

Primjena materijala u automobilskoj industriji

Kicivoj, Renato

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:079080>

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

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



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

Primjena materijala u automobilskoj industriji

Završni rad br. 05/MEH/2020

Renato Kicivoj

Bjelovar, listopad. 2020.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Kicivoj Renato**

Datum: 06.07.2020.

Matični broj: 001754

JMBAG: 0314016684

Kolegij: **TEHNIČKI MATERIJALI**

Naslov rada (tema): **Primjena materijala u automobilske industriji**

Područje: **Tehničke znanosti**

Pojlje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik**
2. **dr.sc. Stjepan Golubić, mentor**
3. **Danijel Radočaj, mag.inž.meh., član**

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 05/MEH/2020

U radu je potrebno:

- prikazati razvoj materijala kroz povijest
- prikazati i opisati materijale koji se koriste u automobilske industriji
- prikazati udjele pojedinih vrsta materijala kod osobnih i kod trkaćih automobila
- prikazati svojstva najčešće korištenih materijala
- povezati razlike osobnih i trkaćih automobila vezano za primjenjene materijale
- prikazati najnovija kretanja u automobilske industriji vezano uz nove materijale.

Zadatak uručen: 06.07.2020.

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**



Zahvala

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Stjepanu Golubiću dipl.ing na pomoći i savjetima oko pisanja završnog rada.

Također, zahvaljujem se svim profesorima na Veleučilištu kao i svojim roditeljima koji su me podržavali kroz cijelo moje obrazovanje.

Sadržaj

POPIS SLIKA	vi
POPIS TABLICA.....	vii
1. UVOD	1
2. RAZVOJ MATERIJALA KROZ POVIJEST	2
2.1 Specijalno željezo.....	3
2.2 Aluminijski materijali.....	4
2.3 Tradicionalni metali.....	5
2.4 Kompozitni materijali.....	5
2.5 Polimerni materijali.....	6
3. RAZVOJ MATERIJALA ZA AUTOMOBILE.....	7
3.1 Šasija	7
3.2 Ovjes.....	9
3.3 Mjenjač.....	10
3.4 Spojka	12
4. ZAHTIJEVI MATERIJALA	14
5. ODABIR MATERIJALA	17
5.1 Trkaća vozila	17
5.2 Osobni automobili	20
5.3 Razlika osobnih i trkaćih automobila.....	24
5.3.1 Motor.....	24
5.3.2 Potrošnja goriva	24
5.3.3 Šasija.....	25
5.3.4 Kočnice	25
5.3.5 Dizajn.....	26
6. PLASTIČNI KOMPOZITI U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI	27
6.1 Povijest primjene kompozita u automobilima.....	27
6.2 Polimerni kompoziti u automobilske industriji.....	28
6.2.1 Karoserija.....	28
6.2.2 Eksterijer	29
6.2.3 Interijer.....	30
6.2.4 Ispod poklopca motora.....	32
6.2.4 Ovjes	33
6.3 Pneumatici.....	34
7. RAZVOJ NOVIH MATERIJALA I KOMPONENATA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI	35
8. LITERATURA	37
9. OZNAKE I KRATICE.....	39
10. ZAKLJUČAK.....	40

11. SAŽETAK.....	41
12. ABSTRACT	42

POPIS SLIKA

Slika 2.1: Razvoj materijala kroz povijest [1]

Slika 2.2: S- krivulja u razvoju i primjeni materijala[2]

Slika 3.1: Hudson Super Six 1920 [4]

Slika 3.2: Dijelovi šasije Ferrari F335 [5]

Slika 3.3: Stražnji ovjes Ferrari F335 [5]

Slika 3.4: Dijelovi poklopca mjenjača Ferrari F335 F1 [5]

Slika 3.5: Dijelovi spojke Ferrari F335 [5]

Slika 3.6: Zahtjevi performansi spojki u Formuli 1

Slika 5.1: Proračun pojedine ekipe u 2016-ti godini [11]

Slika 5.2: Konstrukcija Alcoa-Audi A8 [12]

Slika 5.3: Istrošeni kočioni disk i pločica izrađen od ugljika [13]

Slika 6.2: Automobil podijeljen na sekcije [14]

Slika 6.3: Karoserija Lexus LFA [15]

Slika 6.4: Fordov poklopac motora ojačan ugljikovim vlaknima [16]

Slika 6.5: Vezni lim izrađen od PET- a ojačanog staklenim vlaknima[17]

Slika 6.6: Panela vrata od plastomerne matrice ojačane ugljikovim vlaknima [18]

Slika 6.7: Školjka sjedala Opel Insignije [19]

Slika 6.8: Poklopac glave motora Audi A8, 3.2 FSI [20]

Slika 6.9: Lisnata opruga proizvedena RTM postupkom. [21]

Slika 7.1: Uporaba materijala od 1970 do 2020-te godine. [23]

POPIS TABLICA

Tablica 2.1: Fizikalna i mehanička svojstva aluminija [3]

Tablica 2.2: Pregled nekih svojstava polimernih materijala [3]

Tablica 4.1: Zahtjevi materijala u budućnosti [3]

Tablica 5.1: Usporedba bolida starije i novije generacije [5, 6, 7]

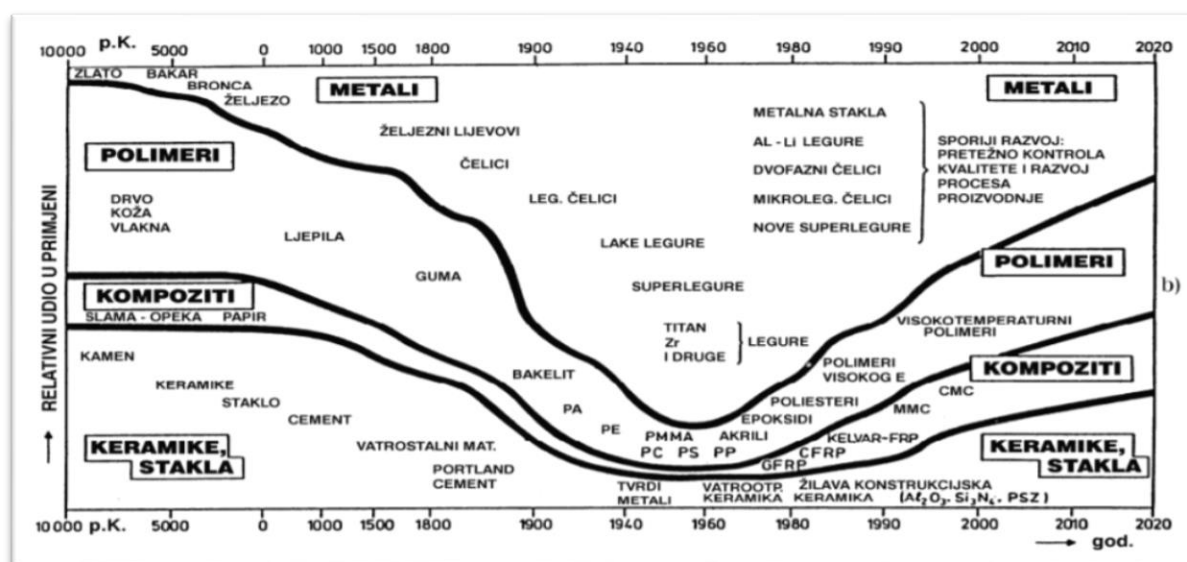
Tablica 5.2: Usporedba materijala te njihova primjena [4]

1. UVOD

Od samih početaka civilizacije njezin napredak sačinjavao se prvenstveno od otkrića, dobivanjem, oblikovanjem te prerađivanjem materijala za čovjekov svakodnevni život. Napredak civilizacije bio je usko vezan uz otkrića novih materijala. Neki od materijala koji su se prvo upotrebljavali bili su drvo, kosti, koža te dlaka koja se pronalazila u prirodi. Postupci poput bušenja i rezanja koristili su se za izradu oružja i oruđa. Inovacije novih oblika i svojstava proizvoda u procesima proizvodnje određene su upravo svojstvima tehničkih materijala. U želji da automobili imaju što manju masu, nižu cijenu te bolju učinkovitost dolazi do povećanja udjela polimernih materijala, aluminijskih legura, keramike i dr. Primjenom suvremenih materijala dolazi do poboljšanja kvalitete, a naročito kod trkaćih automobila koji koriste samo najnovije tehnologije. U ovom završnom radu opisani su kriteriji za izbor materijala, osnovni dijelovi i napravljena je usporedba između „običnih“ i trkaćih automobila. Nadalje, prikazano je kako su se stvari razvijale kroz povijest te koji su sve čimbenici utjecali na razvoj i primjenu novih, složenijih materijala i dijelova za automobile.

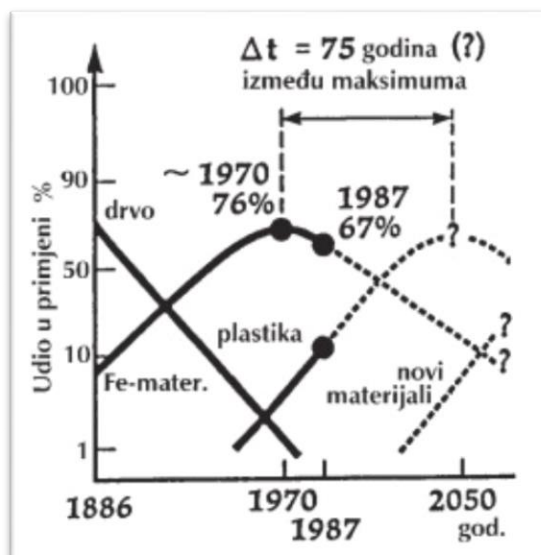
2. RAZVOJ MATERIJALA KROZ POVIJEST

Čovjekov svakodnevni život određen je otkrivanjem, postojanjem, preradom i primjenom materijala. Prvi materijali uzimali su se iz prirode (drvo, kamen, glina, koža, dlaka, kosti) pomoću kojih se izrađivalo oruđe i oružje. Kvaliteta same izrade ovisila je o pojedincu. Kasnije su tek proizvedeni prvi tehnički materijali kao što je čelik, bronca, željezni ljevovi i beton. Suvremen razvoj materijala dolazi iz primjene znanstvenih pristupa iz različitih disciplina te korištenjem računala. Materijali poput mikrolegiranih čelika, titanove legure, poluvodiči i drugi današnji materijali upravo su nastali na znanstvenim istraživanjima. Uporaba materijala eksponencijalno raste te se procjenjuje da danas raspoložemo sa 70 000 do 100 000 različitih vrsta materijala [1].



Slika 2.1: razvoj materijala kroz povijest [1]

Od 1945. do 1975. proizvodnja čelika narasla je šest puta, a aluminija čak trinaest puta. Najveći rast postigli su polimerni materijali. Od 60-tih godina do danas uporaba polimernih materijala narasla je na gotovo 200 milijuna tona, s procjenom da će se za 30-tak godina proizvodnja udvostručiti.



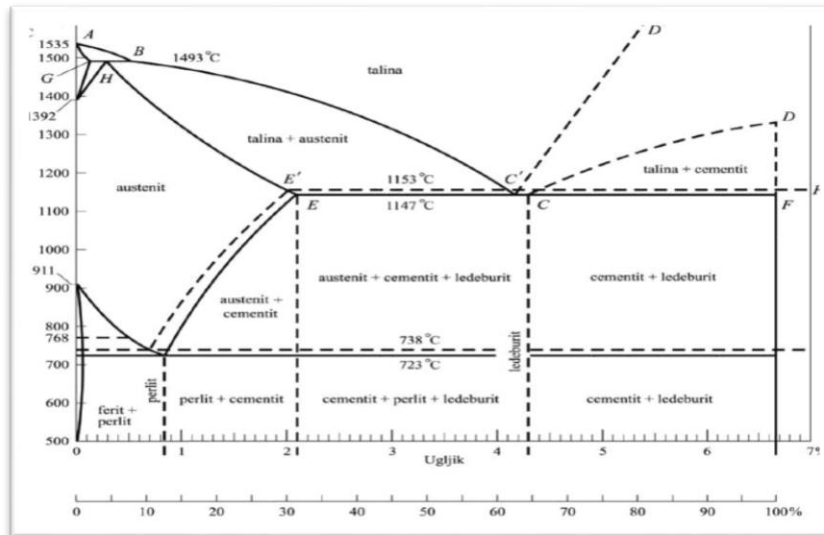
Slika 2.2: S-krivulja u razvoju i primjeni materijala [2]

Na slici 2.2 uočljivo je kako svakih 75 godina pojedina skupina materijala doživi svoj vrhunac proizvodnje i primjene. Tako su materijali na bazi željeza svoj vrhunac dosegli 1970-tih godina. Danas se sve više koriste polimerni i kompozitni materijali čiji se maksimum očekuje sredinom 21.stoljeća. Danas proizvodnja teži ka razvoju i primjeni obnovljivih, lako uništivih i ekološki prihvatljivih materijala dobivenih iz obnovljivih sirovina zbog suvremene koncepcije gospodarenja materijalom poznatom kao („Life Cycle Engineering“). Današnja proizvodnja veže se na izreku „bez materije ništa ne postoji, bez energije ništa se ne zbiva, bez informacije ništa nema smisla“ (A.G. Öttinger).

2.1 Specijalno željezo

Prva pojava željeza seže još iz prapovijesnog doba, u kojem je obilježilo tehnološko i kulturno razdoblje pod imenom željezno doba. Željezo je u obliku čelika najvažniji tehnički materijal, bez kojega je suvremena civilizacija nezamisliva. U građi zemljine kore najzastupljeniji metal je upravo željezo a s udjelom od 5,6 %, četvrti je to element poslije kisika, silicija i aluminijsa. Željezo se u spojevima može sastojati od 400 minerala, od kojih je najpoznatiji hematit i magnetit.

1880. godine koristio se visoko kvalitetan ugljični čelik koji se talio u lovačkom loncu. Fokusom na izradi i poboljšanju specijalnog željeza, počelo se s uporabom novootkrivenih metala kao što su kobalt, volfram, nikal, magnezij i titan.



Slika 2.3 dijagram stanja željezo-ugljik [2]

2.2 Aluminij

Aluminij je jedan od najobilnijih metalnih elemenata na svijetu. Aluminijaska sol korištena je još za vremena Rimljana i Grka kao pomoć kod previjanja rana. Aluminij je 1827. godine otkrio Friedrich Wöhler. Ime mu dolazi od latinske riječi „alumen“ koja je označavala alaune (stipse). Aluminij se u prirodi nalazi u obliku oksida i smjese oksida iz kojih se metal izdvaja elektrolitičkim postupkom. Općenito se metal ekstrahira iz oksidne rude zagrijavanjem s jeftinim redukcijskim sredstvom (ugljik u obliku koksa), a dobiveni sirovi metal se rafinira, čime se omogućuje oksidacija većine prisutnih nečistoća [3].

Tablica 2.1: Fizikalna i mehanička svojstva aluminija [3]

Gustoća	kg/m ³	2700
Talište	°C	660
modul elastičnosti	N/mm ²	69000
toplinska rezljivost	10 ⁻⁶ /K	23,8
električna vodljivost	m/Ωmm ²	36...37,8
granica razvlačenja	N/mm ²	20...120
vlačna čvrstoća*	N/mm ²	40...180
istezljivost*	%	50...4

*ovisno o stanju

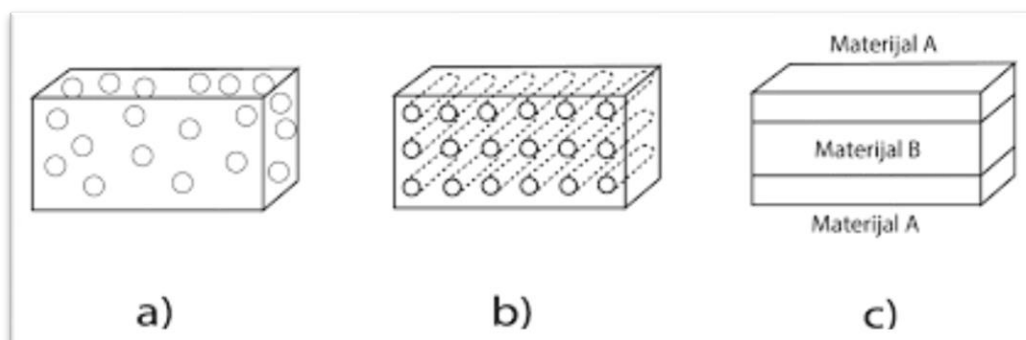
2.3 Tradicionalni metali

Glede obrade ruda te pronalaženja tradicionalnih metala, znanstvenici su u 18. i 19. stoljeću kao posljedicu otkrivanja novih metala napravili značajni iskorak. Pod tradicionalne metale ubrajamo bakar koji je elektro-industriju digao na novu razinu rada, zatim platina koja je zbog otpornosti na kiseline uvelike unaprijedila kemijsku industriju. Tu još spadaju metali poput zlata i srebra koji su dan danas vrlo popularni i traženi u raznim granama proizvodnje na tržištu.

2.4 Kompozitni materijali

Kompozitni materijali proizvedeni su umjetnim spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava s ciljem dobivanja materijala takvih svojstava kakve ne posjeduje niti jedna komponenta sama zasebno. Proizvodnja seže od samih početaka ljudske civilizacije.

Jedan od najstarijih kompozitnih materijala upravo je beton koji se još koristi i dan danas. Beton je primjer kompozita s velikim česticama koji se pak sastoji od skupine čestica međusobno spojenih cementom. Doba suvremenih kompozita započela je 60-tih godina prošlog stoljeća s razvojem borovih vlakana koji imaju specifičnu čvrstoću te veliku krutost. Kasnije se težilo za pronalaskom i izradom kompozita koji manje zagađuju okoliš te su jeftiniji glede izrade [3].



Slika 2.4: Usporedba osnovnih tipova kompozita : (a) Kompoziti s česticama, (b) Kompoziti s vlaknima, (c) Slojeviti kompoziti [3]

Kompozitni materijali sastoje se od dvije vrste konstituenata, a to su ojačalo i matrica. Svaki od konstituenata okarakteriziran je svojim svojstvima i svojom zadaćom. Zadaća ojačala je da bude nosivi element kompozita i da osigurava veliku čvrstoću, krutost

i otpornost na trošenje, zadaća matrice je da drži ojačala zajedno, štiti od vanjskih utjecaja, prenosi opterećenja na ojačalo te formira vanjsku formu kompozita.

2.5 Polimerni materijali

Prvi polimerni proizvod pod nazivom celulozni nitrat, dobiven je 1845. godine, a tek 1870. Godine poboljšana su mu svojstva kada se kao omekšavalo dodao kamfor te se tako proizveo celuloid. Prvi potpuno sintetski polimerni materijal pripremio je 1907. Leo Hendrik Baekeland reakcijom fenola i formaldehida te umrežavanjem u čvrsti i tvrdi materijal, koji se ubrzo, pod imenom bakelit, počeo rabiti kao vrstan el. izolator. Industrijska proizvodnja polimernih materijala u većem je opsegu započela između 1930. i 1940. godine, a već 1979. po volumenu je premašila proizvodnju čelika. Čistim polimerima u pravilu se dodaju dodaci, a ponekad se primjenjuju i posebni postupci prerade kao što je termomehaničko oblikovanje. Fizikalna svojstva polimera ovise o nizu parametara od kojih je najvažniji: kemijski sastav, pravilnost u rasporedu lanaca makromolekula, vrsta i veličina supstituenata [3].

Tablica 2.2: Pregled nekih svojstava polimernih materijala [3]

Funkcijska (uporabna) svojstva	Naziv svojstva(primjeri)
MEHANIČKA	čvrstoća, istezljivost, modul elastičnosti, tvrdoća, žilavost
TRIBOLOŠKA	faktor trenja, otpornost na trošenje
TOPLINSKA	toplinska vodljivost, toplinska rastezljivost, temperatura omekšanja (plastomeri: metoda po Vicatu) postojanost oblika pri povišenoj temperaturi (duromeri: metoda po Martensu)
ELEKTRIČNA	električna vodljivost, električni otpor, čvrstoća proboja, dielektrična svojstva
POSTOJANOST	kemijska postojanost
OSTALA SVOJSTVA	gustoća, propusnost svjetla, indeks loma, udio dodataka (npr. anorganskih sastojaka)

3. RAZVOJ MATERIJALA ZA AUTOMOBILE

U ovom poglavlju opisan je razvoj nekih od glavnih materijala za izradu vozila. Za prikaz dijelova korištena je shema konstrukcije Ferrarija 355 F1 koji se proizvodio od 1994. do 1999 godine. Sklopovi koji su opisani su šasija, ovjes, mjenjač te spojka.

3.1 Šasija

Prva dokumentirana uporaba kompozita kod trkaćih vozila počela je 1920-te i rane 1930-te godine kada je izrađena prva šasija od drva i željeza. Rana vozila bila su izgrađena kod kuće tako da nema previše dokumentacije o njihovim podacima vezanih za karakteristike vozila. Uporaba drva kod izrade šasije koristila se zbog novčanih razloga, a ne zbog učinkovitosti samog materijala. 50-tih godina prošlog stoljeća počeo se koristiti cijevni aluminijski okvir okružen ručno izrađenim aluminijskim karoserijskim pločama. U to vrijeme razvilo se i staklo ojačano plastikom koje je usavršeno za vrijeme drugog svjetskog rata u vojne svrhe. Takav materijal bio je relativno jeftin u odnosu na druge materijale. Prva “prava“ šasija napravljena je kasnih 60-tih godina prošlog stoljeća. Struktura koja se sastojala od ručno izrađene aluminijske vanjske obloge, aluminijskih saća i unutrašnje obloge. Takva izrada koristila se sve do 80-tih godina kada je McLaren predstavio šasiju izrađenu od ugljičnih vlakana koja je promijenila automobilsku industriju. Prvi od tri koraka za izradu bila je unutrašnje kompozitno platno, zatim epoksi film lijepilo te naposljetku sloj ljepila koji je učvrstilo strukturu vanjske kože. Takav dizajn izrade koristio se sve do 1992. godine.

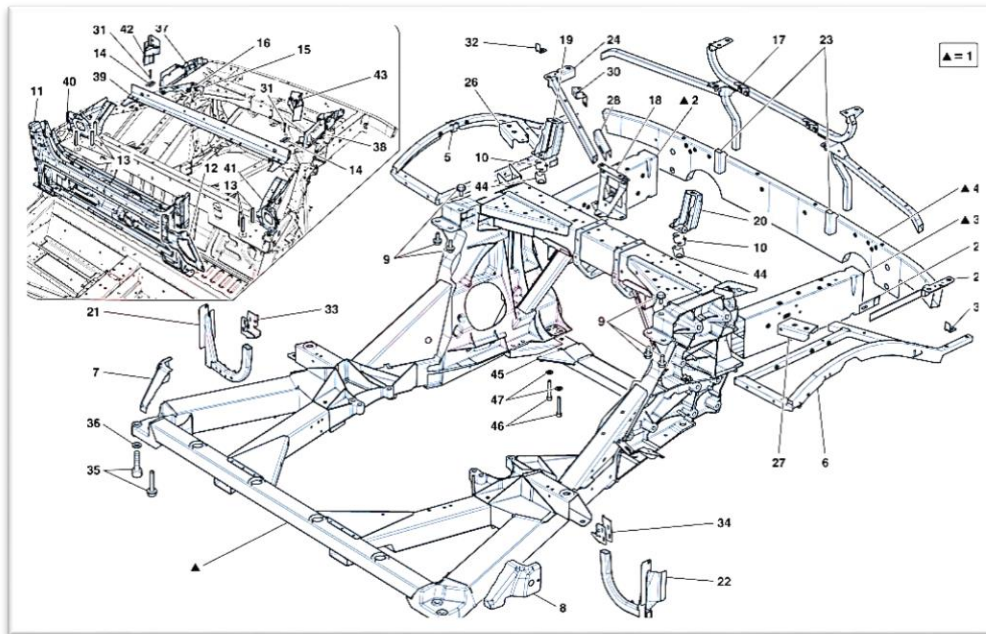


Slika 3.1: Hudson Super Six 1920 [4]

Hudson Super six jedan je od prvih auta namijenjen isključivo za utrkiavanje. Bio je iznimno jeftin za izradu te je donio izuzetno zanimljive utrke u ranom 20 stoljeću. Auto je stekao nadimak „Superiorna šestica“ zahvaljujući 4.7 litrenom motoru sa 6 cilindara od 57 kW s tri brzine i dvije bubanj kočnice.

Kod izrade trkaćeg auta važno je znati zahtjeve i mogućnosti izrade. Karakteristike svakog trkaćeg vozila su normalan rad i dug trajni vijek koji ovisi o strukturi kompozitnih materijala. Najvažniji dio svakog trkaćeg auta je zasigurno sama šasija. Da bi šasija bila zadovoljavajuća potrebno je ispuniti sljedeće uvjete. Prvenstveno, potrebno je osigurati da se šasija ne ošteti u normalnim uvjetima rada. Održati pravovaljan odnos između šasije i ovjesa kako bi upravljanje bilo sigurno i konstantno prolaženjem kroz velike zavoje i neravnine na stazi. A to znači da se tijelo bolida ne savija ili da se savijanje pokuša svesti na minimum. Konstruktivni dodaci karoserije, kao i ostale komponente, moraju biti odgovarajućih dimenzija te biti pouzdani kako bi osigurali dugi vijek trajanja. Strukturna čvrstoća na sredini same šasije definira kako će se bolid ponašati na cesti i osjećaj sigurnosti samog bolida prilikom upravljanja. Krutost šasije je ono što dijeli trkaći auto od odličnog do prosječnog. Protivno tvrdnjama da se šasija ne savija, neke šasije su kruće od drugih. Čak najsofisticiranije šasije u formuli 1 se savijaju. Kod svake izrade potrebno je napraviti kompromis između težine, veličine komponenata, složenosti te ponajviše cijene.

Na slici 3.2 prikazani su dijelovi šasije Ferrarija F335 od većih do najsitnijih dijelova. Od skupljih dijelova treba izdvojiti stražnji podokvir, stražnji desni i lijevi nosači amortizera, ojačanje stražnjeg branika i nosač mjenjača.

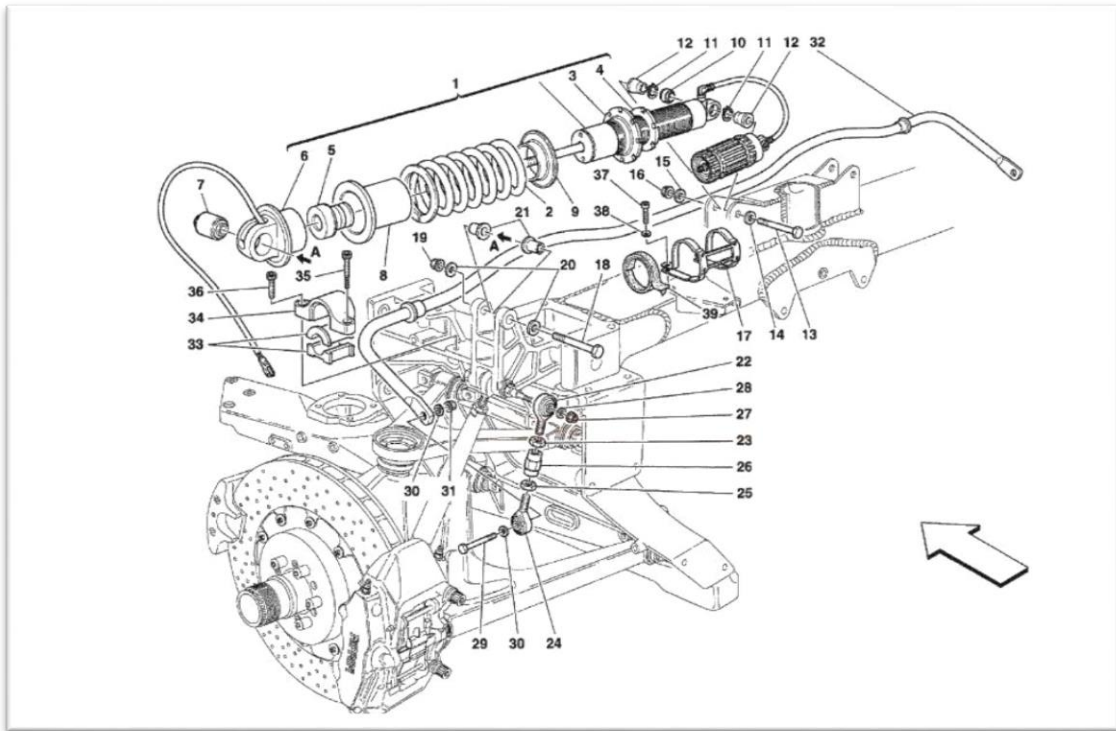


Slika 3.2: Dijelovi šasije Ferrarija F355 [5]

3.2 Ovjes

Kao i kod šasije McLaren je prvi dizajnirao te osmislio ovjes na bolidu zvanom MP4/1 koji se koristio za utrke u sezoni 1981., 1982. i 1983.. Ovjes je bio izrađen od ugljičnih kompozita čime je pružena velika prednost mehaničkim svojstima ili smanjenju kompleksnosti samog dizajna opruge. Od tad se konstantnonastoji unaprijediti sport te isto tako koristiti što lakše materijale sa što boljim mehaničkim svojstvima. Kompozitni ovjes koristi se i dan danas kod svih trkaćih vozila.

Na slici 3.3 prikazani su dijelovi stražnjeg ovjesa Ferrarija F355, kao što su ležaj amortizera, sjedište opruge, zaštitna guma, opruga, amortizer, sjedište opruge te kućište.



Slika 3.3: Stražnji ovjes Ferrarija F355 [5]

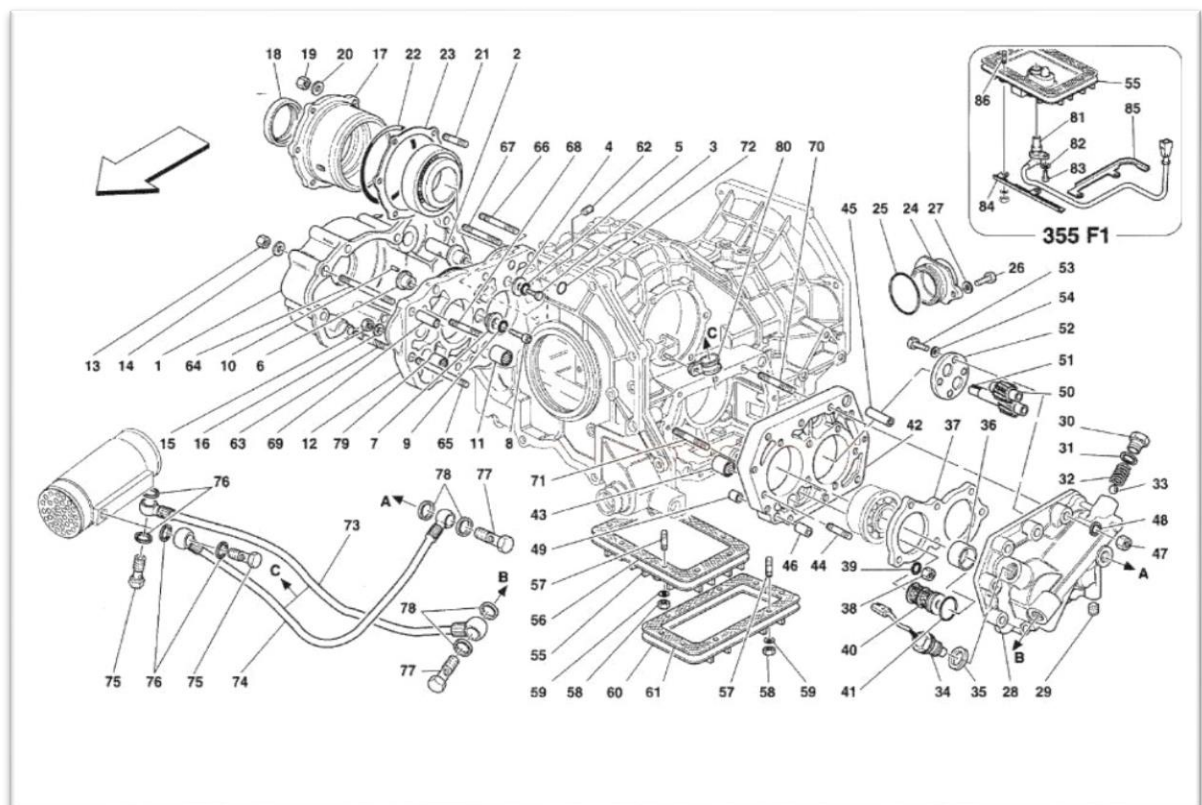
Neki od glavnih materijala kod izrade opruge su monel, mesing, ugljični čelik. Monel proizlazi iz legure nikla, većinski se sastoji od nikla (67 %) i bakra, s malim udjelom željeza, ugljika, mangana i silicija. Čvršći je od samog nikla. Mesing je legura bakra i cinka sa sadržajem cinka oko 40 %. Sastoji se od raznih kombinacija svojstava kao što su čvrstoća, obradivost, elastičnost, otpornost na trošenje, tvrdoća, boja, eklektična i toplinska provodnost te ono najvažnije otporan je na koroziju.

3.3 Mjenjač

Kućišta mjenjača izrađivala su se od lijevanog magnezija sve do 1975. godine. U ono doba, tehnologijom lijevanja proizveden je magnezij s mogućnošću promjene poroznosti stijenke, ovisno o problemima pozicioniranja jezgre tijekom procesa. Zbog smanjene krutosti koja nastaje preko 100 °C, dizajneri su morali osigurati dovoljno jaki strukturni optimum kako bi prekrpio nedostatke. 90-tih godina pojavio se mjenjač od ugljičnih vlakana, no vrlo brzo uočeni su problemi kod visokih temperatura gdje je materijal gubio svoja svojstva, odnosno karakteristike. Danas se većina kućišta mjenjača u formuli 1 izrađuje od titana, ne samo zbog svoje sposobnosti da podnese velike temperature, već zbog toga što je došlo do značajnog smanjenja u težini. Stvarajući jako laganu strukturu, a

opet dovoljno krutu da zadovolji uvjete. Odabir materijala u mjenjaču ovisi ponajviše o čvrstoći te otpornost materijala na trošenje. Mjenjač može biti izrađen iz metalnih ili ne metalnih materijala. Od metalnih materijala zupčanici se izrađuju od lijevanog željeza, čelika i bronce. Pod ne metalne materijale spada najlon, komprimirani papir, sintetika koji se koriste za smanjenje razine buke. Najčešće korišten materijal je upravo lijevano željezo zbog dobre otpornosti na trošenje, mehaničkih svojstva te se lako oblikuje. Željezo se pak koristi za mjenjače visokih čvrstoća. Željezni mjenjači termički se obrađuju kako bi se dobio pravi omjer žilavosti i tvrdoće zuba zupčanika. Fosfor bronca često se koristi za navoj zupčanika kako bi se smanjilo trošenje istog tog navoja te kako bi smanjila pretjerana uporaba lijevanog željeza i čelika.

Na slici ispod prikazani su svi dijelovi kućišta mjenjača. Od važnijih te skupljih dijelova treba spomenuti pod brojem 1 i 2 poklopac mjenjača, isto tako pod brojem 18 i 19 imamo brtvene gumice za ulje koje služe da ulje ne curi van. Pod brojem 34 nalazi se senzor za brzinu okretaja motora dok se pod brojem 81 nalazi senzor za protok goriva.

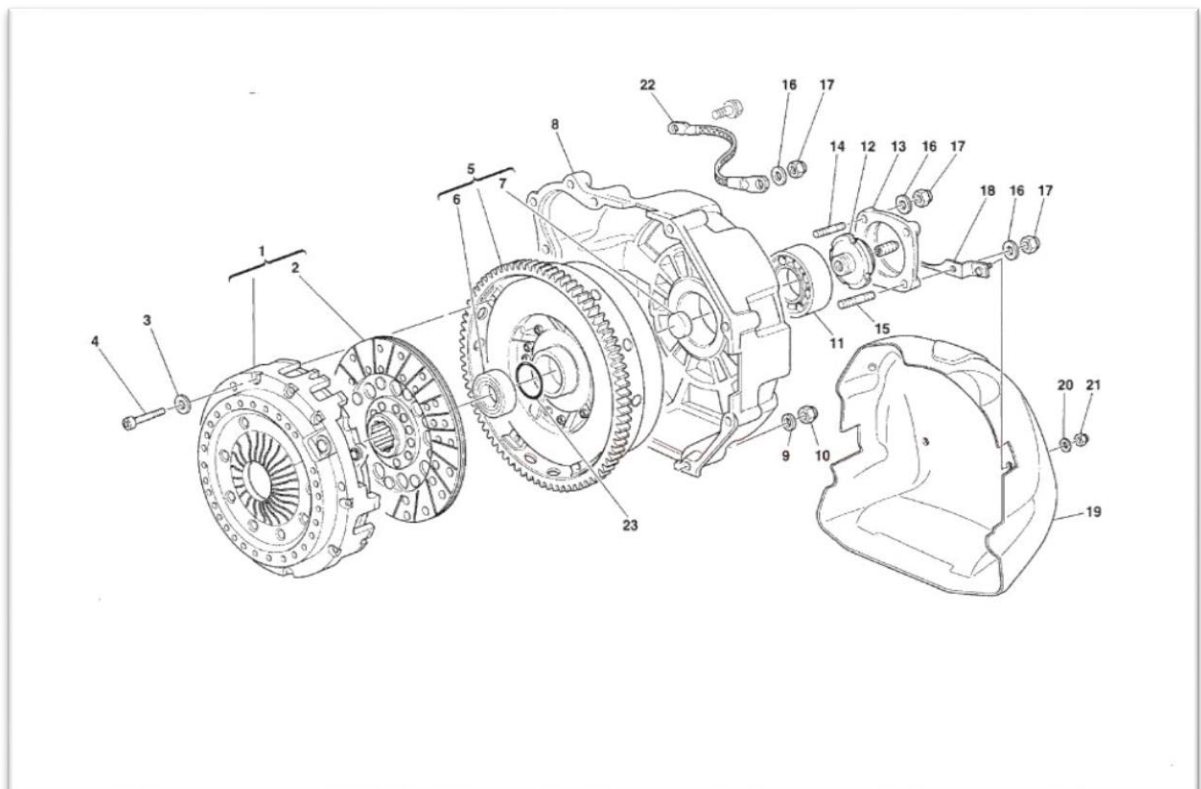


Slika 3.4: Dijelovi kućišta mjenjača Ferrarija F355 F1 [5]

3.4 Spojka

Spojka kod trkaćih vozila sastoji se od materijala koji sadrže materijal visokog faktora trenja i izdržljivosti. Najbolji materijal za izradu spojke je kevlar. Konstrukcija same spojke tanka je i lagana te iznosi svega 1,2 kg, što je znatno lakše od spojki ugrađenih u kompaktna vozila na cesti. Za izradu se koriste izuzetno lagani materijali kao što su titan i ugljična vlakna. Legure visoke čvrstoće kao što je titan koriste se za izradu kućišta. Bolidi formule 1 mogu proizvesti oko 750 KW te uz ubrzanje od 0 do 100 km/h za manje od 2 sekunde. Da bi se tolika snaga prenijela potrebno je razviti posebne spojke visokih performansi. Takve spojke mogu prenositi okretni moment od gotovo 1.000 Nm. Spojke ugrađene kod osobnih automobila koriste okretno momente do 400 Nm. Što se tiče energije, bolidi formule 1 moraju se suočavati s čak 10 puta većom energijom kod pokretanja nego kod spojki običnih auta.

Na slici 3.5 nalaze se dijelovi spojke Ferraria F355. Od važnih dijelova treba spomenuti pod brojem 1 potisnu ploču, pod brojem 2 lamelu i pod brojem 5 zamašnjak.



Slika 3.5: Dijelovi spojke Ferraria F335 [5]

Dio označen brojem 2 na slici 3.4 naziva se lamela, te se osim titana i ugljičnih vlakana, izrađuje od keramike zbog temperaturne izdržljivosti od preko 500 °C. Osim temperature, važan faktor je i trenje. Raspon trenja korištenjem keramike kao materijala izrade iznosi između 0.4 i 0.6. Što ga zbog karakteristika čini najiskorištenijim materijalom na trkačem tržištu.

ZAHTIJEVI PERFOMANSI SPOJKI U FORMULI 1



Slika 3.6: Zahtjevi perfomansi spojki u Formuli 1

4. ZAHTIJEVI MATERIJALA

Prije same proizvodnje postoji nekoliko zahtjeva koji se moraju ispuniti ne bi li se neometano krenulo u proizvodnju materijala. Neki od glavnih načela su poštivanje pravila o izradi, zakon o zaštiti okoliša, poštivanje sigurnosnih pravila i zahtjevi kupaca. U većini slučajeva postoje drugi faktori koji utječu na zahtjeve pa je isključivo bitno dizajnirati vozilo s balansiranim stavom. U tablica 4.1 prikazani su zahtjevi u budućnosti.

Tablica 4.1: Zahtjevi materijala u budućnosti [6]

Zahtjevi u budućnosti	Reakcija industrije	Karakteristika materijala
Briga o resursima Briga o okolišu	-Smanjenje trošenja	-Laki materijali
	-Smanjenje težine	-Materijali s velikom učinkovitkošću u odnosu na omjer težine -Malo trenje između materijala
	-Zagađenje zraka * vozila * tijekom proizvodnje	-Ne toksični materijali -Proizvodnja sa smanjenjem zagađivanja
	-Zatvoren krug proizvodnje materijala(recikliranje)	-Recikliranje materijala -Primjena recikliranog polimera -Primjena obnovljivih organskih materijala
Smanjenje cijena	-Smanjenje cijene u razvoju i izradi	-Niska cijena materijala -Niska cijena procesa

Trkaća i automobilska industrija uvelike se oslanja na strateški pristup odabiru materijala. Odabir materijala za izradu najbitniji je faktor kod dizajniranja vozila. Postoje razne varijante materijala koje se mogu koristiti za konstrukciju vozila, a najvažniji kriteriji za odabir materijala su:

- Materijal male mase; ovaj kriterij najvažniji je faktor u odabiru materijala zbog smanjenja stakleničkih plinova, zagađenja zraka i smanjenju potrošnje goriva,
- Ekonomska računica; vrlo važan faktor u automobilskoj industriji je cijena, ona određuje može li se iskoristiti bolji i skuplji materijal ne bi li se pokrili troškovi izrade,
- Sigurnost; kod sigurnosti se ponajviše gleda na svojstvo materijala, te njegovo svojstvo apsorpiranja energije prilikom udara,
- Moguća reciklaža i životni vijek; isto tako jedan od važnijih faktora su zaštita resursa, reciklaža, razvitak strategije za razvoj i istraživanje novih tehnologija izrade.

Smanjenje težine vozila moguće je postići na 3 načina:

- Zamjena materijala velike gustoće s materijalima manje gustoće bez smanjenja krutosti i trajnosti (zamjena željeza s aluminijem, magnezijem, kompozitima...),
- Optimizacija elemenata kako bi se smanjila masa a funkcionalnost ostala ista ,
- Optimizacija procesa izrade.

Konstantnim usavršavanjem kompozitnih tehnologija moguće je povećati performanse izrade komponenata, s čime laki materijali stvaraju konkurenciju između proizvođača koja će pomoći dovesti do poboljšanja proizvodnje automobila kao i proizvodnog procesa u budućnosti, međutim cijena izrade i dalje je vrlo visoka. Aluminij i magnezij drastično su skuplji nego materijali koji se danas koriste (čelik i lijevano željezo). S obzirom na visoku cijenu, odabir lakih metala mora biti zasnovan na poboljšanoj funkcionalnosti samog materijala. Smatra se da će se do 2030. godine razviti izrada plastike i polimernih kompozita koji će postati vodeći proizvodni materijali, s čime će zadovoljavati kompatibilne karakteristike i performanse sadašnjih materijala za izradu. Za proizvođače i njihove dobavljače odabir materijala ponajviše je strateška odluka.

Odabir materijala temelji se prema parametrima kao što su cijena, sigurnosni rizik, težina, slika na tržištu i ispušni plinovi. Poznavanje karakteristika materijala proizvođačima daje prednost nad konkurencijom, te omogućava postizanje pravovaljane kvalitete i zadanih ciljeva. Plastika i polimerni kompoziti već nekoliko godina dominiraju interijerom i eksterijerom. Nadalje, uporabom plastike uvelike se dobiva na smanjenju težine vozila. Tako je plastika postala najprimjenjiviji materijal koji se miješa s drugim materijalima unazad 40 godina. Stručnjaci predviđaju da će nakon 2025. godine plastika i polimerni materijali postići još veću primjenu u izradi automobila.

5. ODABIR MATERIJALA

U ovom poglavlju opisano je koji se materijali koriste kod izrade trkaćih i osobnih vozila, koje su prednosti te nedostaci pojedinih materijala te koje sve faktore treba uzeti u obzir prilikom izrade vozila.

5.1 Trkaća vozila

Kod trkaćih auta teži se lakšem i boljem vozilu gledano karakteristike sigurnosti i brzine. Tako recimo 85% bolida u formuli izrađuje se od ugljičnih vlakana dok kod civilnih vozila upotreba istog je svedena na minimum. Ugljična vlakna sadrže najmanje 90 % ugljika, crne su boje i promjera 5 do 10 μm . Poznato je da modul elastičnosti ugljičnih vlakana pojačava s povećanjem temperature i napetosti materijala. To se događa zbog same strukture koja sadrži veliki udio ugljika. Teoretski snaga i elastičnost materijala također se pojačava po istom principu. U praksi ipak nije tako, kada čvrstoća poliakrilonitrila baziranog na ugljičnim vlaknima dostiže svoj vrhunac na 1500 stupnjeva (270 GPA). Razlog tog fenomena proizlazi iz fizike strujanja na površini poznate kao Reynoldsov broj. Temeljna mehanika loma sugerira da se micanjem nedostatka postiže pojačana snaga, što je dovelo do otkrića „ultra jake čvrstoće“ materijala korištenih od strane mnogih proizvođača.

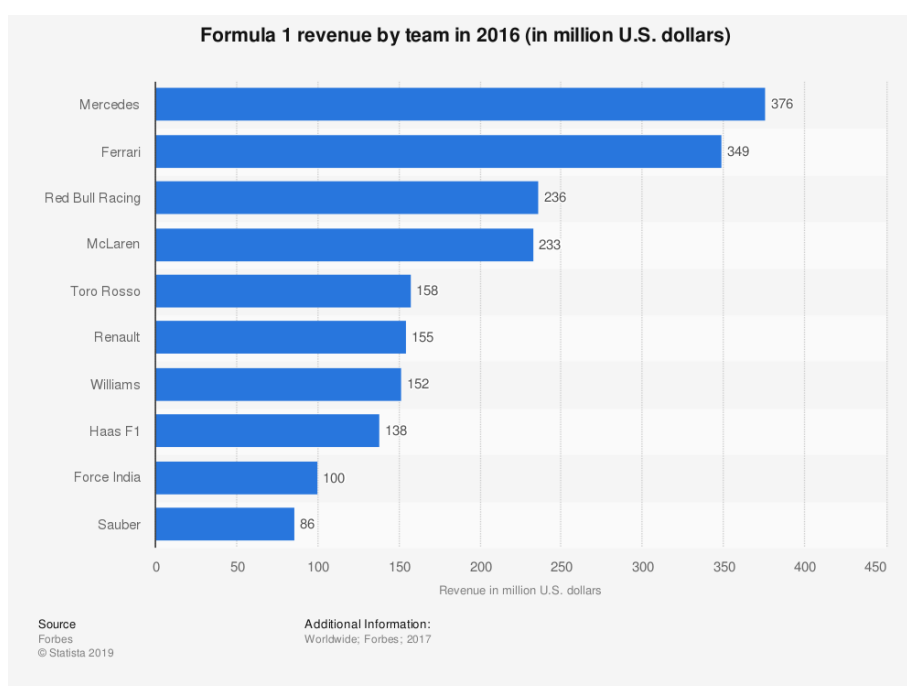
Tablica 5.1: Usporedba materijala za bolide starije i novije generacije [7, 8, 9]

Dio bolida	Materijal	Svojstva materijala
<i>Mercedes – Benz W 154 Silver Arrov – 1939.godina</i>		
- šasija	nikal- molibden- krom(Hastelloy)	- vlačna čvrstoća 755 N/mm ² - gustoća 9270 kg/m ³ - talište 1453 °C - modul elastičnosti 210000 N/mm ²
- karoserija	aluminij	- vlačna čvrstoća 40 – 180 N/mm ² - gustoća 2700 kg/m ³ - talište 660 °C - modul elastičnosti 69000 N/mm ² - granica razvlačenja 20 – 120 N/mm ²
- elementi podvozja	čelik	- vlačna čvrstoća 330- 700 N/mm ² - gustoća 7850 kg/m ³ - talište 1600 °C - modul elastičnosti 210000 N/mm ² - granica razvlačenja 190-370 N/mm ²
Maksimalna brzina: 330 km/h		Masa bolida: 980 kg
<i>Ferrari F 150 – 2011.godina</i>		
-šasija	Ugljična vlakna	- vlačna čvrstoća 1500 – 4800 N/mm ² - gustoća 1780 – 2150 kg/m ³ - modul elastičnosti 22800-72400 N/mm ²
- kočnice		
- karoserija	Kevlar	- vlačna čvrstoća 3600 – 4800 N/mm ² - gustoća 1440 kg/m ³ - modul elastičnosti 1310000 N/mm ²
- elementi podvozja		
Maksimalna brzina: 310 km/h		Masa bolida: 640 kg

Korištenjem vlakana pojačane čvrstoće i elastičnosti postigla se odlična otpornost na čestice i toleranciju na udar. Velika otpornost na udare važan je faktor kod odabira materijala za izradu trkaćih vozila zbog zaštite vozača.

Povećanjem konkurencije u Formuli 1 dolazimo do poboljšanja performansi i energetske učinkovitosti. Upravo zbog konkurencije te rasta industrije dolazimo do važnosti odabira materijala izrade. Potreba za poznavanjem funkcije materijala ključna je za postizanje tehničkog napretka i ekonomske isplativosti. Stoga je izuzetno bitno da komunikacija između inženjera dizajnera i inženjera za materijale bude pravovaljana i precizna.

Jedina ograničenja u sportu poput formule 1 su pravilnik o regulaciji izrade bolida za pojedinu sezonu, zbog čega je striktno određeno kojih dimenzija smije biti izrađen bolid. U suštini svi proizvođači u sportu koriste slične materijale izrade, no obraćanje pažnje na sitnice stvar je koja diktira razliku između pobjede i poraza. Raznim testiranjima u zračnim tunelima inženjeri aerodinamike simuliraju vožnju bolida, gledajući pritom koji sve efekti djeluju na materijale izrade. Također, postoje materijali koji pružaju bolje performanse, ali su relativno skuplji. Poznato je da su troškovi u Formuli 1 zanemarljivi, stoga se isključivo biraju materijali boljih performansi.



Slika 5.1: Proračun pojedine ekipe u 2016. Godini [10]

Na slici 5.1 vidljiva je razlika između pojedinih ekipa, gledajući na budžet u smislu razvoja bolida i same momčadi. Razvoj novih materijala u sportu prvenstveno je ograničen zbog visoke cijene i vremena kojeg je potrebno uložiti za sam razvoj. Kad je riječ o upotrebi novih materijala te testiranju istih, ekipe poput Ferrarija i Mercedesa najprije donose bitne odluke. Ekipe poput Saubera 2016. godine bile su ograničene brojem resursa i ljudi. U usporedbi, kako bi razvili određeni dio, Mercedes na raspolaganju ima puno više radne snage, čime znatno štede na vremenu za razvoj. Od 2021. godine dolazi novi pravilnik o ograničenju proračuna kako bi sve ekipe imale jednak budžet za razvoj. Tako su ekipe primorane strateški usmjeriti potrošnju novaca kako ne bi prekoračile proračun. Prijašnjih godina ekipe s malom financijskom potporom bile su primorane koristiti već provjerene materijale izrade bez puno inovacija kako bi osigurale ostatak proračuna za nastavak sezone, a samim time i ljudskog resursa.

Formula 1 kao sport zaslužna je za mnoge inovacije koje se koriste i u osobnim automobilima. Svaki novi izum prvobitno se koristi za trkaće aute, pa zatim, ovisno o smanjenu cijene i potrebe, upotrebljava se i u proizvodnji osobnih auta.

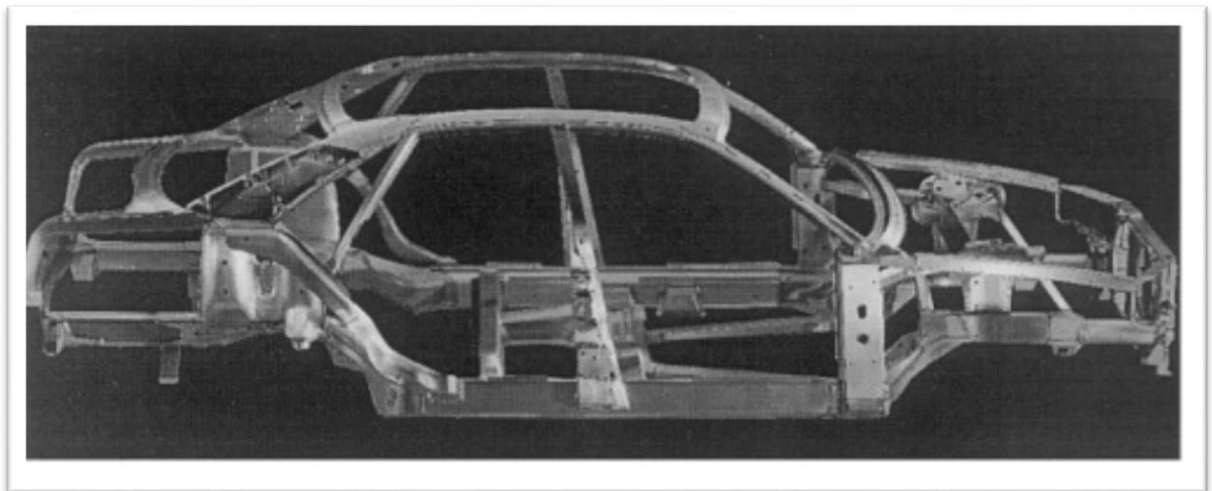
5.2 Osobni automobili

Glavni materijali koji se koriste za izradu automobila, komponenata i dijelova su aluminij, bakar, magnezij, željezo, plastika i ugljična vlakna. Najvažniji faktori kod biranja materijala, posebno za automobilske karoserije su cijena, temperatura, kemijska, mehanička opterećenja i naposljetku izdržljivost samog materijala.

Dostupnost je jedan od najvećih problema u proizvodnji vozila, održavanju te raspolaganje novcem. Kompozitni materijali imaju najveću prednost pred željezom što se tiče proizvodnje u budućnosti. Kompoziti su za razliku od željeza lakši, sigurniji i štede dosta goriva prvenstveno zbog manje mase automobila. Kompoziti pomiješani s karbonom ili staklom pružaju očitu prednost nad nekim pojedinačnim materijalom. Ugljična vlakna ne hrđaju ili korodiraju kao npr. željezo ili aluminij. Današnji se kompoziti prvenstveno koriste u specijalne svrhe kao što su svemirske letjelice te skupe naprave kao bolid za utrkivanje gdje novci ne igraju preveliku ulogu zbog stabilnog ekonomskog položaja. Da bi bilo lakše razumljivo ugljična vlakna su do 20 puta skuplja nego samo željezo te su stoga autoindustrije primorane koristiti jeftinije materijale kako bi ostvarili profit proizvodnje, a isto tako održali cijenu automobila primjerenu standardima ljudi u svijetu.

Proizvođači će i dalje proizvoditi aute od željeza sve dok cijena ugljičnih vlakana ne padne drastično. U posljednjih 10 godina postoje mnoge nadogradnje sačinjavane od željeza i čelika čineći ga lakšim, izdržljivijim i čvršćim čime se poboljšavaju i druge karakteristike. Ovakva obrada ne koristi se samo na konstrukciji auta već i na drugim dijelovima automobila kao što je motor, kotači, vrata, šasija, potkrovlje itd. U suštini čelik i željezo su najupotrebljiviji materijali kod izrade osobnih vozila i ono što je najbitnije to je vrlo jeftin materijal. Korištenje čelika koristi se u konstruiranju vozila zbog sposobnosti apsorpiranja energije u sudarima vozila. Porast aluminija zabilježen je unazad nekoliko godina zbog njegove male gustoće, velike specifičnosti za apsorpiranjem energije.

Jeftinija varijanta je korištenje staklenih vlakana ojačanih epoksidnom smolom. Takva vrsta karoserija koristila se još kod Audija R8 prikazano na slici 5.2.



Slika 5.2: konstrukcija Alcoa-Audi A8 [11]

Uporaba aluminija može značajno smanjiti težinu vozila. Zadnja istraživanja pokazala su da je moguće smanjiti težinu vozila čak do 50 % zamjenom čelika s aluminijem. Aluminij se najčešće koristi kod konstruiranja šasije, prtljažnika, vanjskih dodataka kao vrata ili poklopca haube. Još jedan laki materijal koji se sve više koristi u automobilskoj industriji je magnezij. 33 % lakši od aluminija i čak 75 % lakši od čelika i željeza. Magnezij ima drastičnu prednost u odnosu na aluminij što uključuje bolje produženje radnog vijeka, brzo skrućivanje i ono najvažnije dobru obradivost. Još jedan materijal kojeg je važno spomenuti je titanij. Titanij se koristi u zonama visokih temperatura i u područjima gdje je potrebna snažna izdržljivost kao naprimjer ispušni sistem, opruge ovjesa, ventila i izradu klipnjače.

Vlanknima ojačani kompoziti nude velik spektar prednosti u automobilske industriji. Uporaba plastike pojačana je u zadnjih nekoliko godina. U nekim slučajevima, plastika zamjenjuje neke teže materijale ovisno o mogućnosti primjene. U drugim pak slučajevima plastika i kompozitni materijali dodaju se za bolju udobnost vozila. Osim što su takvi materijali male mase, mogu se lako oblikovati te su podosta izdržljivi. Zamjenom teških metala plastikom postiglo se cjelokupno smanjenje težine. Postotak plastike po masi u prosječnom automobilu 1970. godine iznosio je svega 6 %, dok se pojavom novih tehnologija do 2010. godine sa 6 % povećao do 16 %. Predviđanja su da bi se do 2021. došlo do povećanja za još 8 % u odnosu na 2010. godinu.

U tablici 5.2 prikazani su materijali: željezo, aluminij, magnezij, bakar te kompoziti i plastika te njihova primjena u izradi automobila. Također su opisane prednosti i nedostaci pojedinog materijala kako bi se vidjela razlika tih materija s obzirom na primjenu.

Tablica 5.2: Usporedba materijala te njihova primjena [12]

Materijali	Željezo	Aluminij	Magnezij	Bakar	Kompoziti i Plastika
Primjena	-karoserija -šasija -dijelovi motora -pogonski sklop -branik	-blok motora -naplate -pogonska osovina -klip i glava cilindra	-unutrašnji okvir vrata -volan -letva volana -konstrukcijski dio sjedala -prijenosnik snage	-elektromehaničke primjene -automatski mjenjač -ABS kočioni sustav	-krovn otplata -poklopac prtljažnika -ratkapa -krov -podvozje -poklopac motora
Prednosti	-čvrst i krut -Otporan na koroziju -dobro apsorbira udarnu energiju -lako se oblikuje -mogućnost pridruživanja	-lagan -otporan na koroziju -obnovljiv -energetski efikasan -siguran materijal	-lakši od svih metala -pridonosi manjoj potrošnji goriva	-dobra vodljiva svojstva -pogodan za električne komponente u automobilima	-vrlo čvrst -dobar omjer mase i krutosti -dobra otpornost na koroziju -otporan na kemikalije
Nedostaci	-težak u odnosu na druge auto materijale	-ne podržava toplinu	-taljiv već ma 650 °C -vrlo obnovljiv metal -loša otpornost na koroziju i trošenje	-ograničena primjena kod automobilskih dijelova	-visoka cijena -nije obnovljiv -zahtjevna industrijska proizvodnja

5.3 Razlika osobnih i trkaćih automobila

Razlika između osobnih i trkaćih automobila je ta da su napravljeni prema različitim zahtjevima koje moraju ispuniti. Tako su sportski auti namijenjeni za velike brzine i visoku stabilnost. Također, samo vozilo mora biti dobrih aerodinamičkih karakteristika kako bi moglo postići velike brzine kroz zavoje. S druge strane, trkaći auti susreću se s izuzetno velikom potrošnjom goriva, skupim održavanjem te malim brojem sjedećih mjesta. Što se tiče osobnih automobila, osmišljeni su prvenstveno da služe za više svrha. Ponajviše su namijenjeni za obitelji i korisnike kao prijevozno sredstvo male potrošnje koje sadrži veću količinu prostora.

U slijedećem podpoglavlju bit će prikazane razlike između osobnih i trkaćih vozila usporedbom glede motora, potrošnje goriva, šasijske, kočnice te dizajna

5.3.1 Motor

Tipični sportski auto poput Porsche Carrera 911 ima sljedeće specifikacije motora:

- Konjska snaga: 239 kW / 320 hp
- Okretni moment: 370 NM / 285 km/h
- Omjer kompresije: 11.3:1
- Tip motora: 3.6 Litarski, V6 motor

Za primjer osobnog automobila prikazane su specifikacije Forda Mondea:

- Konjska snaga: 107 kW / 143 hp
- Okretni moment: 190 NM
- Omjer kompresije: 10.8:1
- Tip motora: 2.0 Litarski, V4 motor

Iz prikazanih specifikacija vidljivo je kako osobni automobili koriste motore manjih konjaža te manje motore kako bi osigurali manju potrošnju te cijenu održavanja.

5.3.2 Potrošnja goriva

Sportski auti u suštini žrtvuju velike potrošnje goriva ne bi li dobili na brzini. Prosječni trkaći auto poput Porsche Carrera s gore navedenim specifikacijama motora

troši 13 L / 100km. Ford Modeo iz 2020 godine troši svega 8 litara što je drastična razlika. Ipak, zbog funkcije trkaćih auta da postignu što bolje performanse velika potrošnja ne stvara prevelike negativne učinke.

5.3.3 Šasija

Trkaći auti imaju šasiju male mase i velike krutosti. Male mase zbog ubrzavanje, dok je krutost izuzetno bitna zbog precizne kontrole nad bolidom u smislu gripa između kotača te same podloge. Šasije se uglavnom izrađuju od aluminija i ugljičnih vlakna. Šasije kod osobnih automobila izrađene su uglavnom od aluminija i željeza ne bi li se smanjili troškovi izrade. Međutim, nove tehnologije omogućile su da uz manju cijenu osobni automobili postignu zavidnu kvalitetu te masu šasije za svakodnevno uporabu vozila.

5.3.4 Kočnice

Kočnice kod trkaćih auta uglavnom se izrađuju od ugljika i keramike zbog dobre otpornosti na toplinu i na samo trošenje diskova. Naziv takvih sustava je „advanced self-ventilating cross-drilled carbon ceramic brakes“. Uzevši u obzir da osobne automobile koristimo kao prijevozno sredstvo od točke A do točke B, dizajn kočnica relativno je jeftin. No, to ne znači da su kočnice na osobnim automobilima loše, već da nisu potrebni skupi materijali poput ugljika ili keramike jer se ne postižu toliko velike temperature kao ni brzine. Zapravo, kočioni sustav osobnih automobila opremljen je svim najnovijim tehnologijama kao što su ABS, EBD i EBA. Najčešći materijal koji se koristi za izradu kočnica kod osobnih automobila je sivo lijevano željezo.

Na slici 5.3 prikazana je istrošen kočioni disk i pločica izrađeni od ugljika.



Slika 5.3: Istrošeni kočioni disk i pločica izrađen od ugljika [13]

5.3.5 Dizajn

Većina trkaćih auta dizajnirana je tako da izgleda ugladeno i skupo. Osim vizualnog aspekta, sportski auti niskih su profila upravo zbog manjeg otpora zraka pri velikim brzinama što dodatno podiže vozne karakteristike vozila. Sve u vezi sportskih auta dizajnirano sa brzinom i snagom u prvom plan, a posebno se ističe interijer. Dodatni modovi poznati kao „Sport“ mode koriste se kao dodatna podešenja na motoru, pružajući još bolje karakteristike glede brzine. S druge strane, osobni automobili kod same izrade napravljeni su da izgledaju lijepo, no, ono najvažnije je da budu što više funkcionalniji i dugotrajniji. Također, u odnosu na trkače aute, nisu niskog profila jer se ne postižu toliko velike brzine. U suštini, osobna i trkača vozila izrađena su s potpuno drugačijim zahtjevima te se izrađuju ovisno o potrebi pojedinog vozila.

6. PLASTIČNI KOMPOZITI U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

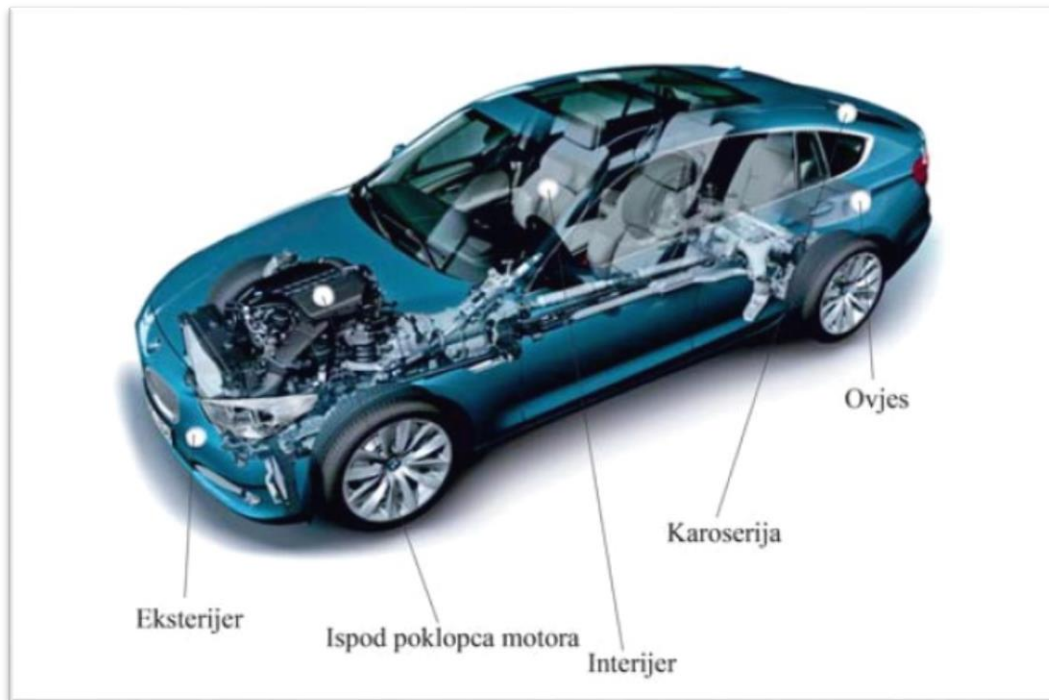
Automobilska industrija jedan je od najznačajnijih potrošača plastičnih kompozita. Razlog tomu je značajno smanjenje mase uz manju potrošnju goriva, otpornost na koroziju i bolju kvalitetu vožnje. Zahtjevi koje plastični kompoziti moraju zadovoljiti su brža proizvodnja uz što manju cijenu izrade te izgled kao jedan od bitnih faktora, zato što se ljepši model bolje prodaje. Danas se sve više kontrolira zagađenje u prirodi stoga je bitna i briga o ekologiji.

6.1 Povijest primjene kompozita u automobilima

Prvi automobil za koji su se koristila staklena i sojina vlakna napravio je Henry Ford 1939. godine. U ono vrijeme kompoziti s kokosovim vlaknima bili su revolucionarni. Polimerni materijali koristili su se uglavnom za karoseriju, poklopac motora, te za blatobrane. U to vrijeme stanovništvo SAD-a bavilo se većinom poljoprivredom, stoga je Henry odlučio povezati automobilsku industriju s agrikulturom. Henry je smatrao da plastična karoserija može biti sigurnija u udarima za razliku od čelika. Nažalost pojavom 2. Svjetskog rata zbog potrebe ruda za vojne svrhe, prestao je razvoj tog automobila. Auto je bio mase 900 kg što je bilo 450 kg lakše od tadašnjeg automobila izrađenog od čelika. Najduži automobil s karoserijom od polimernih kompozita izrađen je 1952 godine. Auto se naziva Maverick Sportster. 1956 godine Njemačka tvrtka proizvodi sportski automobil gdje je karoserija izrađena od duromera ojačana staklenim vlaknima, a debljina stijenke bila debela 2,5 mm. Automobil se zvao DKW Monzi i nizao je rekorde, a jedan od najpoznatijih rekorda je 48- satna vožnja s prosječnom brzinom vožnje 140 km/h. U ono doba potreba za smanjenom masom automobila dovela je do veće primjene polimernih kompozita za proizvodnju komponenata. Dijelovi koji su se izrađivali od polimernih kompozita bili su hladnjak motora te dijelovi prijenosa i ovjesa. Prva šasija koja je u potpunosti bila izrađena od polimera ojačana ugljikovim vlaknima je bolid MPR/1 iz 1982. godine. Ovaj bolid doveo je do pojačanog korištenja ugljika.

6.2 Polimerni kompoziti u automobilskoj industriji

Područje na kojim se primjenjuju kompoziti su karoserija, eksterijer, interijer, ispod poklopca motora i ovjes. Navedena područja prikazana su na slici 6.2.



Slika 6.2: Automobil podijeljen na sekcije [14]

6.2.1 Karoserija

Karoserija izrađena od polimernih kompozita popularna je među trkaćim autima odličnih specifikacija te performansi. Za izradu se upotrebljavaju epoksidne smole ojačane ugljičnim vlaknima. Najvažnija svojstva karoserije izrađene od epoksidne smole ojačane ugljičnim vlaknima je što posjeduje iznimno visoku čvrstoću i krutost uz malu masu. Troškovi takve izrade iznimno su veliki stoga se upotrebljavaju samo kod trkaćih automobila namijenjenim za utrkivanje. Karoserija Lexusa LFA izrađena je od 65 % polimernih kompozita čime se masa karoserija smanjila za 100 kg [15].



Slika 6.3: Karoserija Lexus LFA [15]

6.2.2 Eksterijer

Pod eksterijer spadaju dijelovi poput branika, poklopca motora, vrata te ostale obloge na automobilu. Upravo je na Corvetti Stingy koja je proizvedena 2014. godine smanjena masa uporabom poliamidnog kompozita ojačanog ugljikovim vlaknima na poklopcu motora , dijelovima krova, blatobrana te na podvozju. Masa automobila smanjena je za 30 % što znači i manju potrošnju goriva. Nadalje, uspostavilo se da je spoj između branika i blatobrana manji, što znači da je proizvodnja precizna s malim odstupanjima. Polimerni kompoziti relativno su skup materijal za primjenu u uobičajenim automobilima. Ford je osmislio prototip za model Focus te dokazao da će takav materijal biti dostupan i širem krugu kupaca. Istraživanjima je potvrđeno da u slučaju nezgode sigurnost putnika i pješaka je mnogo veća korištenjem polimernih kompozita [16].



Slika 6.4: Fordov poklopac motora ojačan ugljikovim vlaknima [16]

Dijelovi ojačani staklenim vlaknima jeftiniji su te lošijih karakteristika nego dijelovi ojačani ugljičnim vlaknima. Masa ovakvog materijala i dalje je manja od istih materijala izrađenih od metalnih materijala. PET ojačan staklenim vlaknima ima odlične karakteristike te iznimnu kemijsku i toplinsku postojanost. Odlikuje ga visoka tvrdoća i krutost, mogućnost bojanja površine te posjeduje dobru otpornost na atmosferske uvjete.

Nabrojena svojstva čine ga odličnim izborom za proizvodnju dijelova kao što su maske automobila, ali i manjih dijelova poput metlica brisača, grijanja i klimatizacije. PET ojačan staklenim vlaknima primjenjuje se za izradbu veznog lima prikazanog na slici 6.5.



Slika 6.5: Vezni lim izrađen od PET- a ojačanog staklenim vlaknima [17]

Vezni lim izrađen od PET-a je pronašao primjenu zbog isplativosti u odnosu na ugljični čelik ili aluminij.

Razlika je svakako u masi, a na to se nadovezuje i postojanost na koroziju, što u principu znači jeftinije održavanje, nema potrebe za premazima. Isto tako postojanost na udarni rad loma je veća .

6.2.3 Interijer

Polimerni kompoziti koriste se i za izradu unutarnjih modul vrata proizvedenog od polipropilenske matrice ojačane staklenim vlaknima. Masa automobila smanjena je uz

bolja svojstva rastezne čvrstoće. No najvažnija komponenta je otpornost na povišene temperature zbog toga što moderni automobili sadrže sve više elektronike pa se kroz module vrata često provlače elektroničke instalacije. Paneli vrata pričvršćeni su vijcima za vanjsku oplatu vrata, pozornost je posvećena i tom segmentu te se prilikom pričvršćivanja vijcima paneli ne oštećuju. Pričvršćivanjem vijcima za vanjsku oplatu nestao je i problem s neugodnim zvukovima pri nepravilnom stezanju vijka i proširivanju provrta pa je samim time i primjena modula tog tipa povećana i ustaljena u proizvodnji [17].

Organska vlakna biljnog podrijetla danas se koriste za unutrašnjost automobila. Pretežito se upotrebljavaju vlakna lana i konoplje u kombinaciji s polipropilenskom i poliamidnom matricom. Ovisno o želji kupaca, moguća je i kombinacija navedenih matrica s drvnim brašnom. Takva je inačica unutarnjih oplata vrata jeftinija i ima zadovoljavajuća svojstva za tu primjenu, pa su gotovo sve unutarnje oplata izrađene su od takvog kompozita. Posebni klijenti imaju na raspolaganju i panel vrata izrađen od plastomerne matrice ojačane ugljikovim vlaknima koje uz malu masu nude i egzotičan izgled, što je ujedno i razlog proizvodnje takvih panela [18].

Na slici 6.6 prikazan je panel vrata Ferrarija 430 Scuderije.



Slika 6.6: Panela vrata od plastomerne matrice ojačane ugljikovim vlaknima [18]

Današnji trend je takav da luksurniji automobili imaju kompozite ojačane ugljikovim vlaknima zbog estetike. Školjka sjedala također je načinjena od kompozita ojačanog vlaknima. Primjer nalazimo kod Opel Insignije gdje je školjka sjedala od poliamida

ojačanog vlaknima, čime je postignuta 45 % manja masa sjedala u odnosu kod modela s običnim sjedalima. Ovakav kompozit je čvrst te debljine stijenke svega 2 mm.

Ovakva sjedala dobila su certifikat stručnjaka za pravilnost sjedenja koji se izdaje samo za proizvode visokog ergonomskeg standarda.



Slika 6.7: Školjka sjedala Opel Insignie [19]

U unutrašnjosti automobila Mose također se mogu pronaći razne tkanine izrađene od polipropilenske matrice ojačane prirodnim vlaknima. Mogu se pronaći u otplati vrata, saga, otplata prtljažnog prostora i krovnog tapecirunga. Nadalje proizvodi izrađeni od polimernih kompozita su korito rezervnog kotača ili sitni zupčanici koji služe za pogon kontrolne ploče. Dijelovi tunela ventilacije također su izrađeni od polimernih kompozita, kao i ogledala za bolju vidljivost i sigurnost u vožnji [19].

6.2.4 Ispod poklopca motora

Ispod poklopca motora nalaze se dijelovi koji se smatraju plastični, no zapravo se dio tih dijelova izrađuje od polimernih kompozita. Tako je recimo poklopac glave motora Audija A8 načinjen od poliamida ojačanog staklenim vlaknima. Primarna funkcija poklopca glave motora je zaštita, no kod Audija A8 iz 2011. godine opremljenog motorom 3,2 FSI ondje se nalazi i separator ulja.



Slika 6.8: Poklopac glave motora Audi A8, 3.2 FSI [20]

Ispod samog poklopca nalazi se i kutija dovoda zraka koja također može biti od polipropilena ojačanog staklenim vlaknima, primjenjuje se do 120 °C, postojan na kemikalije i atmosferske uvjete, dobro podnosi vibracije te je izuzetno male mase. Kutija se može izrađivati i od ugljikovih vlakana, ali se takva kutija koristi više zbog estetike. Polipropilen u kombinaciji s vlaknima konoplje često se koristi za čep posude antifrizna, ulja i sredstava za pranje stakla [20].

6.2.4 Ovjes

2014. godine Audi je predstavio opruge amortizera izrađene od epoksidne smole ojačane staklenim vlaknima. Takva inačica 40 % je lakša od čelične, što iznosi 4.4 kg za sve četiri opruge. Prednost takvih ovjesa je njihova postojanost na kemikalije i koroziju. Također, postoje i lisnate opruge od epoksidne smole ojačane staklenim vlaknima, koje su zamijenile čelični materijal. Opruge od kompozitnih materijala bolje apsorbiraju vibracije te kod savijanja proizvode manje zvukova. Trajnost takvih opruga dulja je čak 5 puta u odnosu na čelične opruge, a masa je također smanjena pet puta. Slika 6.7 prikazuje lisnatu oprugu za Mercedes Sprinter proizvedenu RTM (Injekcijsko- posredno prešanje) postupkom [21].



Slika 6.9: Lisnata opruga proizvedena RTM postupkom [21]

6.3 Pneumatici

Pneumatika je postala važan dio automobilske industrije. Danas se mnogo više novaca ulaže kako bi se poboljšala svojstva pneumatika. Cilj je smanjenje puta kočenja, ostvariti bolje prijanjanje uz površinu ceste i sigurniju vožnju u zavojima te niža potrošnja goriva sa što većom izdržljivošću. Takav napredak stvoren je eksperimentalnim putem korištenjem raznih aditiva koji se dodaju kako bi bio omogućen maksimalan prijenos energije i nizak otpor kotrljanja. Danas se proizvode pneumatici (run flat) koji imaju ojačanu bočnicu čime je omogućen siguran nastavak vožnje u slučaju proboja pneumatika. Izazovi s kojim se susreću proizvođači pneumatika je omogućiti odličan odziv između mokre i suhe podloge, tj. postići dobra svojstva u svim uvjetima te smanjiti razinu buke. Pneumatici idu na naplatke, a dosad izrađivani naplatci od aluminijskih i magnezijevih legura postaju u zaborav pojavom naplatka od polimernih kompozita. Upotrebom PEI (polieterimid) matrice ili epoksidne smole ojačane ugljikovim vlaknima smanjena je emisija CO₂ za 2 do 3 %. Masa jednog seta naplatka smanjena je za 20 kg, dok je rastezna čvrstoća 4 do 5 puta veća [22].



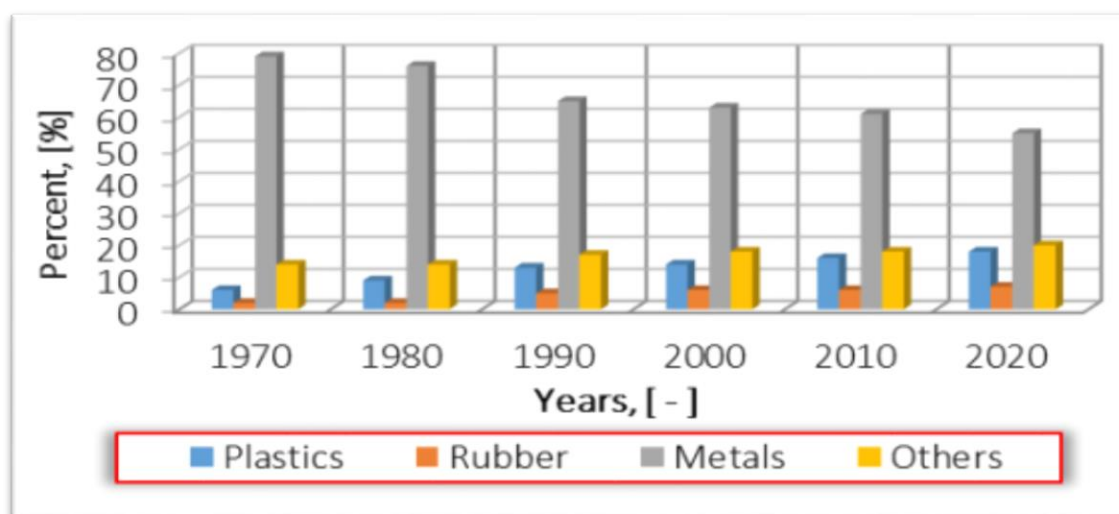
Slika 6.8: Naplatak izrađen od epoksidne smole ojačan ugljikovim vlaknima [22]

7. RAZVOJ NOVIH MATERIJALA I KOMPONENATA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

Proizvođači u automobilske industriji sve češće pokazuju interes za izradu lakih, čvrstih i energetski učinkovitih materijala kao što su kompoziti. Takvo nešto iziskuje inovaciju materijala, dizajna, proizvodnje i ono najvažnije automatizaciju samog procesa te ekonomsku isplativost. Tradicionalna proizvodnja dijelova zasniva se ponajviše na korištenju metala i drugih komponenata. Najčešće korišten materijal upravo je plastika, zbog svoje male težine. Razvoj plastike ojačane staklenim vlaknima (FRP) za sada je još uvijek u ranoj fazi korištenja. Da bi razvoj novih materijala išao pravim putem, potrebna je kompletna lančana opskrba materijalima koja mora raditi zajedno kako bi bio što lakši pristup proizvođačima automobila.

Raznim istraživanjima na kompozitnim materijalima, plastike ojačane staklenim vlaknima i polimerima došlo se do značajnog napretka kvalitete koja je omogućila da se ti materijali koriste kod interijera, eksterijera i nekih sitnih dijelova ispod poklopca motora automobila. Pažljiv odabir materijala izrade dizajnerima daje mogućnost da unaprijede trajnost vozila te postignu značajno smanjenje mase automobila. Na slici ispod prikazana je uporaba materijala u od 1970-te do danas.

Na slici 7.1 prikazana je uporaba plastike, gume, metala i ostalih materijala od 70-tih godina sve do danas.



Slika 7.1: Uporaba materijala od 1970 do 2020-te godine [23]

Korištenje plastike male mase i kompozitnih materijala u automobilskoj industriji unazad par godina drastično se povećava zbog ponude i potražnje samih korisnika u želji za malim masama vozila, manjom potrošnjom goriva. U nekim slučajevima, plastika zamjenjuje izuzetno teške materijale. Plastika se uglavnom koristi zbog lakog oblikovanja te je izuzetno izdržljiva. Zamjena teških materijala dovelo je do značajnog prosječnog smanjenja težine vozila. Od 1970-te godine korištenje plastike u prosjeku naraslo sa 6 % na čak 16 % u 2010-toj godini. Danas uporaba plastike dostiže 18 % mase cijelog vozila. Trenutno kompozitni materijali imaju jako visoku cijenu, ali zbog svoje trajnosti čine dobru ekonomsku isplativost. Osim male mase, kompozitni materijali pružaju čvrstoću i krutost, dok zamor materijala ne predstavlja problem. Takvi materijali ne hrđaju u odnosu na metalne strukture. Korištenje kompozita za izradu šasije omogućava bolju konstrukciju nego kod željeza te se samim time koristi manje spojeva čime se uvelike štedi na masi. Stručnjaci smatraju da će se uporaba FRP-a značajno razviti te da će postati glavni materijal za izradu šasije i karoserijskih komponenata zbog drastičnog smanjenja prosječne težine automobila te odražavanja, unapređenja sigurnosti i performanse samog vozila [23].

8. LITERATURA

- [1] T. Filetin, Izbor materijala pri razvoju proizvoda, Zagreb, 2000.
- [2] Advanced Materials & Processes, 1/90. (14.07. 2020.)
- [3] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb, 2002.
- [4] <https://silodrome.com/hudson-super-six-racing-car/> (15.07. 2020.)
- [5] [://www.ferrariparts.co.uk/](http://www.ferrariparts.co.uk/) (15.07. 2020.)
- [6] Materials used in automobile manufacture – current state and perspectives M. Wilhelm (16.07. 2020.)
- [7] Filetin T., Kovačiček F., Indof J., (2007), Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [8] Skupina autora, (1998), Inženjerski priručnik, Proizvodno strojarstvo, Školska knjiga, Zagreb
- [9] S. Golubić, D., Veseli, Utjecaj razvoja materijala na razvoj proizvoda, Tehnički glasnik, Vol.6 No.1, Lipanj 2012., 12-21
- [10] <https://www.statista.com/statistics/654924/formula-1-teams-revenue-ranking/> (30.07. 2020.)
- [11] Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, W.S. Miller A, L. Zhuang a, J. Bottema a, A.J. Wittebrood a, P. De Smet b, A. Haszler c, A. Vieregge. (4.08. 2020.)
- [12] Polymer manufacturers develop novel solutions for the auto industry, www.icis.com/resources/news/2010/04/26/9352335/polymer-manufacturers-develop-novel-solutions-for-the-auto-industry/ (4.08. 2020.)
- [13] <http://www.formula1-dictionary.net/brakes.html> (10.08. 2020.)
- [14] Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects, A research gate publication by Elaheh Ghassemieh University of Sunderland. (10.08. 2020.)
- [15] Lexus LFA, www.lexus-int.com/models/LFA/tech-features-01.html (12.08. 2020.)
- [16] Ford Focus Carbon Fibre Prototype, <http://performancedrive.com.au/ford-focus-previews-carbon-fibre-technology-to-be-used-on-future-vehicles-1011/ford-focus-carbon-fibre-prototype> (15.08. 2020.)
- [17] Polymotive polymers in the automotive industry (15.08. 2020.)
- [18] Davies, G.: Materials for automobile bodies (20.08. 2020.)

- [19] Composite Car Seat Shell Saves 45% Weight, altairnlighten.com/2013/10/compositocar-seat-shell-saves-45-percent-weight/ (20.08. 2020.)
- [20] Audi 3,2 FSI engine, www.weblogsinc.com/common/images/3060000000049284.JPG?0.3227868157259187 (22.08. 2020.)
- [21] Composite leaf springs: Saving weight in production suspension systems, www.compositesworld.com/articles/composite-leaf-springs-saving-weight-in-productionsuspension-systems (22.08. 2020.)
- [22] Koenigsegg Agera R, www.m5board.com/vbulletin/koenigsegg-forum-koenigseggboard-com/201838-2012-koenigsegg-agera-r-wheels-picture-gtboard-com-exclusive.html (22.08. 2020.)
- [23] Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient, Mihai-Paul Todor, Imre Kiss University Politehnica Timisoara, Faculty of Engineering Hunedoara, Romania. (24.08. 2020.)
- .

9. OZNAKE I KRATICE

ABS – sustav protiv proklizavanja (**eng.** Anti-lock braking system)

EBD – elektronički uređaj za raspodjelu kočne sile (**eng.** Electronic brakeforce limitation)

EBA – sigurnosna kočnica (**eng.** Emergency Brake Assist)

PET – polietilen tereftalata (**eng.** Polyethylene terephthalate)

RTM – Injekcijsko- posredno prešanje (**eng.** Resin transfer molding)

PEI – polieterimid (**eng.** Polyetherimide)

FRP – polimer ojačan vlaknima (**eng.** Fiber Reinforced Polymer)

10. ZAKLJUČAK

Kod odabira materijala u automobilskoj industriji, proizvođači moraju zadovoljiti zakonske zahtjeve, ali i očekivanja kupaca. Najbolji materijal određuje mnoštvo čimbenika koji utječu na postupak odabira istoga. Odjeljak za proučavanje materijalaa potreban je za dizajniranje postojećog proizvoda s boljim performansama, s nižim troškovima, povećane pouzdanosti, smanjene težine te konačan odabir materijala za novi proizvod. Neki od materijala koji se koriste u autoindustriji su tradicionalno čelik, aluminij, magnezij, bakar, ali i plastika i ugljična vlakna. Glavni čimbenici za odabir materijala, posebno za automobilsku karoseriju, su brojni i uključuju toplinsku, kemijsku ili mehaničku otpornost, jednostavnu izradu, trajnost, i mnoga druga mehanička svojstva. Između ostalog, proizvođači u auto industriji iskazuju i sve veći interes za industrijsku primjenu lakih, jakih, a time i energetski učinkovitijih i boljih rješenja, poput kompozita. Ta činjenica je usko povezana uz sve veću ekološku osviještenost kako globalno, tako i auto industriji, zbog čega su ekološki učinkovitiji i primjenjiviji materijali sve prihvaćeniji kod odabira materijala. Iz tog razloga će i daljni razvoj primjene materijala biti određen ekološkim potrebama koje postaju sve veći standard, poput odgovornog korištenja i zbrinjavanja materijala, kao i zbrinjavanjem rabljenih vozila.

11. SAŽETAK

Naslov : Primjena materijala u automobilskoj industriji

Potreba za većom učinkovitošću goriva, minimiziranjem težine, ekološkim propisima i politikama, kao i potražnja kupaca, prisiljava tvrtke proizvođača automobila da se usredotoče na razvoj novih materijala i redizajniranje postojećih te razuman odabir materijala. Sve industrije plastike i kompoziti polimera, kao i čelik, aluminij i magnezij, djeluju kao odgovor na zahtjeve za promjenom u automobilskoj industriji. Desetljećima su napredne plastike i polimerni kompoziti pomagali poboljšati izgled, funkcionalnost i sigurnost automobila, istodobno smanjujući težinu vozila i pružajući istovremeno vrhunsku vrijednost kupcima. Za izradu automobila koriste se razni materijali. Glavni materijali koji se koriste za izradu automobila, dijelova i komponenata, zajedno s budućim trendovima, su čelik, aluminij, magnezij, bakar, plastika i ugljična vlakna. Jedna od metoda odabira najboljih materijala za primjenu u automobilima je upotreba tablica za odabir materijala, koja pruža indeks performansi materijala koji odgovaraju zahtjevima i uvjetima za određenu primjenu.

Ključne riječi: Proizvodnja automobila, , metali, indeks svojstava materijala

12. ABSTRACT


Title: Application of material in Automotive industry

Need for higher fuel efficiency, weight minimization, environmental regulations and policies as well as customer demand forces the auto maker companies to focus on developing new materials and re designing of the existing one and selecting materials reasonably. All material industries plastics and polymer composites, as well as steel, aluminum, and magnesium, are operating to respond to the automotive industry changing needs. For decades, advanced plastics and polymer composites have helped the improvement of appearance, functionality, and safety of automobiles while reducing vehicle weight and delivering superior value to customers at the same time. Various materials are used to make cars. The main materials used for making cars, parts and components, along with future trends, are steel, aluminum, magnesium, copper, plastics and carbon fibers. One of the methods to choose best materials for automotive applications is to use material selection charts, which provides the performance index of the materials to suit the requirement and conditions for specific application.

Keywords: Automotive manufacture, , metals, material performance index

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>23.10.2020.</u>	RENATO KICIVOJ	

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

RENATO KICIVOJ

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 23.10.2020.


potpis studenta/ice