

Aerodinamičko unaprjeđenje automobila izradom dijelova po mjeri od kompozitnih materijala

Filipić, Ines

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:729009>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ines Filipić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Irena Žmak

Student:

Ines Filipić

Zagreb, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studiranja i uz kasnije navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici dr. sc. Ireni Žmak na susretljivosti te pomoći oko izrade ovog rada i svim savjetima u procesu. Hvala profesoru dr. sc. Goranu Šagiju na ustupljenim pojašnjenjima iz područja stručne terminologije. Zahvaljujem i gospodinu Dariju Kaštenu koji mi je, pružanjem radnog prostora i potrebnih alata, omogućio realizaciju ovog rada.

Konačno, zahvaljujem svojoj obitelji, sestri, a najviše svojim roditeljima, na bezuvjetnoj ljubavi i podršci koju mi pružaju, dečku Lovri na velikoj potpori i razumijevanju tijekom studiranja i prijateljici Doris koja mi je uljepšala studentske dane.

Ines Filipić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ines Filipić**

Mat. br.: 0035210804

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Aerodinamičko unaprjeđenje automobila izradom dijelova po mjeri od kompozitnih materijala**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Aerodynamic automotive improvement by custom made parts from composite materials**

Opis zadatka:

Aerodinamičkim unaprjeđenjem oblika prednjeg branika ili dodavanjem prednjeg i stražnjeg krila osobnom automobilu, vlasnici mogu vozilu dodati svoj osobni stil i poboljšati natjecateljske karakteristike vozila. Ovi se dijelovi mogu izrađivati u pojedinačnim narudžbama po mjeri određenih modela vozila. Tipičan materijal koji se pritom koristi je polimerni kompozit ojačan staklenim vlaknima. Ovaj materijal odlikuje mala masa, visoka čvrstoća i krutost, relativno niska cijena izrade, tehnološki relativno jednostavan postupak, široka mogućnost oblikovanja, lako održavanje, korozijska postojanost na medije kojima je vozilo tipično izloženo te otpornost na ultraljubičasto zračenje.

U ovom završnom radu potrebno je prikazati mogućnosti poboljšanja aerodinamičkih karakteristika osobnih vozila dodatnim konstrukcijskim dijelovima. Za te dijelove potrebno je dati pregled pogodnih materijala i postupaka izrade za pojedinačnu proizvodnju. Za odabrani model osobnog vozila izabrati materijal, opisati primijenjeni postupak izrade, navesti prednosti i nedostatke izabranih materijala i postupaka te moguće poteškoće. Osim toga, u radu je potrebno osvrnuti se na tržišnu potražnju za ovakvim proizvodima, navesti približne troškove izrade i procijenjenu prodajnu cijenu.

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

Zadatak zadan:

30. studenoga 2020.

Zadatak zadao:

Datum predaje rada:

1. rok: 18 veljače 2021.

2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.

3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 22.2. – 26.2.2021.

2. rok (izvanredni): 9.7.2021.

3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. KOMPOZITNI MATERIJALI.....	2
2.1. Definicija i podjela kompozitnih materijala.....	2
2.2. Polimerni kompoziti.....	3
2.2.1. Polimerni materijali matrice.....	4
2.2.2. Vrste i svojstva vlakana	5
2.2.3. Mehanička svojstva polimernog kompozita	7
2.2.4. Primjena polimernih kompozita u autoindustriji	9
3. TEHNOLOGIJE IZRADE DIJELOVA ZA AERODINAMIČKO POBOLJŠANJE AUTOMOBILA OD POLIMERNIH KOMPOZITA	12
3.1. Aerodinamika.....	12
3.2. Proizvodni postupci.....	12
4. IZRADA AUTOMOBILSKOG DIJELA PO MJERI	14
4.1. Opis zadatka	14
4.2. Odabir materijala.....	14
4.2.1. Materijal prototipa.....	14
4.2.2. Materijali za izradu kalupa.....	15
4.2.3. Materijali za izradu spojlera.....	20
4.3. Postupak izrade	24
4.3.1. Izrada prototipa	24
4.3.2. Izrada kalupa	26
4.3.3. Izrada proizvoda.....	35
4.3.4. Montaža proizvoda na vozilo	41
4.3.5. Prednosti i nedostaci	42
4.3.6. Tržište.....	43
5. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1.	Oblik ojačala [4].....	2
Slika 2.	Dijagram čvrstoće i žilavosti različitih vrsta materijala [6].....	3
Slika 3.	Načini orijentacije vlakana [8].....	5
Slika 4.	Ugljična vlakna [9].....	6
Slika 5.	Kevlar [11].....	7
Slika 6.	Krov s ojačalom od bambusa [13].....	7
Slika 7.	Rimac C Two [16].....	9
Slika 8.	Tepih u Ford Lincolnu od polimernog kompozita ojačanog vlaknima banane [17].....	9
Slika 9.	Čep za motorno ulje od polipropilena i konopljinih vlakana [1].....	10
Slika 10.	Naplatak od kompozita [18].....	11
Slika 11.	NORPOL GM, zeleni, sloma za kalupe.....	16
Slika 12.	Katalizatorom aktivirani duromerni sustav [14].....	16
Slika 13.	Katalizator PROMOX P200TX.....	17
Slika 14.	Rezanje staklenih vlakana.....	18
Slika 15.	Ispuna Sphere.core SP 5,0 tvrtke Spheretex [31].....	20
Slika 16.	Piktogrami opasnosti poliesterske smole NORPOL® NGA [26].....	20
Slika 17.	Oznake na vosku za odvajanje.....	22
Slika 18.	Tekući odvajač.....	23
Slika 19.	Dvokomponentni kit.....	24
Slika 20.	Zamjenski spojler za Hondu Civic EG.....	24
Slika 21.	Prototip produženog spojlera za Hondu Civic EG.....	25
Slika 22.	Prototip, detalji.....	25
Slika 23.	Naprava za pričvršćivanje prototipnog spojlera tijekom rada.....	26
Slika 24.	Izrada prirubnice.....	27
Slika 25.	Nanesen i zaglađen kit.....	27
Slika 26.	Nanošenje voska na gornju površinu spojlera.....	28
Slika 27.	Korišteni materijali i alati za nanošenje gel-premaza.....	29
Slika 28.	Gornja površina modela spojlera prekrivena premazom gela.....	29
Slika 29.	Istiskivanje zraka između slojeva kompozita valjanjem.....	30
Slika 30.	Postavljena ispuna Sphere.core SP 5,0.....	31
Slika 31.	Završen gornji dio kalupa.....	31
Slika 32.	Donja strana prototipa spremna za laminiranje.....	32
Slika 33.	Nanesena tri sloja vlakna i smola za donji dio kalupa.....	32
Slika 34.	Završen donji dio kalupa.....	32
Slika 35.	Obrada rubova kalupa, provrti i vađenje prototipa.....	33
Slika 36.	Završen kalup.....	34
Slika 37.	Nanošenje crnog gel premaza na kalup.....	35
Slika 38.	Završena laminacija za otpresak.....	36
Slika 39.	Vađenje otpreska iz kalupa.....	36
Slika 40.	Umetanje otpreska natrag u kalup.....	37
Slika 41.	Zatvoreni kalup.....	38
Slika 42.	Vađenje spojlera iz kalupa.....	38

Slika 43.	Poliranje spojlera uređajem za poliranje	39
Slika 44.	Gornja strana spojlera	40
Slika 45.	Donja strana spojlera.....	40
Slika 46.	Usporedba izvornog i prilagođenog spojlera na automobilu	41
Slika 47.	Izrađeni krovni spojler montiran na automobil Honda Civic EG	42
Slika 48.	Broj osobnih automobila na 1000 stanovnika u Europi u 2018. [36]	44

POPIS TABLICA

Tablica 1. Svojstva E-stakla i nezasićene polimerne smole [15]..... 8

SAŽETAK

Automobilska industrija jedna je od najvažnijih grana industrije u svijetu, a potreba za zamjenom konvencionalnih metalnih materijala sve je veća zbog nametnutih visokih zahtjeva koje proizvođači moraju zadovoljiti. Najvažniji zahtjev je smanjenje emisije štetnih plinova koji se postiže upotrebom manje količine energije potrebne za vožnju. Manja masa vozila znači i manju potrošnju energije. Pravilnim odabirom materijala, a koji će ujedno zadovoljiti svojim mehaničkim svojstvima te otpornošću na koroziju i atmosferilije, može se značajno smanjiti ukupna masa vozila. Dobar odabir su polimerni kompoziti, materijal koji zadovoljava sve kriterije i ima mogućnost projektiranja svojstva.

U ovom završnom radu prikazan je jedan od postupaka izrade kompozitnih automobilskih dijelova, a u te svrhe izrađen je krovni spojler postupkom ručnog laminiranja. U kompozitu od kojeg je spojler izrađen korišteno je ojačanje staklenim vlaknima, a materijal matrice je poliesterska smola. Opisan je postupak izrade od prototipa, kalupa do gotovog proizvoda kao i korišteni materijali.

Ključne riječi: polimerni kompoziti, ručno laminiranje, staklena vlakna, poliesterska smola, spojler, izrada po mjeri.

SUMMARY

The automotive industry is one of the largest industry branches in the world. Comparatively, the urgency for the replacement of conventional materials is also growing ever-larger, as the car manufacturers have to meet the strict and levied demands. The most important demand is the reduction of the exhaust of harmful gasses, which is achieved by lowering the power consumption needed to drive the vehicle. By appropriately choosing materials which simultaneously meet the required mechanical standards and offer resistance to corrosion and weather effects, the manufacturers can significantly lower the total mass of the vehicle. Such materials include polymer composites, which meet all standards and are customizable.

This Bachelor thesis presents one of the processes of composite automotive part production. A roof spoiler was manually laminated and constructed for the thesis purpose. The composite used in the construction of the spoiler was reinforced with glass fibres and the material used for the matrix was polyester resin. In addition to this, the manufacturing process from the prototype, to the mould and up until the finished product, as well as the materials used are presented.

Key words: polymer composites, manual lamination, glass fibre, polyester resin, spoiler, custom made

1. UVOD

Intenzivan napredak autoindustrije zahtjeva i jednak razvoj materijala koji inženjeri razvijaju sukladno s trendom i visokim zahtjevima koje autoindustrija postavlja. Najznačajniji zahtjevi su mala masa kako bi se smanjila potrošnja pa tako i emisija CO₂, no istovremeno i postigla visoka razina sigurnosti. Kao materijal koji zadovoljava nametnute zahtjeve, polimerni kompoziti počeli su se razvijati još 1939. godine u Fordovoj tvornici pri izradi karoserije, blatobrana i poklopca motora automobila kad su u spomenutom procesu upotrijebljena staklena i sojina te vlakna konoplje s duromernom matricom. [1] U posljednjih 50 godina, sukladno poboljšanju svojstava polimernih kompozita, njihova upotreba značajno se povećala. Prednosti poput male mase, otpornosti na koroziju, niske investicije u proizvodnju i zadovoljavajućih mehaničkih svojstava prevagnule su nad nedostacima glede teškoća u velikoserijskoj proizvodnji, više cijene potrebnih sastavnica ili nedovoljne istraženosti materijala. Velikoserijska proizvodnja dijelova koristi injekcijsko ili izravno prešanje i slaganje preprega za serije skupih dijelova, dok su kompoziti koji se koriste kod jeftinije primjene načinjeni od plastomerne ili duromerne matrice punjene staklenim vlaknima. Prvo značajnije korištenje takvog kompozita je automobil Chevrolet Corvete (1953. godina), čija je karoserija izrađena od poliesterske matrice i staklenih vlakana. [2]

Ovim radom prikazat će se proizvodnja jedinstvenog kalupa i proizvoda za poboljšanje aerodinamike automobila postupkom ručnog laminiranja staklenih vlakana u matrici poliesterske smole. Za izradu proizvoda po mjeri odabran je takav materijal zbog prednosti koje nudi, kao što su mala masa i otpornost na vremenske uvjete, a postupak zbog relativno jednostavne izrade bez velikih ulaganja u proizvodnju.

U teorijskom dijelu rada biti će opisani polimerni kompoziti i odabir materijala za specifičan proizvod, dok će u drugom, praktičnom dijelu, biti opisan postupak izrade i korišteni alati uz pripadajuće fotografije.

2. KOMPOZITNI MATERIJALI

2.1. Definicija i podjela kompozitnih materijala

Kompoziti su, uz metale, keramiku i polimere, jedna od četiri temeljne skupine materijala. Proizvedeni su kombinacijom dvaju ili više materijala. Nastaju fizikalnim ili kemijskim povezivanjem osnovnog materijala (matrice) i dodatnog materijala (ojačala ili punila). Spajanjem materijala žele se projektirati specifične karakteristike i svojstva kakve sastavne faze nemaju u zasebnosti. Kako bi se to postiglo, sudjeluju tri mehanizma: **adicijski efekt** (doprinosi sastojaka ne ovise jedni o drugima), **komplementarni efekt** (svaki sastojak doprinosi poboljšanju samo određenog svojstva), **interakcijski efekt** (sinergijsko djelovanje sastojaka, određena svojstva kompozita bolja su nego pojedinačna svojstva). [3]

Postoji više podjela kompozita od kojih su najbitnije prema [3]:

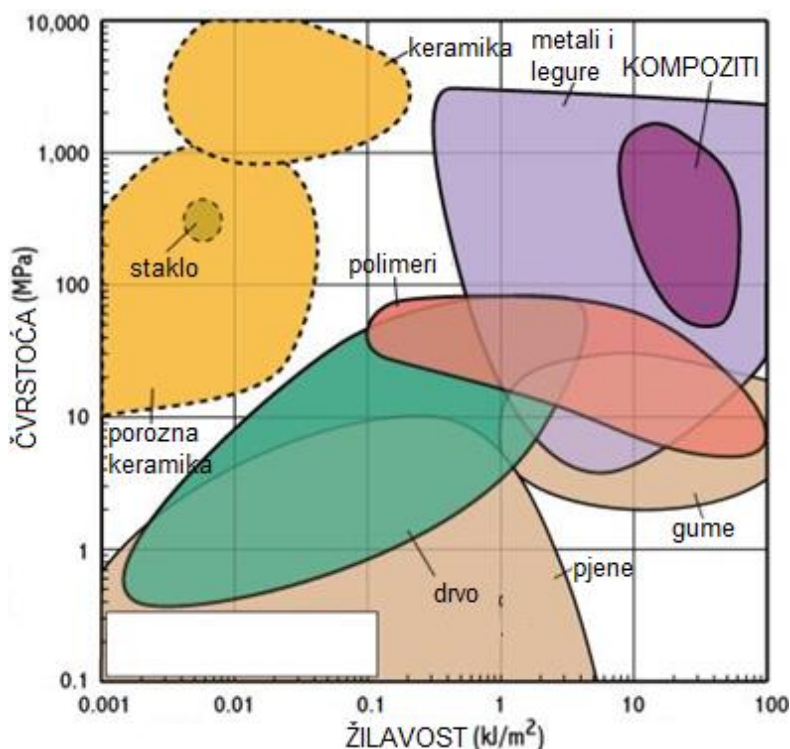
- materijalu matrice – polimerni, metalni, keramički
- materijalu ojačala – staklena ili keramička vlakna, metalna ojačala
- obliku ojačala – s česticama, vlaknasti, viskeri (Slika 1.)
- rasporedu ojačala – kontinuirani, diskontinuirani
- postupku izradbe – namotavani, izravno prešani
- primjeni – konstrukcijski, elektrotehnički i ostali.



Slika 1. Oblik ojačala [4]

U usporedbi s konvencionalnim materijalima, prednosti kompozita su mogućnost projektiranja svojstava, otpornost na koroziju, mala gustoća, dobra specifična čvrstoća, specifična krutost, mogućnost izrade složenih oblika, niska cijena, jednostavnost održavanja i

dulji vijek trajanja. Nedostaci kompozita su relativna krhkost, visoki proizvodni troškovi kod složenijih izradaka i problem s postupcima spajanja i oblikovanjem konstrukcija. [5]



Slika 2. Dijagram čvrstoće i žilavosti različitih vrsta materijala [6]

Slika 2. prikazuje različite materijale u čvrstoća – žilavost dijagramu. Iz slike je vidljivo da su kompoziti jedni od najčvršćih, a ujedno najžilavijih materijala s obzirom na to da se nalaze u gornjem desnom dijelu dijagrama. [6]

2.2. Polimerni kompoziti

Najraširenija vrsta kompozita su polimerni kompoziti, korišteni kao zamjena za klasične konstrukcijske materijale u automobilske industriji, brodogradnji, građevinarstvu, zrakoplovstvu pa čak i u svemirskoj tehnici koja zahtjeva primjenu visoke tehnologije.

Osnovne faze polimernih kompozita su polimerna matrica i ojačalo.

S obzirom na to da najveći utjecaj na mehanička svojstva kompozita u cijelosti ima ojačalo, temeljna podjela temelji se na obliku ojačala:

- kompoziti s vlaknastim ojačalima
- kompoziti s disperziranom česticama

- hibridni kompoziti s vlaknima i/ili disperziranim česticama.

Utjecaj ojačala je različit. Tako čestice usporavaju gibanje dislokacija u materijalu, a nositelj mehaničkih svojstava je matrica, dok kod kompozita s vlaknastim ojačalom vlakna preuzimaju mehanička opterećenja. [3]

2.2.1. Polimerni materijali matrice

Matrica kompozita može biti na osnovi plastomera, no češće je na osnovi duromera. U zrakoplovnoj industriji koristi se **epoksidna smola (EP)** koja mehaničkim svojstvima i postojanošću na atmosferilije i vlagu dominira pred ostalim smolama. Smjesa je jantarne ili svijetlo smeđe boje, niske viskoznosti i lako preradiva. U ovisnosti o vrsti očvršćivala, lako se i brzo skrućuje na temperaturi od 5 do 15 °C. Najčešće korištena smola je **poliesterska (UP)**, najviše u brodogradnji. Blijedo obojana kapljevinna mješavina je poliestera i monomera stirena, koji omogućava lakši rad jer smanjuje viskoznost, no prvi zadatak mu je povezivanje molekula poliestera, odnosno učvršćivanje materijala. Nakon određenog vremena počinje geliranje stoga smjesa ima ograničen rok trajanja. Za primjenu smole potrebno je u smjesu dodati katalizator, a osim katalizatora mogu se dodati pigmenti, dodaci za smanjenje gorivosti i slično. Druge duromerne matrice su vinil-esterske smole, fenolne smole, poliiimidi, dok je najčešća plastomerna matrica polipropilen (PP). Koriste se još i poliamid (PA), poliamid-imid (PAI), ketonski polimeri i dr. Prednosti polimernih matrica su dugo skladištenje pripremljene smjese (prepreg), prilagođenost za automatizirane procese i mogućnosti visoke kompaktnosti kompozita. [3]

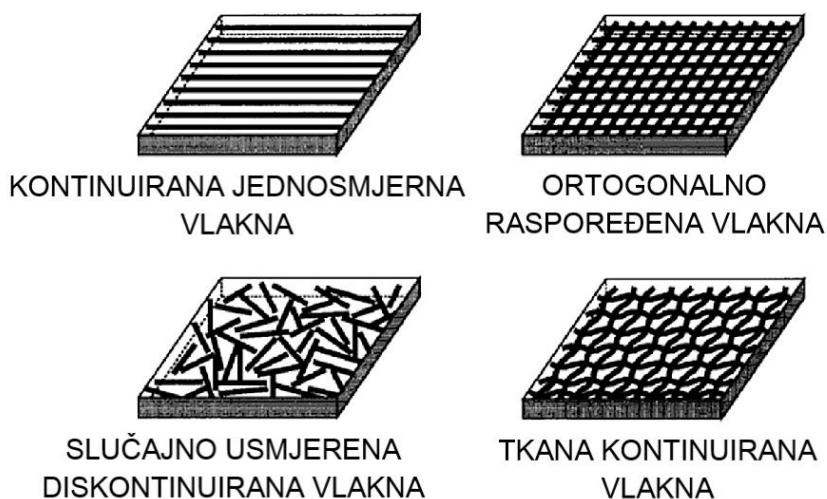
2.2.2. Vrste i svojstva vlakana

Polimerni kompoziti s vlaknima mogu se podijeliti s obzirom na duljinu vlakana i njihovu orijentaciju [3]:

- kompoziti s kratkim vlaknima i česticama
- kompoziti s dugim jednosmjerno orijentiranim vlaknima
- kompoziti s dugim višesmjerno orijentiranim vlaknima.

Nemogućnost preciznog predviđanja mehaničkih svojstava kompozita veliki je nedostatak kratkih vlakana, a najveću učinkovitost ojačanja imaju duga vlakna. Vlakna se mogu pojaviti u obliku viskera, niti ili žica. Vlakna se najčešće javljaju u polimernim kompozitima u obliku laminata i hibrida. Laminati se laminiraju (slažu) u predviđenim smjerovima i slojevima, a hibridni kompoziti imaju ojačanja s više vrsta vlakana kako bi se najbolje iskoristile prednosti svakog ojačanja. [3]

Glavne prednosti vlaknima ojačanih polimernih kompozita su znatno veća specifična čvrstoća i krutost, postojanost prema većim promjenama pH-vrijednosti okoline te velika mogućnost prigušenja vibracija. Neki nedostaci su mogućnost širenja pukotina uzduž vlakana, anizotropnost, neplastičnost, osjetljivost na raslojavanje i dr. Kod polimernih vlaknastih kompozita opterećenja nose vlakna, čiji volumni udio može iznositi i više od 70 %, dok ih matrica povezuje. [3] Osim volumnog udjela, na konačna svojstva kompozita utječe i geometrijska orijentacija vlakana u matrici prikazana na Slici 3. [7]

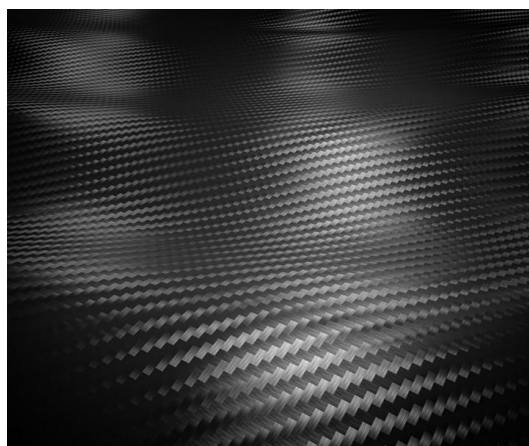


Slika 3. Načini orijentacije vlakana [8]

Neka od vlakana koja se koriste u polimernim kompozitima su staklena vlakna, ugljična, aramidna, borna vlakna, hibridna, keramička, poliesterska, polietilenska i, sve češća, prirodna organska vlakna.

Staklena vlakna su najčešća ojačala u polimernim kompozitima te će biti detaljnije opisana u nastavku rada.

Ugljična vlakna, vidljiva na Slici 4., dobivaju se kontroliranim postupcima iz organskih prethodnika u vlaknastom obliku (npr. poliakrilonitril, katran, celuloza). Dije se s obzirom na vrijednost modula rastezljivosti na vlakna visoke čvrstoće, srednje modulna vlakna, visoko modulna vlakna i ultravisoko modulna vlakna. Promjer im je od 5 do 7 μm . Ističu se zbog najviše krutosti, vrlo visoke rastezne čvrstoće te odlične postojanosti na koroziju, puzanje i zamor. [3]



Slika 4. Ugljična vlakna [9]

Aramidna vlakna, poznata i pod trgovačkim nazivom kevlar, su sintetski organski polimeri proizvedeni pređenjem kontinuiranog vlakna iz kapljaste smjese. Imaju tipično zlatno-žutu boju. [3] Aramidna vlakna se zbog dobrih mehaničkih svojstava ponekad koriste umjesto staklenih ili čak ugljičnih vlakana. [10]



Slika 5. Kevlar [11]

Vlakna sastavljena od dvije ili više vrsti vlakana nazivaju se **hibridna vlakna**. Takvim kombiniranjem mogu se postići optimalna svojstva. Jedna od najčešćih vrsta hibridnih vlakana su ugljična – aramidna – staklena vlakna, koja se koriste npr. u brodogradnji. Takvim kombiniranjem smanjuje se cijena materijala. [3]

Sve češća su u upotrebi i **prirodna organska vlakna** končastih biljaka poput bambusa (Slika 6.), lišća konoplje, zelene kore banane, ovisno o geografskom području izrade vlakana. [12]



Slika 6. Krov s ojačalom od bambusa [13]

2.2.3. Mehanička svojstva polimernog kompozita

U ovom poglavlju opisać će se mehanička svojstva kompozita od staklenih vlakana i poliesterske smole.

U Tablici 1. prikazana su svojstva E-staklenih vlakana (vrsta stakla s velikim električnim otporom) i nezasićene poliesterske smole, koja ima umjerenu molekulnu masu i dvostruke veze pa je pogodna za umrežavanje. [14]

Tablica 1. Svojstva E-stakla i nezasićene polimerne smole [15]

Svojstvo	Vlačna čvrstoća (MPa)	Tlačna čvrstoća (MPa)	Modul elastičnosti (GPa)	Gustoća (g/cm ³)
E-staklo	3445	1080	73	2,58
Nezasićena poliesterska smola	90	55	3,23	1,35

S obzirom na postotak ojačala (staklenih vlakana nasumično orijentiranih – mat), koji varira u iznosu od 15 do 60 % masenog udjela, mijenjaju se i vrijednosti mehaničkih svojstava. U jednom eksperimentalnom ispitivanju dobiven je rezultat variranja rastezne čvrstoće između 28,25 MPa do 78,83 MPa, savojne čvrstoće između 44,65 MPa i 119,23 MPa, a udarni rad loma (mjera žilavosti materijala) varirao je od 3,5 do 6,5 J. [15]

Načini kombiniranja materijala za izradu polimernih kompozita su gotovo neiscrpni pa se samim time mijenjaju i mehanička svojstva pojedinih kompozita.

2.2.4. Primjena polimernih kompozita u autoindustriji

U automobilskoj industriji značajna je upotreba polimernih kompozita ponajviše zbog male gustoće i otpornosti na koroziju. Strukturne dijelove automobila možemo podijeliti na nekoliko segmenata: karoserija, eksterijer, interijer, ovjes i dijelovi ispod poklopca motora. Kod izrade karoserije najčešće se koriste ugljična ili staklena vlakna u epoksidnoj smoli. Tako se može postići visoka čvrstoća i tvrdoća uz malu masu. [1] Jedan od primjera superauta kod kojeg su za izradu karoserije korištena ugljična vlakna je Rimac C Two (Slika 7.). [16]



Slika 7. Rimac C Two [16]

Dijelovi interijera su kod nekih automobila također izrađeni od polimernih kompozita, primjerice polipropilenske matrice i staklenih vlakana. Tako se smanjila masa dijelova, a povećala čvrstoća i otpornost na povišenu temperaturu (neposredna blizina elektronike). [1] Biokompoziti su materijali koji imaju u sebi prirodno ojačalo kao što su različita biljna vlakna. Vlakna kuraua, dobivena od biljke latinskog naziva *Ananas lucidus*, se također mogu koristiti u unutrašnjosti automobila zato što nemaju miris kao većina biljnih vlakana. Tako se ova vlakna i polipropilenska matrica koriste u različitim omjerima za pretince, unutrašnju oblogu krova i vrata i punjenje sjedala. [2] Drugi primjer upotrebe biokompozita je u Ford Lincolnu gdje su za ojačanja korištena vlakna banane. [17]



Slika 8. Tepih u Ford Lincolnu od polimernog kompozita ojačanog vlaknima banane [17]

Ispod poklopca motora nalazi se mnogo kompozitnih dijelova kao što su poklopac glave motora (primjerice kod Audija A8 izrađen od poliamida i staklenih vlakana), čepovi posuda za ulje (Slika 9.), antifriz ili sredstva za pranje stakla. Također, nalazi se i kutija za dovod zraka čiji su zahtjevi na materijal dobra podnošljivost povišene temperature, postojanost na atmosferilije, mala masa i dobro podnošenje vibracija. Može se izraditi od polipropilena i staklenih vlakana. [1]



Slika 9. Čep za motorno ulje od polipropilena i konopljinih vlakana [1]

Opruge amortizera mogu biti izrađene od epoksidne smole i staklenih vlakana, što je slučaj kod Audija 2014. Ovo smanjuje ukupnu masu 4,4 kilograma za sve četiri opruge u odnosu na čeličnu varijantu. Osim značajnog smanjenja mase, otporne su na koroziju. Lisnate opruge za Mercedes Sprinter izrađene RTM postupkom (od engl. *Resin transfer moulding*, injekcijsko – posredno prešanje, tipično za velikoserijsku proizvodnju kompozita) također zamjenjuju čelične opruge. Osim što su pet puta manje mase, one bolje prigušuju vibracije, proizvode manje zvukova i trajnije su. [1]

Kako bi se približili zahtjevima za smanjenjem emisije CO₂, mogu se izrađivati naplatci od polimernih kompozita koji će zamijeniti aluminijeve i magnezijeve legure. Korištenje poli(eter-imidne) matrice ili epoksidne smole ojačane ugljičnim vlaknima smanjuje emisiju za 2 do 3 % (masa po setu naplataka smanjena za 20 kg). [1] Na Slici 10. prikazan je naplatak korišten kod prvog „megavat-automobila“, Koenigsegg One:1, predstavljenog u Ženevi 2014. godine.



Slika 10. Naplatak od kompozita [18]

Eksterijer automobila (branik, poklopac motora, vrata, obloge) može biti također izrađen od polimernih kompozita. Osim prethodno spomenutog smanjenja mase i otpornosti na koroziju, dijelovi mogu biti izrađivani preciznije uz manja odstupanja pa su tako praznine na spoju blatobrana i branika manje. Poliamidna matrica i ugljična vlakna korišteni su u izradi Corvette Stingray, no kompoziti se ne moraju koristiti samo za izradu superautomobila, već i za velikoserijsku proizvodnju. Primjerice, ovo je slučaj kod Forda Focusa, automobila pristupačnog znatnom broju potrošača. [1] U Fordu je predstavljen poklopac motora ojačan ugljičnim vlaknima, u kojem se između dva takva sloja nalazi i posebna pjenasta jezgra, a ovakav dizajn pokazao se dobrim u testiranjima s obzirom na to da rezultira boljom zaštitom pješaka prilikom sudara. [19]

3. TEHNOLOGIJE IZRADE DIJELOVA ZA AERODINAMIČKO POBOLJŠANJE AUTOMOBILA OD POLIMERNIH KOMPOZITA

3.1. Aerodinamika

Za pokretanje vozila potrebno je savladati sve otpore vožnji. U otpore vožnji ubrajaju se otpor kotrljanja, otpor ubrzanja, otpor penjanja te **otpor zraka**. Otpor zraka izazvan je pritiskom zraka na čeonu površinu vozila, trenjem zraka o uzdužne plohe vozila te depresijom i vrtloženjem zraka iza vozila. Nadalje, otpor zraka ovisan je o gustoći zraka te relativnoj brzini zraka prema brzini vozila. Najznačajnije varijable kod iznosa otpora zraka su relativna brzina (kod malih brzina otpor je beznačajan, a nakon 80 km/h poprima značajnije vrijednosti) te koeficijent otpora zraka kao bezdimenzijska veličina, koji ovisi o obliku vozila. [20] Smanjenjem otpora zraka postiže se smanjena potrošnja goriva, a samim time manja emisija CO₂ pa se kroz povijest mijenjao izgled automobila kako bi se što više smanjio koeficijent otpora zraka. Dodavani su i konstrukcijski elementi na karoseriju koji smanjuju turbulencije zraka. Na osobnim automobilima su to ponajviše kozmetički dodaci, dok se kod sportskih, natjecateljskih vozila, dodaju aerodinamički elementi (spojleri, krila, difuzori), kako bi se poboljšala dinamička svojstva automobila, odnosno povećao potisak (engl. *downforce*) koji utječe na prijanjanje vozila na cestu. [21]

3.2. Proizvodni postupci

U autoindustriji osim dijelova izvornog proizvođača opreme (OEM, prema engl. *Original equipment manufacturer*) na tržištu se mogu pronaći mnogi zamjenski dijelovi od drugih proizvođača. Ovime je nabava dijelova za popravak i nadogradnju automobila omogućena širem spektru potrošača. Međutim, tržište se širi i udovoljava osobnim željama kupaca pa postoji i potreba za izradom željenih dijelova po mjeri za određeni model automobila.

Neki postupci za proizvodnju polimernih kompozita su [22]:

- u autoklavu
- polaganje vlakana
- namotavanje vlakana
- oblikovanje uz ulijevanje smola

- izravno prešanje kapljevite smole (RTM, prema engl. *Resin transfer moulding*)
- pultrudiranje.

Autoklav je korišten za proizvode visokih performansi, ograničene veličine i oblika. Korišten je za proizvodnju kompozita od ugljičnih vlakana i epoksidne smole, a osim više cijene materijala, cijena raste i zbog samog postupka koji je ograničen na maloserijsku proizvodnju uz intenzivan rad. Proces počinje rezanjem i postavljanjem preprega u kalup, koji se zatvara vakuumskom vrećom. Dozrijevanje se odvija u vakuumu u ciklusima pod određenom temperaturom (110 do 125 °C), tlakom (550 do 690 kPa) i određenim vremenom držanja. [22]

Ručni postupak nanošenja polimerne smole na slojeve ojačala također traži intenzivan ljudski rad, no praktičnost i jednostavnost procesa dolazi do izražaja za pojedinačne proizvode ili ograničene serije.

U velikoserijskoj proizvodnji korišten je postupak **oblikovanja uz ulijevanje smola**, gdje je smanjena opasnost od isparavanja stirena jer se oblikovanje događa u zatvorenom kalupu tako što se smjesa smole u kalup dovodi podtlakom. Postupak zahtijeva složeniju logistiku i konstrukciju kalupa kako bi se potpuno popunile sve šupljine i izbjegla poroznost.

Izravno prešanje kapljevite smole još je brži postupak jer se u kalup polažu vlakna i smola koja se drugom polovicom kalupa pritisne pa tako smola natopi vlakna. [23]

4. IZRADA AUTOMOBILSKOG DIJELA PO MJERI

4.1. Opis zadatka

S obzirom na to da tržištem diktiraju potrošačeve želje, jedan od postupaka proizvodnje dijela za automobil od polimernih kompozita po mjeri je ručno laminiranje i nanošenje smole kako bi se izradio spojler.

Riječ **spojler** dolazi od engl. *spoiler*, a u rječniku je opisan kao naprava za promjenu protoka zraka vozila koje se kreće, oblika peraje ili lopatice, koja se postavlja na prednju ili stražnju stranu vozila, a smanjuje uzgon. [24] Njemačka istoznačnica je *der Spoiler*. [25] U hrvatskom rječniku riječ spojler opisana je kao „dio na motornom vozilu kojim se poboljšava stabilnost pri većim brzinama.“ [25]

Krovni spojler, kakav je izrađen i opisan u ovom završnom radu, pridonosi vizualnom doživljaju automobila, a aerodinamičke karakteristike trebalo bi istražiti i ne može se bez ispitivanja ili simulacije sa sigurnošću reći da ih poboljšava. Izrađivan je za *Hondu Civic EG* tipa hatchback (poznate kao tzv. jaje) po želji klijenta, čiji su zahtjevi bili izvan okvira dostupnih dijelova na tržištu.

Odabrani postupak za proizvodnju takvog spojlera je **ručni postupak nanošenja polimerne smole na staklena vlakna**. Taj postupak izrade je odabran zbog niskih troškova opreme i kalupa i relativno jednostavne izrade kalupa. [23]

4.2. Odabir materijala

U ovom će poglavlju biti za svaku fazu navedeni korišteni materijali te njihova svojstva i specifične karakteristike. Od dobavljača su zatražene i dobivene neke STL (sigurnosno-tehničke liste) gdje su opisane sve opasnosti i upute za sigurno korištenje i odlaganje materijala kao i sastav materijala u svrhu zaštite ljudi i okoliša. Poglavlja koja nemaju navedenu literaturu napisana su na temelju sigurnosno-tehničke liste.

Neki materijali koriste se i za kalup i spojler pa neće biti opisivani više puta.

4.2.1. Materijal prototipa

Prototip je model koji je preteča gotovog proizvoda, a vizualno mu u potpunosti odgovara. Izrađuje se od raznih materijala koji se mogu lako modelirati i obrađivati. Koristi se za izradu

kalupa u kojem se kasnije izrađuju svi proizvodi pa je bitno da je što preciznije napravljen. Za potrebe izrade spojlera u ovom radu, prototip je izrađen od dostupnog **zamjenskog dijela**. Zamjenski spojler također je izrađen od staklenih vlakana i smole, a njegovom kupovinom je značajno smanjeno vrijeme oblikovanja željenog spojlera. Naime, donji dio spojlera mora biti minuciozno izrađen kako bi perfektno nalijegao na sami automobil. U ovom slučaju, spomenuti dio već je izrađen prema specifičnom automobilu, čime je izbjegnuta kompleksan proces oblikovanja.

Takav zamjenski spojler nadograđivan je **lako oblikovljivim materijalima**: poliuretanskom pjenu, poliesterskim kitom te oblikovan brušenjem i rezanjem.

Naposljetku, na model je nanesen crni gel-premaz (koji se koristio i kod izrade spojlera), kako bi se postigla glatka površina, a nedostaci postali lakše uočljivi.

4.2.2. *Materijali za izradu kalupa*

Kalupi za dodirni postupak nanošenja smole izrađuju se najčešće od drveta, gipsa, metala ili polimera. [23] U ovom procesu, kalup je izrađen pretežno od poliesterske smole i staklenih vlakana, nanošenih na obje strane modela (prototipa) kako bi se dobio negativ željenog proizvoda. Korišteni materijali za izradu kalupa opisani su u nastavku.

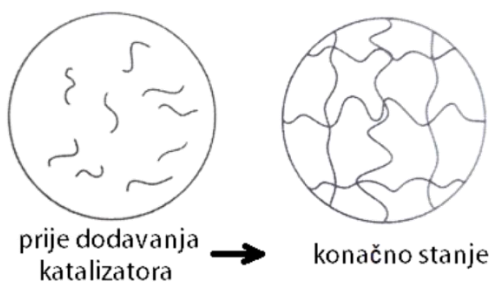
NORPOL® GM (za kalupe)

Smola koja se koristi kao **gel-premaz** (engl. *gelcoat*) na bazi vinil-esterske smole je vrlo otporna na agresivne medije i otapala. Iz tog razloga koristi se za izradu kalupa, a daje visoki sjaj površini i nakon ponovnih korištenja kalupa. Isporučuje se kao bezbojna ili u zelenoj i crnoj boji, a u ovom radu korištena je zelena smola GM 6014 [Slika 11.]. Nanosi se ručno ili prskanjem. [26]



Slika 11. NORPOL GM, zeleni, sloma za kalupe

Smole su duromeri kod kojih nakon umrežavanja prevladava umreženost kemijskim vezama. Na sobnim temperaturama duromeri su ukrućeni i zanemarivo deformabilni. [3] Duromerni sustavi mogu biti temperaturno aktivirani, katalizatorom aktivirani ili aktivirani smješavanjem. Navedena smola započinje kemijsku reakciju stvaranja trodimenzionalne molekularne mreže dodavanjem katalizatora pri sobnoj temperaturi [Slika 12.]. [14]



Slika 12. Katalizatorom aktivirani duromerni sustav [14]

PROMOX® P200TX

Katalizator je općenito tvar kojom se ubrzava odvijanje kemijske reakcije, a kod duromernih smola riječ je o reakcijama umrežavanja (i posljedično, očvršćivanja). Katalizator se koristi za očvršćivanje gelcoata i smole. [14]

Katalizator PROMOX® P200TX je tvar metil-etil-eton-peroksid (MEKP, organski peroksid), 35 %- tne otopine u dimetil-ftalatu, bezbojna je tekućina i specifičnog mirisa.

S obzirom na otrovnost i mogućih opasnosti kod korištenja, na pakiranju su jasno označeni piktogrami [Slika 13.] na koje bi trebalo obratiti pozornost.



Slika 13. Katalizator PROMOX P200TX

Na pakiranju su redom označeni: plamen, nagrizajuće djelovanje, uskličnik (toksičnosti i nadraživanje) i opasnost za zdravlje. Na sigurnosno-tehničkom listu, navedene su sve opasnosti i mjere koje treba poduzeti kako bi se zaštitilo od negativnih utjecaja na zdravlje, kao i postupci ako dođe do nesreće. Riječ je o vrlo zapaljivom proizvodu, štetnom za čovjekovo zdravlje i okoliš. Kod korištenja potrebno je koristiti zaštitu za oči, respiratorni sustav i kožu. Ostatke i zatvoreno pakiranje proizvoda treba odložiti kao opasan otpad sukladno broju iz Europskog kataloga otpada (EWC number), odnosno sukladno hrvatskom Katalogu otpada.

Staklena vlakna

Najčešće korištena vlakna u polimernim kompozitima su upravo staklena vlakna zbog njihovih povoljnih mehaničkih svojstava (povoljni omjer čvrstoće i mase, postojanost na povišenim temperaturama i korozivskim opterećenjima, postojanost na starenje itd.) i jednostavne i jeftine prerade. [3] Staklena vlakna se proizvode od praškastih sirovina (SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 i dr.) koje se zagrijevaju do oko $1300\text{ }^\circ\text{C}$, tako rastaljeni potiskuju se i izvlače

velikim brzinama kroz vrlo male otvore. Dobivena vlakna promjera od 9 do 17 μm odmah se namotavaju na kolute, a kasnije se oblikuju u različite oblike ojačanja.

Razlikujemo nekoliko najvažnijih oblika, a to su:

- a) struk ili roving (usporedna vlakna, engl. *roving*) – paralelna neisprepletana vlakna pretežno u jednom smjeru
- b) stakleno tkanje ili tkani roving – slično tkanini, međusobno isprepletana vlakna u dvije osi
- c) mat – neorijentirana i neisprepletana plošno raspoređena vlakna
- d) kratka staklena vlakna – rezana i mljevena vlakna.

Od svih svojstava, vlakna imaju najveći utjecaj na vlačnu čvrstoću, modul elastičnosti i toplinsku postojanost. [23]

Za izradu kalupa i krovnog spojlera korišten je **stakleni mat**, staklene niti dužine oko 5 cm rastresene u svim pravcima po površini. Stakleni mat je moguće kupiti u roli, različite mase po jedinici površine (225, 300, 450 ili 600 g/m^2). U ovom radu korišten je emulzijski stakleni mat mase 450 g/m^2 . Emulzijski stakleni mat se dobro i jednolično natapa smolom te je dobro povezan pa zadržava cjelovitost za vrijeme korištenja i ne raspada se prilikom rezanja i impregnacije. [27]



Slika 14. Rezanje staklenih vlakana

POLYLITE® 440-800

Kao matrica u izradi kalupa i spojlera korištena je srednje reaktivna ortohtalna poliesterska smola maglovito svijetlo plave boje. Navedena smola je već djelomično katalizirana i tiksotropirana s relativno dugim vremenom geliranja. [28] Tiksotropno svojstvo je svojstvo

tečenja tvari, kada tvar u fazi mirovanja ima veliku viskoznost, a miješanjem se viskoznost smanjuje. [29] Smola se može nanositi ručno ili prskanjem u debljini od 3 do 8 mm i brzo se suši, a prije nanošenja potrebno joj je dodati katalizator. [28]

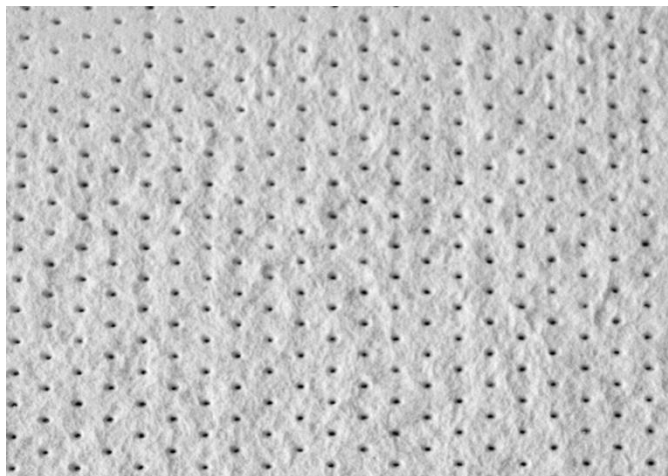
Nezasićena poliesterska smola ima dobru postojanost na atmosferilije i djelovanje raznih kemikalija, a maksimalna temperatura dugotrajne primjene je 100 °C. Smola ojačana staklenim vlaknima primjenjuje se u izradi konstrukcijskih elemenata, trupova brodova, bazena, spremnika u kemijskoj industriji, dijelova karoserije automobila, namještaja itd. [23]

Zbog zapaljivosti i štetnosti za ljude i okoliš, na deklaraciji smole su jasno označeni piktogrami opasnosti kakvi se nalaze i na gel-premazima (plamen, štetno za zdravlje i uskličnik koji upozorava na toksičnost). Kod rukovanja smolom potrebno je nositi zaštitnu opremu – nitrilne rukavice, neprobojnu odjeću, zaštitne naočale s bočnim štitnicima ili usko prijanjajuće ukoliko će smola prskati. Ako je koncentracija štetnih tvari u zraku ispod granica izlaganja, nije potrebno dodatno zaštititi dišni sustav, no ukoliko je iznad, treba koristiti odgovarajući respirator za pročišćavanje zraka s ulošcima za organsku paru i filtrima za čestice, kada postoji opasnost od izloženosti prašini ili maglici kod rezanja, brušenja ili druge mehaničke obrade.

Ostaci kemikalija moraju se odložiti kao opasan otpad, a otpadni spremnici uz prateću dokumentaciju prenijeti u lokalno dvorište za recikliranje ili oporabu otpada.

SPHERE.CORE SP 5,0

Za veću krutost kalupa i brže postizanje željene debljine modela, između slojeva staklenih vlakna postavljani su slojevi ispuna od poliesterskog netkanog vlakna, trgovačkog naziva Sphere.core SP 5,0 njemačkog proizvođača Spheretex. S obzirom na to da ispuna sadrži brojne mikromjehuriće, ona upija vrlo malo smole (prema engl. *coremat*). Može se nabaviti u debljini od 1, 2, 3, 4 ili 5 mm. Za izradu kalupa u ovom radu korištena je tkanina debljine 5 mm, mase 140 g/m² i koja upija smolu u količini od 650 g/m²/mm, Slika 15. [30]



Slika 15. Ispuna Sphere.core SP 5,0 tvrtke Spheretex [31]

4.2.3. Materijali za izradu spojlera

NORPOL® NGA

Poliesterska smola trgovačkog naziva NORPOL® NGA američkog proizvođača Reichhold, koja se koristi kao **gel-premaz** (engl. *gelcoat*) je crne boje i jetkog mirisa. Jednostavno se nanosi (ručno ili prskanjem) i otporna je na vodu i manje agresivne kemikalije. Koristi se i u brodogradnji, sanitarnim proizvodima te kod izrade karoserije automobila. Preporučena debljina nanošenja je 0,55 do 0,85 mm. [26]

Dobavno stanje je kapljevit, a katalizatorom se aktivira kemijska reakcija umrežavanja i posljedično očvršćivanja. [14]



Slika 16. Piktogrami opasnosti poliesterske smole NORPOL® NGA [26]

Uzimajući u obzir piktograme opasnosti [Slika 16.] koji su označeni na deklaraciji, proizvod je toksičan, nadražuje, opasan za zdravlje i zapaljiv. U sigurnosno-tehničkom listu opisani su iskazi opasnosti (nadražuje kožu, uzorkuje jako nadraživanje oka, štetno ako se udiše, štetno za vodeni okoliš, zapaljiva tekućina i para...) i iskazi opreza (ne rukovati prije upoznavanja i

razumijevanja sigurnosnih mjera, ne udisati, nositi propisanu zaštitu, čuvati odvojeno od izvora topline...). Proizvod je toksičan, a organi na koje utječe su jetra, centralni živčani sustav, dišni sustav i koža.

Opisne su i mjere prve pomoći ako proizvod dođe u dodir s očima, kožom, proguta se ili udiše. Stavljen je naglasak na mjere za suzbijanje požara, a materijal može reagirati sa sredstvom za gašenje požara pa su odgovarajuća sredstva za gašenje požara: ugljični dioksid, pjena, suha kemikalija i vodeni sprej. Snažan mlaz vode nije pogodan jer se može raspršiti i proširiti požar.

Ostatci ove poliesterske smole i spremnik moraju se odložiti kao opasan otpad. Prema Europskom katalogu otpada, odnosno hrvatskom Katalogu otpada (NN 90/2015), preporučuje mu se dodjeljivanje ključnog broja 07 02 08*, spada u grupu „Otpad iz organskih kemijskih procesa“ i podgrupu „ostali talozi i ostaci od reakcija“, a prema Popisu otpada pridružena mu je oznaka zapisa O17, što znači da taj otpad može imati sljedeća karakteristična opasna svojstva: eksplozivno, oksidirajuće, visoko zapaljivo, zapaljivo, nadražujuće, opasan, otrovno, karcinogeno, nagrizajuće, infektivno, toksično za reprodukciju (teratogeno), mutageno ili ekotoksično.

VOSAK ZA ODVAJANJE TR-104

Vosak za odvajanje (engl. *mold release*) ključni je proizvod za proces ručnog laminiranja jer omogućava oblikovanom proizvodu da se izvadi iz kalupa bez oštećenja, kako samog proizvoda, tako i kalupa. Vosak korišten u ovom završnom radu trgovačkog je naziva TR-104. Proizveden je od karnauba voska (dobivenog iz lišća karnauba palme) te sintetičkih sastojaka postojanih na visoke temperature i naftnih destilata. Svijetlo plave je boje, lako se nanosi i moguće je njime dobro ispolirati površinu. Osim ručnog laminiranja može se koristiti kod RTM-procesa ili u autoklavima za izradu kompozita. Produžuje životni vijek kalupa jer ne dolazi do oštećivanja. Nanosi se spužvastim aplikatorom u tankom sloju kružnim pokretima, pričekava 5 do 10 minuta da se vosak osuši pa se obriše tkaninom do sjaja. Prema uputama proizvođača voska, za nove kalupe postupak se ponavlja šest puta uz dulje čekanje kod sušenja. [32] Vosak je toksičan i štetan za okoliš što je i označeno na originalnom pakiranju (Slika 17.).



Slika 17. Oznake na vosku za odvajanje

PVA SREDSTVO ZA ODVAJANJE REXCO Partall®

Rexco Partall® Coverall Film je tekućina iste namjene kao i vosak za odvajanje ili se koristi u kombinaciji s voskom. Sa sigurnosno-tehničkog lista saznaje se da je riječ o **PVA** (polivinilnom alkoholu) na bazi vode, te nije opasan za okoliš. Može se nanositi krpom, spužvom, kistom ili prskanjem. Dostupan je u ljubičastoj boji ili bez boje, a u ovom radu korištena je ljubičasta tekućina. Iako nije štetan za okoliš ili lako zapaljiv, potrebno je zaštititi se tijekom korištenja kako ne bi nadražio kožu, oči ili dišni sustav. Treba biti skladišten u dobro zatvorenom pakiranju da se ne osuši, na sobnoj temperaturi.



Slika 18. Tekući odvajáč

Seles poliesterski kit (extra soft)

Dvokomponentni poliesterski kit se koristi za karoserije vozila. Dobro se oblikuje i jednostavan je za upotrebu. Dodaje mu se 2-3 % utvrđivača koji se dobro promiješa i nanosi se na čistu, suhu, odmašćenu i izmatiranu podlogu. Mora se upotrijebiti unutar 5 minuta na temperaturi od 20 stupnjeva (viša temperatura znači i brže sušenje). [33]



Slika 19. Dvokomponentni kit

4.3. Postupak izrade

4.3.1. Izrada prototipa

Naručeni zamjenski dio spojlera izrađen je od staklenih vlakana i poliesterske smole zbog niže cijene. Originalni spojler izrađen je od ugljičnih vlakna i poliesterske smole i prikazan je na Slici 20. S obzirom na to da takav spojler odlično naliježe na automobil, donja strana kupljenog zamjenskog spojlera nije modificirana, ali je spojler pomoću poliuretanske pjene i poliesterskog kita nadograđivan kako bi bio duži, drugačijeg oblika i uz dodatna upuštanja („zareze“) na krajevima spojlera po željama stranke.



Slika 20. Zamjenski spojler za Hondu Civic EG

Kada je postignut željeni oblik spojlera, prskanjem je nanesen crni gel-premaz, kako bi površina bila što glađa. Nakon što se gel-premaz osušio, dobro je očišćen do sjaja i spreman je za izradu kalupa. Na Slici 21. prikazan je konačan oblik modela, na temelju kojeg će se izrađivati kalup, a na Slici 22. bolje je vidljiv upušteni detalj koji se nalaze sa strane spojlera. Na Slici 23. bolje se vidi da je prototipni spojler postavljen na drvenu konstrukciju koja olakšava daljnji rad jer je na taj način stabilan i ne pomiče se po radnoj površini.



Slika 21. Prototip produženog spojlera za Hondu Civic EG



Slika 22. Prototip, detalji



Slika 23. Naprava za pričvršćivanje prototipnog spojlera tijekom rada

4.3.2. Izrada kalupa

Izrada kalupa bitna je stavka jer o kalupu ovisi svaki proizvod koji će se proizvoditi pomoću njega. U ovom slučaju izrađena su dva kalupa, odnosno gornja i donja strana kalupa za spojler. Izrada je započela oblikovanjem prirubnice na koju će se poslije dodavati vijci za pričvršćivanje gornje i donje strane kalupa. Prirubnica, koja zapravo produžuje površinu na koju se nanosi gel-premaz i laminira, izrađena je od lesonita i limova koji su se mogli lako oblikovati (Slika 24.). Prirubnica je lijepljena za donju stranu prototipa pištoljem za vruće lijepljenje jer nakon što se gornja strana kalupa očvrstnula, bitno je da se prirubnica lako skine i pritom ne ošteti značajno donju plohu prototipa.



Slika 24. Izrada prirubnice

Površine budućeg kalupa moraju biti što glađe pa su sve rupe i kutovi između prototipa i prirubnice zapunjeni lako oblikovljivim poliesterskim kitom i dobro zaglađeni što je vidljivo na Slici 25.



Slika 25. Nanesen i zaglađen kit

Kada je kit potpuno očvrstnuo, na čistu površinu je dobro nanesen vosak za odvajanje po uputama na pakiranju proizvoda (Slika 26.). Nanošen je spužvastim aplikatorom više puta uz propisana sušenja.



Slika 26. Nanošenje voska na gornju površinu spojlera

Na tako navoštenu površinu slijedi nanošenje gel-premaza. Korištena je NORPOL® GM smola uz dodatak 5 % PROMOX® P200TX katalizatora, čiji je postotak u ovom slučaju nešto viši zbog niže temperature radne okoline. Slika 27. prikazuje zeleni gel-premaz, dozator za katalizator, žlicu za miješanje i kist za nanošenje premaza.



Slika 27. Korišteni materijali i alati za nanošenje gel-premaza

Gel-premaz nanošen je kistom u dva sloja zbog što bolje pokrivenosti površine, a preporučena debljina nanošenja je od 0,55 do 0,85 mm. [26]

Na Slici 28. vidi se nanoseni premaz gela preko cijele gornje površine modela spojlera.

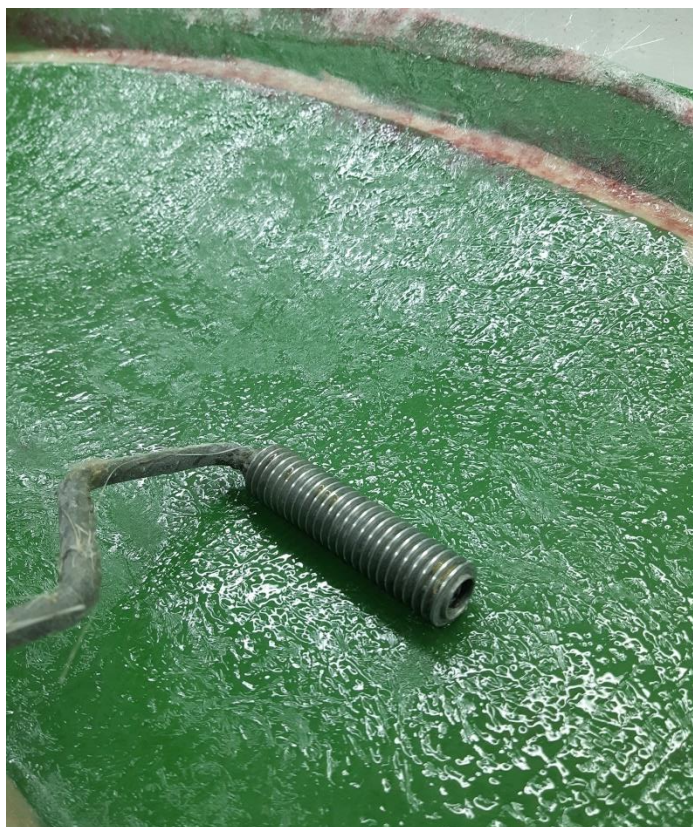


Slika 28. Gornja površina modela spojlera prekrivena premazom gela

Kako bi se izbjeglo stvaranje oštih rubova na kalupu na koje staklena vlakna neće moći dobro prijanjati, zbog čega bi moglo doći do pojave zaostalog zraka između vlakana i gel-

prevlake, rubove je potrebno popuniti poliesterskim kitom. Na nepotpuno očvrstnut gel-premaz postavljaju se iz role izrezana staklena vlakna koja se natapaju smolom (POLYLITE® 440-800) pomoću kista. U smolu je dodano 3 % katalizatora (PROMOX® P200TX), koji je dobro umiješan.

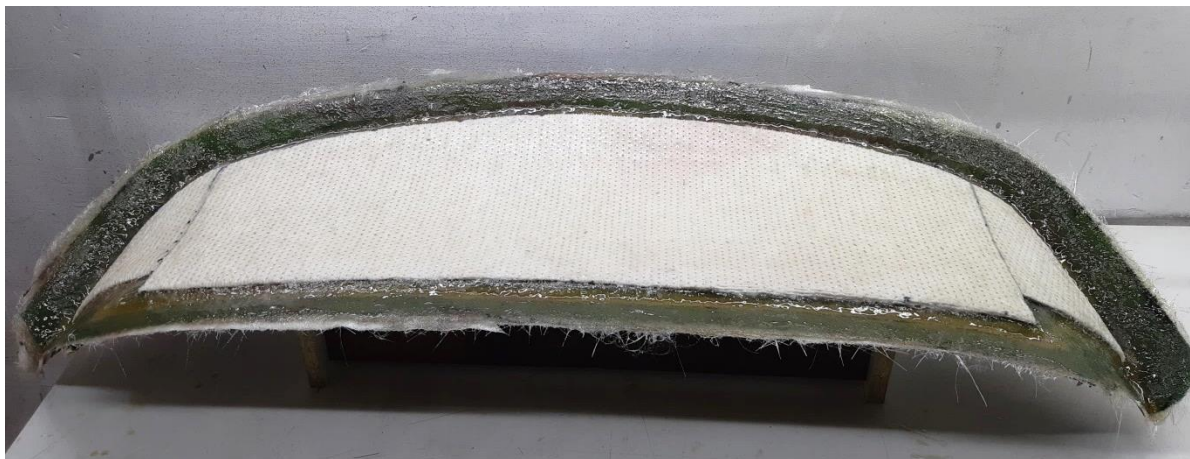
Nakon nanese tri sloja staklenih vlakana, od kojih je svaki dobro natopljen pomoću kista smolom, po površini se prolazilo aluminijskim valjkom za istiskivanje zraka, kako bi slojevi dobro nalegli jedan na drugog bez stvaranja zračnih šupljina. [23] Valjanje je prikazano na Slici 29. i vrlo je bitan dio procesa izrade kompozita jer osigurava dobro prijanjanje matrice uz ojačala. Ako vlakna nisu jednoliko natopljena smolom ili ako u kompozitu zaostanu mjehurići zraka, smanjuju se mehanička svojstva kompozita jer šupljine djeluju kao diskontinuitet u materijalu. Važno je stoga osigurati da je smola jednolično nanijeta po cijeloj površini vlakana, a smola što više natopljena unutar slojeva ojačala.



Slika 29. Istiskivanje zraka između slojeva kompozita valjanjem

Nakon takva tri sloja, postavljena je poliesterska tkanina Sphere.core SP 5,0 debljine 5 mm, koja također upija poliestersku smolu, iako znatno manje, ali zbog svoje debljine ona znatno ubrzava proces izrade kompozita uz znatno manju masu usporedbenog kompozitnog kalupa

iste debljine, te povećava krutost kalupa. Ispuna je oblikovana na manje komade kako bi se bolje prilagodila oblikom na sve zakrivljene plohe (Slika 30.).



Slika 30. Postavljena ispuna Sphere.core SP 5,0

Kako bi tkanina za ispun bila na sredini laminata, na nju se postavljaju još tri sloja staklenih vlakana i smola. Na kraju se opet koristi valjak za istiskivanje zraka iz prostora između vlakana. Tako je završeno laminiranje gornjeg dijela kalupa, tj. gornjaka. Kako bi olakšali daljnji rad, na vrh netom oblikovanog gornjaka se postavljaju drveni nosači kalupa, koji se također pričvrste za gornjak pomoću malo staklenih vlakana i smole (Slika 31.).



Slika 31. Završen gornji dio kalupa

Kako bismo bili sigurni da je gornji dio kalupa dovoljno umrežio i očvrstnuo, kalup je okrenut na drugu stranu tek sutradan.

Prvo se trebala odlijepiti prirubnica zalijepljena na donju stranu prototipa i dobro navoštiti stranu prototipa na kojoj će se dalje laminirati donji dio kalupa (Slika 32.). Jednak postupak

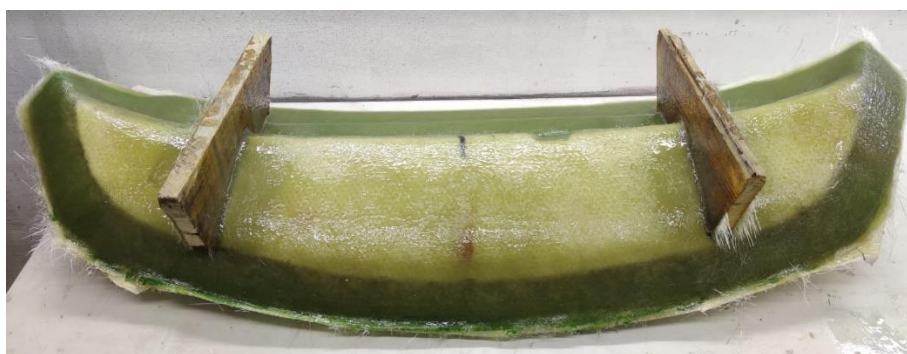
kao i za gornju stranu kalupa koristio se za izradu donje strane kalupa. Prikazan je na Slikama 33. i 34.



Slika 32. Donja strana prototipa spremna za laminiranje



Slika 33. Nanesena tri sloja vlakna i smola za donji dio kalupa



Slika 34. Završen donji dio kalupa

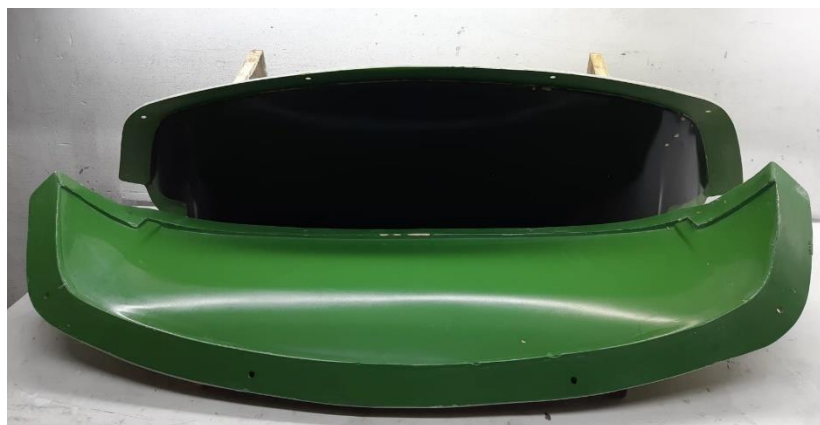
Kad je napravljen kalup i s druge strane prototipa, ostavljen je da smola potpuno umreži i očvrstne. Sljedeći dan rubovi su se odrezali i brusili za lakše rukovanje kalupom kasnije (kako ne bi bilo oštih dijelova po rubovima). Na prirubnici su načinjeni provrti za vijke dimenzija $M8 \times 30$. Bitno je da je vijak primjerene dužine i promjera, a stegnut silom tek tolikom da drži gornji i donji dio kalupa na mjestu. Slijedilo je vađenje prototipa iz kalupa (Slika 35.). Ako nakon vađenja prototipa na kalupu ostane nekih oštećenja, ona se trebaju popuniti gelnim premazom. Cijeli kalup se s unutrašnje strane gdje je gelna prevlaka dobro obradio na sljedeći način. Najprije, ručno vodobrusnim papirom (granulacije 1800) kako bi se izravnale gotovo sve izbočine. Nakon toga, strojem za poliranje uz brusni papir granulacije 1000, potom slijedi opet vodobrusno brušenje papirom granulacije 2000 pa strojem za poliranje s brusnim papirom 3000. Na kraju se površina polira strojem za poliranje, spužvom za poliranje i pastom za poliranje granulacije 400 i 1000. Toliko mnogo brušenja i poliranja je nužno da se dobije što glađa unutarnja površina kalupa jer će se na svakom budućem otpresku vidjeti svaka preostala nepravilnost s površine kalupa. Obraden kalup prikazan je na Slici 36.



a) rezanje rubova kalupa



b) provrt za vijak na prirubnici



c) vađenje prototipa iz kalupa

Slika 35. Obrada rubova kalupa, provrti i vađenje prototipa



Slika 36. Završen kalup

4.3.3. Izrada proizvoda

Postupak za dobivanje otpreska sličan je kao i izrada kalupa. Na završen kalup nanosimo vosak i tekućinu za odvajanje. Potom nanosimo dva sloja NORPOL® NGA gel-premaza crne boje. Navedeni gel premaz koristi se za karoseriju automobila i dolazi u više boja. S obzirom na to da je želja kupca bila crna boja krovnog spojlera, korišteni je crni gel-premaz. (Slika 37.)



Slika 37. Nanošenje crnog gel premaza na kalup

Stakleni mat postavljen je u tri sloja i svaki sloj natopljen je smolom pomoću kista. Zrak između slojeva i na rubovima istisnut je pomoću već spomenutog valjka. Na donji dio spojlera postavljene su metalne pločice u koje će se prilikom ugrađivanja spojlera urezati navoj na mjestima nosača spojlera koji je na krovu automobila. Na te pločice stavljena su još dva sloja staklenih vlakana i smole kako bi se one pričvrstile. Slika 38. prikazuje izrađen otpresak koji treba još umrežiti i očvrnuti u kalupu, a potom se na Slici 39. vadi iz kalupa nakon potpunog očvrnuća smole.



Slika 38. Završena laminacija za otpresak



Slika 39. Vađenje otpreska iz kalupa

Kada se otpresak izvadio iz kalupa, potrebno je obraditi rubove otpreska i prilagoditi gornji i donji dio da se kalup može lako zatvoriti s otpreskom unutar njega. To je bitno zato što se na

taj način spajaju gornja i donja strana spojlera, a ukoliko poklapanje nije dobro, može doći do neželjenog savijanja i nepravilnog izgleda gotovog proizvoda.

Kalup se nakon vađenja otpreska čisti od eventualnih nečistoća i u njega se natrag umeće otpresak, no sada s obrađenim rubovima na koje se nanosi ljepilo. Kao ljepilo korištena je poliesterska smola pomiješana s jednom petinom mase crnog gel premaza (za boju), katalizatorom i pirogenim silicijevim dioksidom trgovačkog naziva Aerosil, punilom koje ugušćuje smjesu poliesterske smole. [34]



Slika 40. Umetanje otpreska natrag u kalup

Slika 40. prikazuje kako se otpresak umeće natrag u kalup, dodaje se ljepilo i zatvori drugom stranom kalupa u kojem je također otpresak. Na Slici 41. prikazan je zatvoreni i vijcima stegnuti kalup u kojem se očvršćuje ljepilo koje će povezati gornju i donju stranu spojlera.



Slika 41. Zatvoreni kalup



Slika 42. Vađenje spojlera iz kalupa

Slika 42. prikazuje vađenje spojlera iz kalupa. Spojene su gornja i donja strana spojlera, nastale laminiranjem u gornjoj i donjoj strani kalupa, a u sredini spojlera je šupljina.

Kad je spojler izvađen, kalup se čisti od ostataka ljepila kako bi bio spreman za izradu drugog spojlera ako će to biti potrebno.

Spojler se na kraju obrađuje rezanjem ljepila koje je eventualno iscurilo po rubovima, poliranjem površine pomoću uređaja za poliranje (Slika 43.) i paste za poliranje granulacije 400 i 1000, do sjaja.



Slika 43. Poliranje spojlera uređajem za poliranje

Gotov proizvod je izvagan i ukupna težina iznosi 2,4 kilograma. Slike 44. i 45. prikazuju završen krovni spojler spreman za isporuku kupcu.



Slika 44. Gornja strana spojlera



Slika 45. Donja strana spojlera

4.3.4. Montaža proizvoda na vozilo

Kako bi spojler montirali na automobil, s donje strane je na odgovarajuća mjesta urezan navoj i spojler je vijcima pričvršćen za karoseriju.

Na Slici 46. za usporedbu je prikazan spojler izvornog proizvođača dijelova koji je bio na automobilu prije (a) i novo izrađeni spojler po želji stranke (b).

Gotovo je nemoguće procijeniti ima li veći spojler povoljan učinak i u kojoj mjeri bez simulacija ili proba u zračnom tunelu, no sigurno utječe na izgled i individualni stil Honda Civic EG. (Slika 47.)



a) OEM spojler Honde Civic EG

b) spojler po želji stranke, izrađen od staklenih vlakna i poliesterske smole, izrađen po mjeri za automobil Honda Civic EG

Slika 46. Usporedba izvornog i prilagođenog spojlera na automobilu



Slika 47. Izrađeni krovni spojler montiran na automobil Honda Civic EG

4.3.5. Prednosti i nedostaci

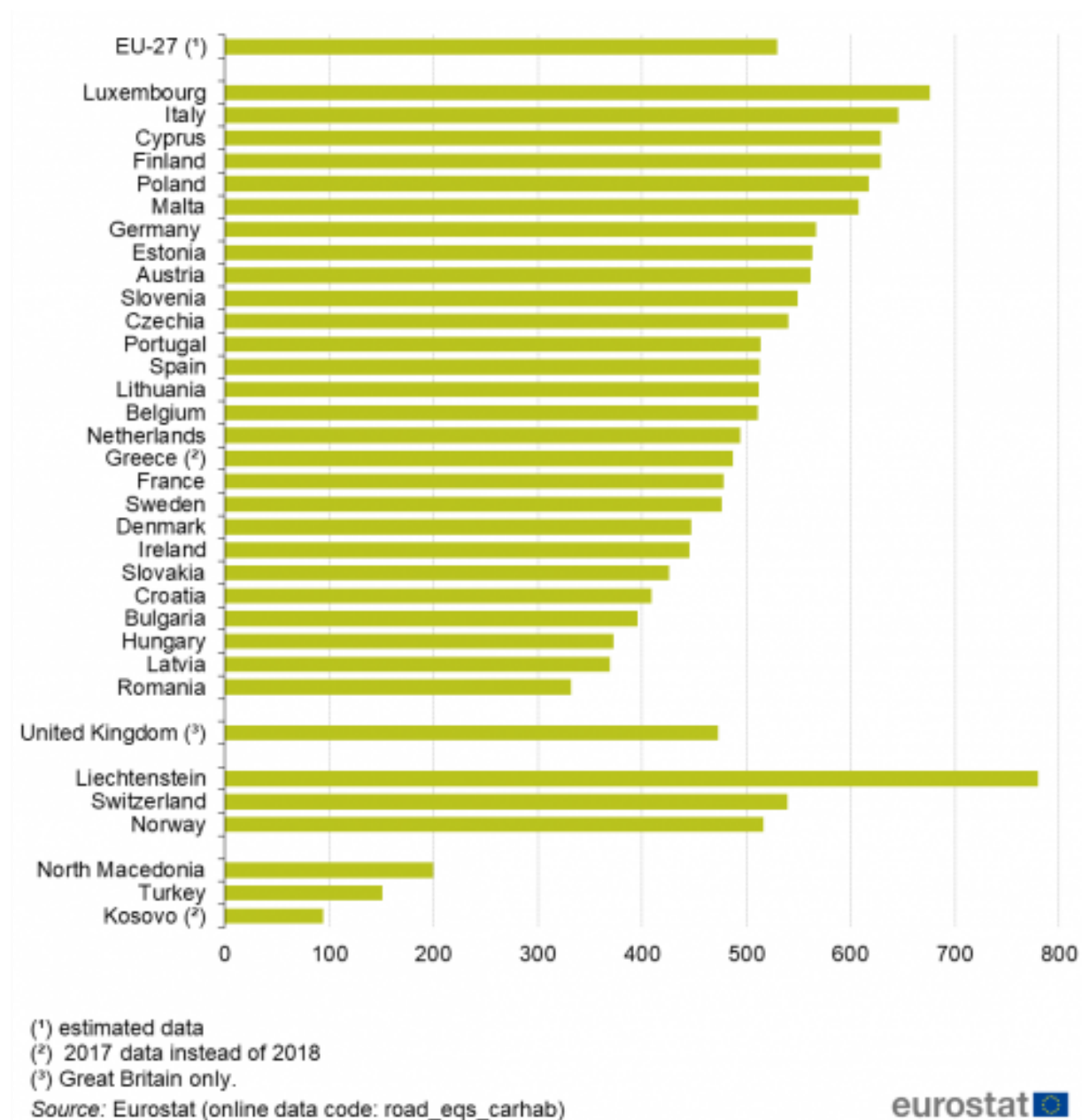
Izrada individualno oblikovanog spojlera ručnim laminiranjem, od izrade prototipa, kalupa i samog proizvoda trajala je otprilike tjedan dana. Proces nije tehnološki zahtjevan, ali potrebno je nekoliko puta čekati da se smola, odnosno kompozit, umreži i očvrstne. Međutim, najveći nedostatak koji je nemoguće zanemariti kod većine korištenih materijala su štetnost za čovjekovo zdravlje i okoliš. Prednosti korištenja poliesterske smole i staklenih vlakana u postupku ručnog laminiranja su prihvatljiva cijena i jednostavna tehnologija izrade. Osim radnika, navedenih materijala i lako dostupnih alata te zaštitne opreme, nisu potrebni nikakvi dodatni skupi strojevi u koje bi trebalo ulagati. Ukoliko je kalup kvalitetno napravljen, može poslužiti za desetke otpresaka. Kod procesa izrade može doći do nekoliko vrsta pogrešaka, a gotovo sve bi bile rezultat ljudske pogreške, primjerice, dodavanje neodgovarajuće količine katalizatora s obzirom na radnu temperaturu ili nedovoljno istiskivanje zraka koji se nalazi između slojeva staklenih vlakana. Također, nisu zanemarive ni opasnosti po zdravlje koje se mogu dogoditi nepravilnim korištenjem zaštitne opreme.

4.3.6. Tržište

S obzirom na mogućnost jednostavne kupnje dijelova za automobile i preko interneta, velika je dostupnost zamjenskih dijelova za automobile općenito. No ukoliko kupac želi kupiti dio oblikovan po želji, najbolje se obratiti malim poduzetnicima u Hrvatskoj i regiji. S obzirom na to da je u pravilu riječ o dogovoru između klijenta i proizvođača te da cijena varira ovisno o kompleksnosti proizvoda, teško je pronaći općenite podatke o cijeni individualno oblikovanih automobilskih dijelova. Dakako, jednom napravljen kalup može se koristiti i dalje za proizvodnju spojlera, a procijenjena tržišna cijena krovnog spojlera koji je izrađen u ovome radu bila bi oko 1000 kn.

Podataka o tržišnoj potražnji nema, no indirektno se može pretpostaviti da svake godine raste potražnja zajedno s porastom registriranih automobila u Hrvatskoj. Podaci govore da je u 2019. godini u Hrvatskoj bilo registrirano ukupno 2 275 027 cestovnih vozila, čak 3,7 % više nego godinu prije. [35]

Što se tiče broja osobnih automobila na 1000 stanovnika 2018. godine, Hrvatska se u Europi nalazi na nezavidnom 23. mjestu prema Eurostatu [36], Slika 48. Međutim, potražnja za individualno oblikovanim i kvalitetnim automobilskim dijelovima šira je od granica Republike Hrvatske pa bi za procjenu tržišta trebalo u obzir uzeti i nama susjedne države.



Slika 48. Broj osobnih automobila na 1000 stanovnika u Europi u 2018. [36]

5. ZAKLJUČAK

Polimerni kompoziti vrlo su dobra zamjena konvencionalnim metalnim materijalima u autoindustriji, ponajviše zbog manje mase i otpornosti na koroziju. Ručni postupak laminiranja isplativ je zbog malih ulaganja u proizvodnju, no samo za ograničene serije jer je dugotrajan proces u kojem je potreban stalan ljudski rad. Veliki nedostatak je i to što su materijali kojima se izrađuju proizvodi vrlo toksični, a prilikom proizvodnje dolazi do velike interakcije čovjeka i tih tvari. Izrada spojlera po mjeri kompleksan je zadatak upravo zato što se mora krenuti gotovo „od nule“ i najprije napraviti model i izraditi kalup. Nakon što se izradi prvi spojler, proces postaje jednostavniji jer se samo rade isto otpresci u istom kalupu. Velika prednost izrade polimernih kompozita općenito je što ojačala i matrice mogu varirati pa se dobivaju različita svojstva materijala. Takva prednost ključna je za zadovoljavanje visokih zahtjeva nametnutih autoindustriji i definitivno će napredovati u budućnosti.

LITERATURA

- [1] Špoljar M, Rujnić-Sokele M. Plastični kompoziti u automobilima. Polimeri [Internet]. 2015 [pristupljeno 9.01.2021.];36(1-2):27-33. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/161324>
- [2] Milardović G. Kompoziti u automobilskoj industriji. Polimeri [Internet]. 2011 [pristupljeno 9.01.2021.];32(3-4):139-142. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/78497>
- [3] Raos P, Šercer M. Teorijske osnove proizvodnje polimernih tvorevina. Slavonski Brod/Zagreb: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu; 2010.
- [4] Comsol, „Introducing the Composite Materials Module“, 2018. <https://www.comsol.com/blogs/introducing-the-composite-materials-module/> zadnje posjećeno: 9. 1. 2021.
- [5] Filetin T, Kovačićek F. Materijali u strojarstvu – tendencije razvoja i primjene. Zagreb: Hrv. društvo za materijale i tribologiju; 1993.
- [6] „Strength - Toughness“, 2021. http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-toughness/NS6Chart.html zadnje posjećeno: 12. 1. 2021.
- [7] Lončar A, Vojvodić D, Komar D. Vlaknima ojačani polimeri Prvi dio: osnove i problematika izgradnje. Acta stomatologica Croatica [Internet]. 2006 [pristupljeno 17.01.2021.];40(1):72-82. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/11566>
- [8] Tawfik B, Leheta H, Elhewy A, Elsayed T. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2016 Sep;9. doi. 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005.
- [9] Composites World, „Carbon fiber suppliers gear up for next-gen growth“, 2020. <https://www.compositesworld.com/articles/carbon-fiber-suppliers-gear-up-for-next-gen-growth> zadnje posjećeno: 17. 1. 2021.
- [10] Fibreglast, „Kevlar“, 2021. <https://www.fibreglast.com/category/Kevlar> zadnje posjećeno: 17. 1. 2021.
- [11] EasyComposites <https://www.easycomposites.co.uk/300g-22-twill-kevlar-cloth> zadnje posjećeno: 17. 1. 2021.

- [12] Dabade B M, Ramachandra Reddy G, Rajesham S, Udaya Kiran C. (2009). Mechanical Properties of Indian Hemp Fiber Reinforced Styrenated Polyester Composites. *Journal of Advanced Materials*. 2016 Nov; 25(16):1733-1738. doi. 10.1177/0731684406068418
- [13] Siti Suhaily S, Abdul Khalil H P S, Wan Nadirah W O, Jawaid M. Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications. 2013 Jun. doi. 10.5772/56057
- [14] Rogić A, Čatić I, Godec D. Polimeri i polimerne tvorevine. Zagreb: Biblioteka Polimerstvo; 2008.
- [15] El-Wazery M S, El-Elamy M I, Zoalfakar S H. Mechanical properties of glass fiber reinforced polyester composites. *International journal of applied science and engineering*. 2017 Feb;14(3):121-131. Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/318599258_Mechanical_properties_of_glass_fiber_reinforced_polyester_composites
- [16] Rimac Automobili, 2021.
<https://ctwo.rimac-automobili.com/> zadnje posjećeno: 25. 1. 2021.
- [17] Grupa autora. Photoacoustic Thermal Characterization of Banana Fibers. *Materials Research*. 2015 Dec; 18(Suppl. 2), 240-245. doi. 10.1590/1516-1439.368914
- [18] Carbon Revolution, 2021.
<https://www.carbonrev.com/cr9/> zadnje posjećeno: 25. 1. 2021.
- [19] Wardsauto, „Ford Focus on Carbon-Fiber to Cut Body-Panel Weight“, 2021.
<https://www.wardsauto.com/technology/ford-focused-carbon-fiber-cut-body-panel-weight> zadnje posjećeno: 25. 1. 2021.
- [20] Krpan D. Motorna vozila. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 1965.
- [21] Katz J. Race Car Aerodynamics. Cambridge: Bentley Publishers; 1947.
- [22] Daniel I M, Ishai O. Engineering mechanics of composite materials. New York: Oxford university press; 2006.
- [23] Šercer M, Križan B, Basan R. Konstruiranje polimernih proizvoda. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2009.
- [24] Engleski rječnik, Dictionary.com
<https://www.dictionary.com/browse/spoiler?s=t> zadnje posjećeno: 8. 2. 2021.
- [25] Njemački rječnik, DWDS
<https://www.dwds.de/wb/Spoiler#d-1-1> zadnje posjećeno: 8. 2. 2021.
- [26] Intercommerce, Gelcoati
<https://www.intercommerce.hr/index.php/hr/gelcoati> zadnje posjećeno: 8. 2. 2021.

- [27] Intercommerce, Staklene tkanine
<https://www.intercommerce.hr/index.php/hr/staklene-tkanine/stakleni-mat> zadnje posjećeno: 9. 2. 2021.
- [28] Intercommerce, Ortoftalne smole
<https://www.intercommerce.hr/index.php/hr/poliesterske/ortoftalne> zadnje posjećeno: 9. 2. 2021.
- [29] Struna
<http://struna.ihjj.hr/naziv/tiksotropija/5822/#naziv> zadnje posjećeno: 9. 2. 2021.
- [30] Intercommerce, Spehre.tex
<https://www.intercommerce.hr/index.php/hr/core-materijali/sphere-tex> zadnje posjećeno: 10. 2. 2021.
- [31] Kologlu Kimya, Speretex
<https://www.kologlukimya.com/product/sphere-core-sp-spheretex/> zadnje posjećeno: 10. 2. 2021.
- [32] TR, Mold release
<https://www.trmoldrelease.com/shop/tr-104-hi-temp-mold-release/> zadnje posjećeno: 11. 2. 2021.
- [33] Seles
<http://www.seles.hr/hr-bih/proizvodi/10020/poliesterski-kitovi> zadnje posjećeno: 11. 2. 2021.
- [34] Kompozit Kemija, Punila
<https://kompozit-kemija.hr/portfolio-posts/punila> zadnje posjećeno: 12. 2. 2021.
- [35] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, „REGISTRIRANA CESTOVNA VOZILA I CESTOVNE PROMETNE NESREĆE U 2019.“ 2020.
https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2020/05-01-04_01_2020.htm zadnje posjećeno: 13. 2. 2021.
- [36] Eurostat, „Passenger car in the EU“, 2020.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_cars_in_the_EU#Overview zadnje posjećeno: 13. 2. 2021.

PRILOZI

I. Optički disk