanje cijevi.



Slika 36 Thermal Management-Clamps

3.2.3 Module (Modul)

Ovaj dio kataloga se odnosi na dijelove koji se nalaze unutar modula. Modul se najčešće može promatrati kao zaseban sustav unutar baterijskog paketa, jer već sam po sebi može vršiti esencijalnu funkciju baterije, a to je distribucija električne energije.

Modul je podijeljen na 5 podskupina. **Isolation** podskupina uključuje sve dijelove modula koje osiguravaju električnu, toplinsku i mehaničku izolaciju od ostatka baterijskog paketa. Čelije (**Cells**) su najvažniji funkcionalni dijelovi baterijskog paketa, a najčešće se nalaze unutar modula, stoga su smještene u ovome dijelu kataloga. **Module fixtures** su oni dijelovi koji služe za spajanje i učvršćenje modula s ostatkom paketa. Ožičenje unutar modula (**Module wiring**) sadrži dijelove koji služe za serijsko odnosno paralelno spajanje baterijskih ćelija (**Interconnection**) te dijelova koji služe za upravljanje baterijom na razini modula (**BMS Slave**). Unutar modula postavljeni su senzori (**Sensors**), najčešće samo toplinski senzori.

3.2.4 Power Distribution Unit (PDU) (Jedinica za prijenos snage)

PDU je dio preko kojega se upravlja prijenos električne energije na ostale dijelove automobila. PDU se sastoji od kućišta (**Housing**), spojnih elemenata (**Fasteners**), matičnih ploča (**PCB's**) te glavnih funkcionalnih dijelova, kao što su osigurači (**Fuses**), nosača (**HOLDERS**), releja (**Relays**), glavnog BMS-a (**BMS Master**) preko kojeg se regulira rad BMS-ova ugrađenih u module (**BMS slave**), **Powerboard-a** te niskonaponskih konektora. Unutar PDU-a postoji ožičenje (**Wiring**) preko kojega se ostvaruju spojevi između komponenti kao što su sklopnici (**Contactors**), konektori (**Connectors**) preko kojih se ostvaruje spoj ostalih komponenti (npr. invertera) s PDU-om te prekidača, preko kojega se može ručno obustaviti rad baterije (**Switch**).

3.2.5 Busbars (Kablovi)

Busbar je kabel relativno velikog poprečnog presjeka kojim se ostvaruje funkcija serijskog spajanja modula, te prenošenja električne energije do PDU-a. Ova skupina se sastoji od visokonaponskih kablova (**Busbars**), elemenata korištenih za njihovu fiksaciju (**Busbar fixture**) te dijelova za zaštitu kablova na spojevima (**Busbar cover**).

3.2.6 Wiring (Ožičenje)

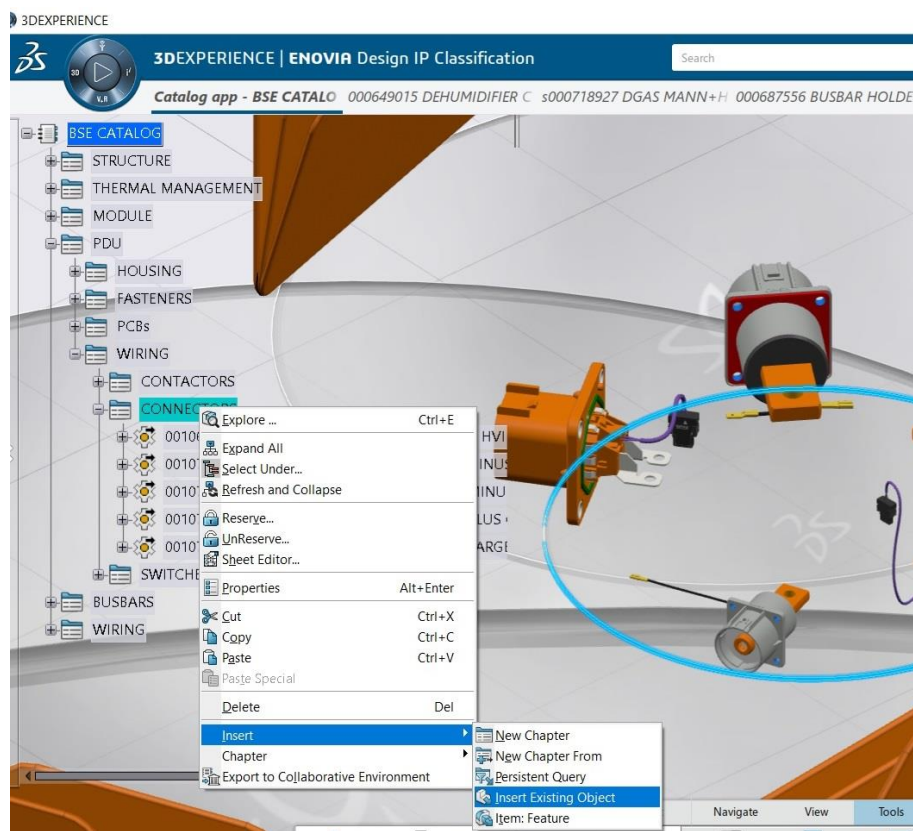
Unutar baterijskog paketa postoji ožičenje koje se proteže kroz cijeli baterijski paket, a služi za spajanje određenih dijelova sustava, kao što su npr. senzori, *BMS slave-BMS master* i slično. Podjela unutar ovoga dijela je sljedeća. Konektori (*Connectors*) preko kojih se ostvaruje spoj radnog elementa i kabela. Senzori (*Sensors*) koji detektiraju određena stanja unutar modula ili cjelokupnog paketa. *CAN* se odnosi na konkretno ožičenje, na putanje žica i njihovu konfiguraciju. Zadnja skupina su osigurači (*Fuses*).

4 Uporaba kataloga

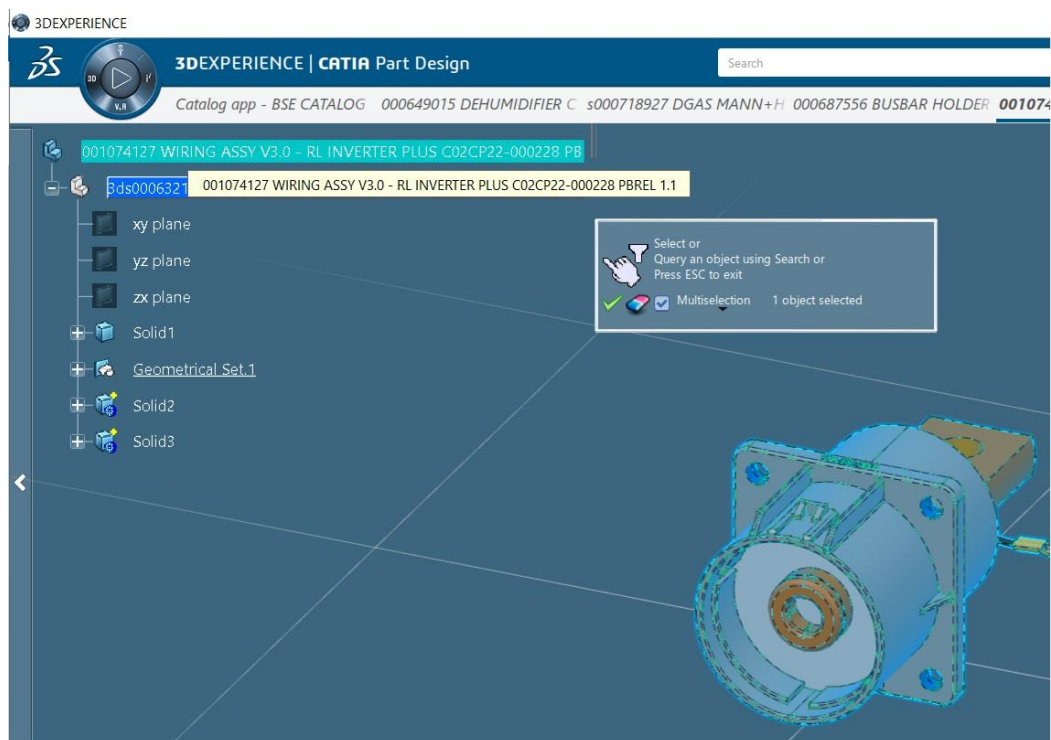
Katalog za *Battery System Engineering* (BSE) odjel tvrtke Rimac automobili je izrađen kao svojevrsni *Single source of truth*. Ovaj pojam pojašnjen je u odjeljku 1.1.6. Katalog služi za pohranu podataka ovoga odjela, te pristup podacima svim inženjerima ovoga odjela. U ovoj fazi u katalogu su smještene komponente, odnosno dijelovi korišteni na projektu izrade baterijskog paketa za Concept_TWO. Dvije su osnovne operacije koje se nude unutar ove aplikacije, a to su unošenje dijelova u katalog i pregledavanje dijelova iz kataloga.

4.1 Unošenje dijelova (podataka) u katalog

Unošenje komponenti u katalog je relativno jednostavan postupak, a prikazan je na Slika 37 i Slika 38. Inženjer koji želi u katalog unijeti novu komponentu prvo mora znati kojoj mapi, odnosno podskupini pripada taj dio. Sama podjela kataloga olakšava taj postupak. Na slikama 37 i 38 možemo pratiti primjer unošenja konektora za spoj PDU-a s pretvaračem (*inverter*). Inženjer nakon što je odredio podmapu kojoj određeni dio pripada, otvara tu podmapu, te desnim klikom miša otvara prozor. U tom prozoru odabire opciju *Insert* pa *Insert existing object*. Nakon toga otvara željeni dio te ga odabire i potvrđuje unos dijela. Time je dio dodijeljen mapi u katalogu. Nakon što je komponenta/dio dodijeljen mapi, on postaje vidljiv u katalogu svim ostalim inženjerima.



Slika 37 Unošenje komponente u katalog 1

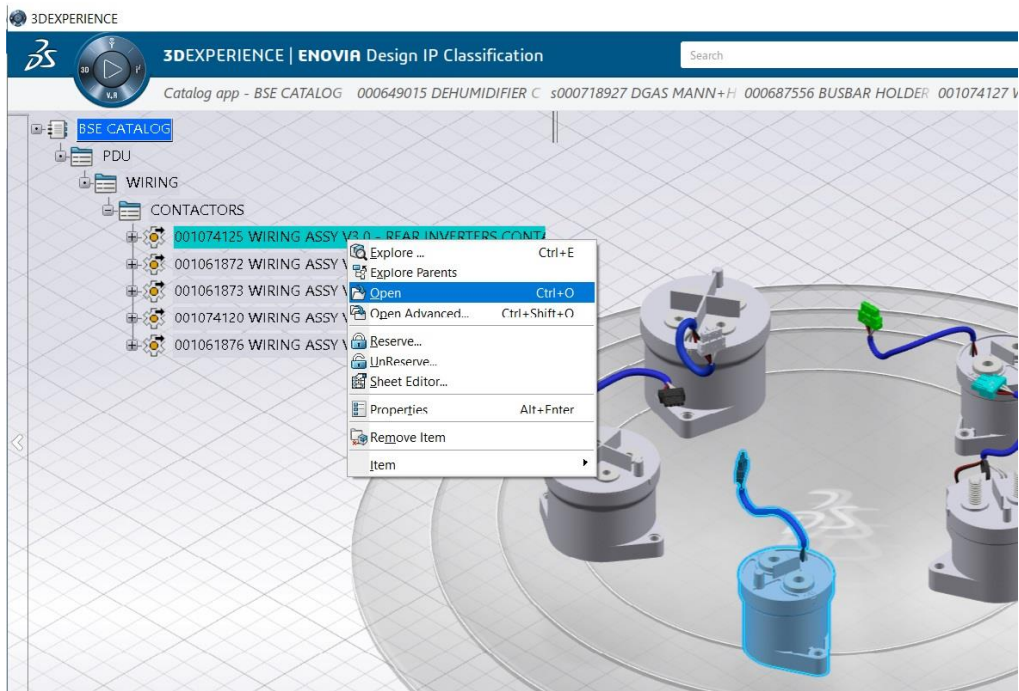


Slika 38 Unošenje komponente u katalog 2

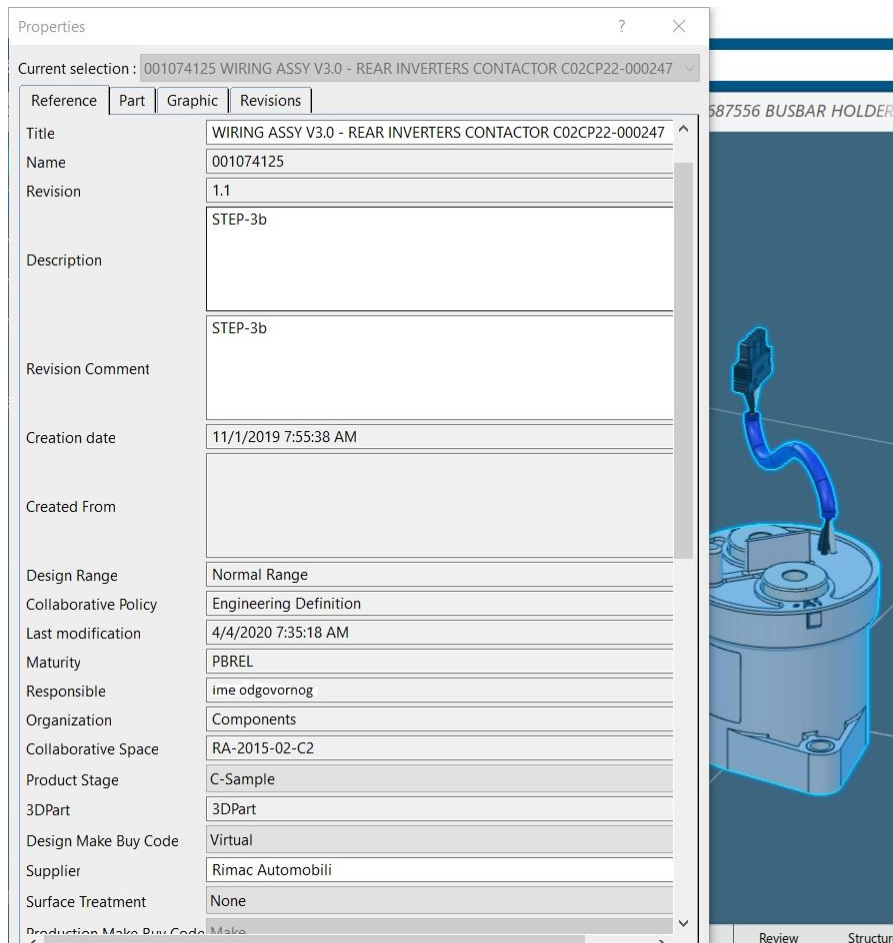
4.2 Pregledavanje kataloga

Katalog, kao što je već spomenuto, inženjerima može poslužiti za pregledavanje rješenja pojedinih funkcionalnosti. Postupak pretraživanje je sljedeći:

Kako bi opisali postupak pregledavanja možemo pratiti primjer sa Slika 39 i Slika 40. Inženjer želi pogledati koju su se sklopnici do sada koristili unutar PDU radne jedinice. Otvara željenu mapu u katalogu, odabire komponentu koja ga zanima (npr. sklopnik za pretvarač) te ga jednostavnim postupkom može otvoriti. Kada je model otvoren, inženjer u njemu može pregledati geometriju i sva svojstva, odnosno attribute. Iako je nedostatak ovakvog načina pregledavanja ne stavljanje dijelu u kontekst projekta, najčešće se projekt u kojem je dio korišten može vidjeti iz attribute *Collaborative Space*. Međutim to podrazumijeva da je inženjer dobro upućen u imena ostalih projekata, koja često nisu posve jednoznačno opisana. Funkcionalnost dijela se također često da iščitati iz imena dijela.



Slika 39 Pregledavanje kataloga 1



Slika 40 Pregledavanje kataloga 2

4.3 Prednosti kataloga

Uporabom kataloga utvrđene su sljedeće prednosti koje se mogu ostvariti ovakvim korištenjem kataloga:

- Jednostavnost korištenja
- Brzo pretraživanje komponenti, dosta dobro za pretraživanje i odabir standardnih dijelova
- Pregledno strukturirani podaci
- *Single source of truth*
- Mogućnost uporabe već korištenih komponenti
- Mogućnost pronalaženja osobe odgovorne za određeni dio
- Kontrola unošenja podataka
- Brza pohrana CAD modela
- Strukturiranost i preglednost podataka

4.4 Nedostatci kataloga

Nedostatci koji su prisutni u ovakvom načinu korištenja kataloga su sljedeći:

- Ne stavljanje dijela u cjelokupni kontekst projekta
- Neprilagođeno za nestandardne dijelove koji često pojedinačno ne donose određeni smisao
- Ovom aplikacijom nije omogućen uvid u smisao uvođenja određene komponente – možemo vidjeti koja je komponenta uvedena, ali ne i zašto, iako se nerijetko iz naslova da odrediti funkcionalnost dijela no to nije pravilo
- Pregledavanje atributa često ne daje jasan opis dijela
- Ne ostvaruje se funkcionalni opis dijela
- Aplikacija nije pogodna za pohranjivanje znanja

5 ZAKLJUČAK

Provedbom analize baterijskih sustava možemo uočiti njihovu važnost u cjelokupnom sustavu vozila. Razvoj baterijskih sustava je iznimno važan u daljnjem razvoju automobilske industrije te će o njemu uvelike ovisiti elektrifikacija transporta. Trenutno su na tržištu najzastupljenije Li-ionske baterije, zbog najveće gustoće energije i najveće dugotrajnosti. Iako daljnji razvoj baterija ovisi više o razvoju kemijskih i strukturnih konfiguraciji baterijskih ćelija, cilj je razvojnih inženjera baterijske sustave učiniti što efikasnijima. Glavni izazovi pri tomu su hlađenje/grijanje baterija, smanjenje utjecaja vibracija, smještanje baterijskog paketa, odabir materijala, održanje strukturne stabilnosti ćelija itd. Kako bi proces razvoja baterijskih paketa bio što efikasniji izrađen je katalog za pohranu i primjenu dosadašnjih rješenja. Katalog je u ovom slučaju iskorišten i primijenjen kao primjena PLM-a (*Product Lifecycle Management*), koji općenito za cilj ima holistički pristup vođenja procesa. Integracijom PLM-a tvrtke ostvaruju unaprjeđenje poslovnih procesa jer se razvojem proizvoda upravlja od samog idejnog začetka do zastarijevanja proizvoda.

U ovome radu kao praktična primjena PLM-a izrađen je katalog s dijelovima i komponentama korištenim na projektu razvoja baterijskog paketa za Concept_TWO sportskog automobila izrađenog u tvrtci Rimac-automobili.

Katalog je izrađen pomoću aplikacije *Catalog* unutar programskog paketa 3DEXPIRIENCE. Aplikacija *Catalog* nudi unošenje, pregledavanje i korištenje dijelova koji su u njemu sadržani.

Prednosti koje su ostvarene izradom ovog kataloga su jednostavno korištenje, brzo pregledavanje i pronalaženje potrebnih komponenti, olakšan pristup modelima dijelova, lako dostupna baza podataka, strukturiranost podataka.

Nedostatci ove aplikacije su ne stavljanje dijela u kontekst cjelokupnog sustava jer su dijelovi u katalogu raspoređeni zasebno, ne ostvaruje se funkcionalni opis dijela. Ova aplikacija nije prilagođena za smještanje nestandardnih dijelova, jer se iz kataloga može pristupiti samo modelu tog dijela koji sam po sebi, bez uzimanja u obzir ostatka sustava najčešće ne donosi smisao.

(*Battery System Engineering*) BSE katalog pokazao se primjenjivim za pohranu standardnih dijelova jer oni sami po sebi vrše funkciju dok je za nestandardne dijelove teško primjenjiva i neadekvatna.

Aplikacija *Catalog* se pokazala djelomično primjenjivom s obzirom na predodređenu funkciju, funkciju sabiranja stečenih znanja i primjena podataka u svrhu unaprjeđenja procesa razvoja baterijskih paketa.

LITERATURA

- [1] John Stark: Product Lifecycle Management Volume 1: 21st Century Paradigm for Product Realisation
- [2] <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/>
- [3] <https://www.contact-software.com>
- [4] Nenad Bojčetić: Skripta iz kolegija TIS
- [5] <https://www.upchain.com/>
- [6] <https://www.cadcam-group.eu/>
- [7] <https://www.rimac-automobili.com/>
- [8] Shashank Arora, Ajay Kapoor, Weixiang Shen :Application of Robust Design Methodology to Battery Packs for Electric Vehicles: Identification of Critical Technical Requirements for Modular Architecture
- [9] Johnson Matthey Battery System: Our Guide to Batteries
- [10] Johnson Matthey Battery System: Flexible hardware architecture for battery management systems
- [11] Shashank Arora, Ajay Kapoor, Weixiang Shen: Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles
- [12] US8702161 patent
- [13] <https://insideevs.com/>
- [14] <https://blog.perfion.com/de/was-ist-pdm>
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle
- [16] Mario Štorga, Stanko Škec: Skripta iz kolegija Teorija konstruiranja; Upravljanje životnim vijekom proizvoda
- [17] Ivica Bervida, Vedran Tare: PLM Methodology