

# Utjecaj zaključavanja uslijed pandemije bolesti COVID-19 na industriju kompozitnih materijala

---

**Grabovac, Paula**

**Master's thesis / Diplomski 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:235:753245>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Paula Grabovac**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Irena Žmak

Student:

Paula Grabovac

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem mentorici prof.dr.sc. Ireni Žmak na pomoći, strpljenju, savjetima i ostalim oblicima suradnje tijekom izrade ovoga rada.

Također želim zahvaliti svojoj obitelji, čija podrška tijekom školovanja i strpljenje su me usmjerili na pravi put, a bez kojih ništa od ovoga ne bi bilo moguće.

Hvala svim prijateljima i kolegama, koji su bili dio mojih studentskih dana, a pomagali su na razne načine i bili potpora kada je bilo najpotrebnije. Posebna zahvala i svim kolegama koji su redovito pohađali nastavu i vodili bilješke za sve nas ponekad više lijene.

Paula Grabovac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **PAULA GRABOVAC** Mat. br.: 0035203150

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj zaključavanja uslijed pandemije bolesti COVID-19 na industriju kompozitnih materijala**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Impact of lockdown due to COVID-19 pandemic on composite materials industry**

Opis zadatka:

S obzirom na specifična svojstva kompozitnih materijala, kao što su niska gustoća, vrlo dobra kemijska postojanost na brojne medije, visoka čvrstoća i krutost, mogućnost dizajniranja svojstava itd., rast i razvoj industrijske proizvodnje kompozitnih materijala doprinosi održivom razvoju, odnosno postizanju Ciljeva 7, 8, 9, 11 i 12 iz Programa za održivi razvoj Ujedinjenih naroda.

Na tržišta sirovina i materijala zadnjih godinu dana znatno je utjecala pandemija koronavirusa uslijed zaključavanja (engl. lockdown) širom svijeta od ožujka 2020. Primjerice zbog naglog pada potražnje, cijene nafte i metala u travnju prošle godine dostigle su povijesno niske razine. Trenutno su cijene metala na svjetskim burzama znatno više nego prije početka pandemije.


U travnju 2020. zabilježen je i nagli pad industrijske proizvodnje u Europi, koja se tek u kolovozu iste godine vratila na predpandemijsko razdoblje. Najintenzivniji pad proizvodnje zabilježen je u području trajnih proizvoda, kao što su automobili, kućanski uređaji, elektronički uređaji, sportska oprema itd. U okviru ovog diplomskog rada potrebno je istražiti utjecaj krize uzrokovane koronavirusom na tržište materijala matrica i ojačala kompozitnih materijala te na tržište proizvoda od kompozitnih materijala (kompozitnih tvorevina).

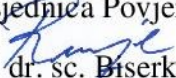
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
6. svibnja 2021.

Rok predaje rada:  
8. srpnja 2021.

Predviđeni datum obrane:  
12. srpnja do 16. srpnja 2021.

Zadatak zadao:   
prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 1.1. Ojačala .....  | 3  |
| 1.2. Matrice .....  | 5  |
| 2. SVOJSTVA KOMPOZITNIH MATERIJALA .....  | 7  |
| 2.1. Dizajniranje kompozitnih materijala.....   | 8  |
| 3. POVIJEST RAZVOJA NAPREDNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA .....  | 12 |
| 4. TRŽIŠTE KOMPOZITNIH MATERIJALA U PREDPANDEMIJSKOM<br>RAZDOBLJU .....   | 15 |
| 5. OBILJEŽJA COVID-19 KRIZE .....   | 23 |
| 5.1. Utjecaj COVID-19 krize na industrijsku proizvodnju .....   | 26 |
| 6. UTJECAJ COVID-19 KRIZE NA KOMPOZITNU INDUSTRIJU.....   | 29 |
| 7. PROGRAM ODRŽIVOG RAZVOJA UN-a .....  | 32 |
| 7.1. Pojam održivog razvoja .....   | 32 |
| 7.2. UN-ov Program održivog razvoja do 2030.....  | 33 |
| 7.2.1. Cilj 7- Osigurati pristup pouzdanoj, održivoj i suvremenoj energiji .....  | 33 |
| 7.2.2. Cilj 8- Promicati kontinuiran, uključiv i održiv gospodarski rast, punu i<br>produktivnu zaposlenost i dostojanstveni rad za sve ..... | 35 |
| 7.2.3. Cilj 9-Izgraditi prilagodljivu infrastrukturu, promicati uključivu i održivu<br>industrijalizaciju i poticati inovativnost.....        | 36 |
| 7.2.4. Cilj 11- Učiniti gradove i naselja uključivim, sigurnim, prilagodljivim i održivim<br>37   |    |
| 7.2.5. Cilj 12- Osigurati održive oblike potrošnje i proizvodnje .....  | 39 |
| 8. KOMPOZITNA INDUSTRIJA I ODRŽIVI RAZVOJ .....   | 40 |
| 8.1. Održivi razvoj i biokompoziti .....  | 44 |
| 9. ANKETA UTJECAJA COVID-19 KRIZE NA KOMPOZITNU INDUSTRIJU U<br>HRVATSKOJ.....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| 9.2. Istraživanje utjecaja Covid-19 krize na kompozitnu industriju u Hrvatskoj..... | 48 |
| 9.2.3. Pitanja o direktnom utjecaju pandemije na kompozitnu industriju.....         | 50 |
| 9.2.4. Pitanja o održivom razvoju .....   | 55 |
| 10. ZAKLJUČAK.....  | 57 |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Shematski prikaz kompozitne strukture s kratko navedenim osnovnim svojstvima pojedinih komponenti [1] .....                             | 1  |
| Slika 2. Prikaz usporedbe vlačnih svojstva matrice, vlakna i kompozitnog materijala [2].....   | 2  |
| Slika 3. Shematski prikaz usporedbe svojstva čelika i aluminijsa s kompozitnim materijalima [5] .....  | 3  |
| Slika 4. Prikaz podjele kompozita prema utjecaju ojačala [6] .....   | 4  |
| Slika 5. Podjela vlakana prema vrsti [6] .....   | 4  |
| Slika 6. Prikaz kombinacije matrica i vlakna koji se danas najčešće koriste [9] .....  | 5  |
| Slika 7. Način slaganja različito orijentiranih slojeva vlakana za laminat [6] .....   | 7  |
| Slika 8. Omjer volumnog udjela vlakna naspram čvrstoće s obzirom na oblik vlakna [2].....  | 9  |
| Slika 9. Najčešći oblici i orijentacije vlakna [2] .....   | 10 |
| Slika 10. Neke od mogućnosti izrade kompozitnih materijala s usporedbom konačnih svojstva materijala [14] .....                                  | 11 |
| Slika 11. Odnos potražnje i potrošnje staklenih vlakana u usporedbi 2013. i 2018. godine [21] .....  | 16 |
| Slika 12. Shematski prikaz zrakoplova i materijala koji ga sačinjavaju [22] .....  | 17 |
| Slika 13. Prikaz sadašnjeg i mogućeg budućeg tržišnog scenarija upotrebe ugljičnih vlakna u raznim industrijama [21] .....                       | 18 |
| Slika 14. Prikaz usporedbe standarda ekonomičnosti goriva za osobna vozila na svjetskoj razini [23] .....  | 19 |
| Slika 15. Udio polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u raznim industrijskim sektorima na kineskom tržištu [24] .....                  | 20 |
| Slika 16. Prikaz trenda europskog rasta tržišta polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u tonama tijekom zadnjih 20-ak godina [25]..... | 21 |
| Slika 17. Njemačko tržište kompozita, po vrsti vlakna i očekivani trend rasta [20].....  | 22 |
| Slika 18. Dinamika porasta potvrđenih slučajeva oboljelih od koronavirusa u razmaku od par mjeseci [29] .....                                    | 24 |
| Slika 19. Dinamika vrijednosti indeksa dionica nafte u odnosu na 2. siječanj 2020. [32].....   | 25 |
| Slika 20. Prikaz udjela isporuke vodećih zemalja [35] .....  | 27 |
| Slika 21. Prikaz udjela kompozitne proizvodnje u raznim dijelovima svijeta kroz godine [38] .....  | 30 |



|   |    |
|---|----|
| Slika 22. Prikaz gospodarsko-društvene ravnoteže [41] .....   | 32 |
| Slika 23. Ciljevi održivog razvoja s kratkim opisom [43] .....  | 33 |
| Slika 24. Prikaz globalne potrošnje primarnih izvora energije tijekom godina [44] .....   | 34 |
| Slika 25. Prikaz ulaganja u obnovljive izvore energije tijekom godina po regijama. [44] .....   | 35 |
| Slika 26. Prikaz razlike nezaposlenosti mladih ljudi u usporedbi s iskusnijim radnicima [45]  | 36 |
| Slika 27. Prikaz cilja 9 s kratkim opisom [47] .....  | 37 |
| Slika 28. Prikaz cilja 11 s kratkim opisom [49] .....   | 38 |
| Slika 29. Prikaz cilja 12 s kratkim opisom [50] .....   | 39 |
| Slika 30. Prikaz procjene neto godišnjeg utjecaja energetskog životnog ciklusa zamjenom<br>110 kg konvencionalnih čeličnih dijelova s 39 kg CFRP dijelova, uspoređujući dva<br>proizvodna puta (konvencionalni CFRP na bazi PAN-a i alternativni,<br>niskoenergetski CFRP) [56] ..... | 43 |
| Slika 31. a) Usporedba između raznih specifičnih čvrstoća za različite vrste prirodnih vlakna,<br>b) Različite vrste prirodnih vlakana i njihovi specifični moduli elastičnosti [61] .  | 46 |
| Slika 32. Prosječne vrijednosti sadržaja vlage za različita prirodna vlakna [59] .....  | 47 |
| Slika 33. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko stalno zaposlenih ima tvrtka u kojoj<br>radite“ .....   | 48 |
| Slika 34. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko dugo tvrtka u kojoj radite posluje na<br>tržištu?“ .....  | 49 |
| Slika 35. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Sudjeluje li tvrtka u kojoj radite u međunarodnoj<br>trgovini?“ .....  | 49 |
| Slika 36. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Kako je na vaše poslovanje utjecala pandemija<br>koronavirusa (COVID-19)?“ .....   | 50 |
| Slika 37. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome<br>kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na tvrtku u kojoj radite na<br>neki od sljedećih načina?“ .....  | 51 |
| Slika 38. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome<br>kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na poslovanje i/ili prodajne<br>rezultate tvrtke u kojoj radite?“ .....  | 52 |
| Slika 39. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Ukoliko je tvrtka u kojoj radite usvojila neku<br>od sljedećih strategija za suočavanje s krizom zaokružite“ .....   | 53 |
| Slika 40. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Odaberite tri glavne Vladine mjere koje bi vam<br>bile od najveće pomoći dok se nosite s krizom“ .....   | 53 |

- Slika 41. Grafički prikaz odgovora na pitanje „U ovom trenutku, kakav stupanj utjecaja očekujete da će kriza imati na vaše poslovanje?“ ..... 54
- Slika 42. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Kako zabrinutost zbog mogućeg ponovnog zaključavanja uslijed pandemije koronavirusa raste, što tvrtka u kojoj radite poduzima na rješavanju zabrinutosti zaposlenika i kupaca i ublažavanju rizika?“ ..... 55
- Slika 43. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko ste upoznati s pojmom održivog razvoja, te koliko tvrtka nastoji primijeniti principe održivog razvoja?“ ..... 56
- Slika 44. Grafički prikaz odgovora na pitanje „Ukoliko ste odgovorili potvrdno na prethodno pitanje, smatrate li da bi se budućnost tvrtke u kojoj radite mogla bazirati na proizvodnji biokompozitnih materijala?“ ..... 56

**POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Klasifikacija gustoće kompozita .....   | 8  |
| Tablica 2. Utjecaj COVID-19 pandemije na potražnju i zalihu [36] .....   | 28 |
| Tablica 3. Prikaz moguće uštede na težini raznih laganih materijala u usporedbi s kompozitnim [51] .....   | 40 |
| Tablica 4. Prikaz cijene proizvodnje po kilogramu različitih materijala u usporedbi s ugljičnim i staklenim vlaknima na američkom tržištu [52] ..... | 41 |

**POPIS OZNAKA**

| <b>Oznaka</b> | <b>Mjerna jedinica</b> | <b>Opis oznake</b>         |
|---------------|------------------------|----------------------------|
| $\rho$        | kg/m <sup>3</sup>      | gustoća                    |
| $E$           | N/mm <sup>2</sup>      | Youngov modul elastičnosti |
| $R_m$         | MPa                    | čvrstoća                   |

## POPIS KRATICA

| <b>Kratica</b> | <b>Opis</b>   |
|----------------|---|
| <b>CMC</b>     | <i>Ceramic matrix composite</i> - kompozit s keramičkom matricom                        |
| <b>MMC</b>     | <i>Metal matrix composite</i> - kompozit s metalnom matricom                            |
| <b>PMC</b>     | <i>Polymer matrix composite</i> - kompozit s polimernom matricom                        |
| <b>CCC</b>     | <i>Carbon-Carbon Composites</i> - ugljik-ugljik kompozit                                |
| <b>OMC</b>     | <i>Organic Matrix Composite</i> - kompozit s organskom matricom                         |
| <b>GFRP</b>    | <i>Glass-reinforced plastic</i> - polimerni kompozit ojačan staklenim vlaknima          |
| <b>CFRP</b>    | <i>Carbon-Fibre Reinforced Plastics</i> - polimeri ojačani ugljičnim vlaknima           |
| <b>CAFE</b>    | <i>Corporate Average Fuel Economy</i> - standardi prosječne ekonomične potrošnje goriva |
| <b>EES</b>     | <i>European emission standards</i> - europski standardi emisija                         |
| <b>CAGR</b>    | <i>Compound annual growth rate</i> - složena godišnja stopa rasta                       |

## **SAŽETAK**

Kompoziti su materijali koji su lakši, a snažniji od čelika; danas još uvijek najkorištenijeg materijala u industriji. Kompozitni materijali raspolažu mnogobrojnim pogodnim svojstvima, koja konvencionalni materijali nemaju. Industrija kompozita je jedna od najbrže rastućih industrija ovog stoljeća, upravo zbog specifičnih svojstva koja se njihovom proizvodnjom mogu postići. Kako je upravo zbog krize uzrokovane pandemijom bolesti COVID-19 uslijedio nagli pad industrijske proizvodnje u svijetu, pa tako i u Hrvatskoj, ovaj diplomski rad će se posvetiti istraživanju utjecanja krize na tržište materijala potrebnih za proizvodnju kompozitnih tvorevina, te na tržište proizvoda. Također, porastom emisije štetnih plinova, Program održivog razvoja UN-a ima kao osnovni cilj osigurati održivo korištenje prirodnih izvora na nacionalnoj i međunarodnoj razini, gdje kompozitni materijali mogu pronaći svoje mjesto, upravo zbog postizanja svojstva koja se monolitnim i konvencionalnim materijalima ne mogu. Krajnji cilj je prikupljanje informacija o budućnosti proizvodnje ovih materijala, te njihovom doprinosu programu održivog razvoja, kao i istraživanju utjecaja pandemije bolesti na njihovu proizvodnju.

Ključne riječi: COVID-19, kompozitni materijali, kompozitna industrija, održivi razvoj

## **SUMMARY**

Composites are materials that are lighter and stronger than steel; today still the most used material in the industry. Composite materials have many beneficial properties, which conventional materials do not have. The composite industry is one of the fastest growing industries of this century, precisely because of the specific properties that can be achieved with their production. Due to the crisis caused by the COVID-19 pandemic, there was a sharp decline in industrial production in the world, including in Croatia, so this thesis will focus on the impact of the crisis on the market of materials needed for the production of composites and the product market. Also, because of increasing emissions, the UN Sustainable Development Program aims to ensure the sustainable use of natural resources nationally and internationally, where composite materials can find their place, precisely by achieving properties that monolithic and conventional materials cannot. The ultimate goal is to gather information on the future of the production of these materials, and their contribution to the sustainable development program, as well as to research the impact of the pandemic on their production.

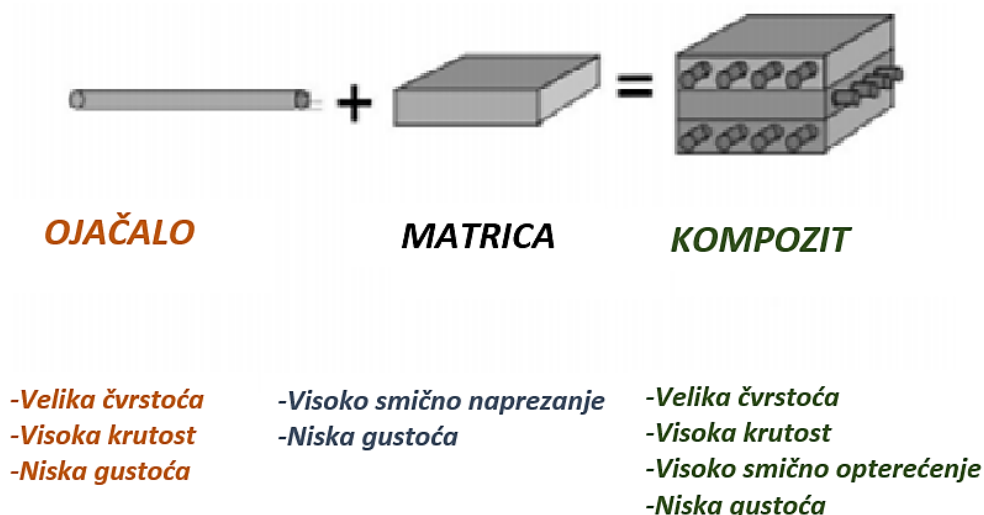
Key words: COVID-19, composite materials, composite industry, sustainable development program

## 1. UVOD

Prvi kompozitni materijali su započeli s proizvodnjom polovicom 19. stoljeća. Od tada njihova primjena samo raste, a nova otkrića na tom području su konstantna.

Kompozitni materijali su jednostavno rečeno kombinacija dva ili više materijala različitih kemijskih ili fizikalnih svojstva. Takvom kombinacijom dobije se novi materijal određenih, specifičnih svojstva koja nemaju pojedinačni materijali.

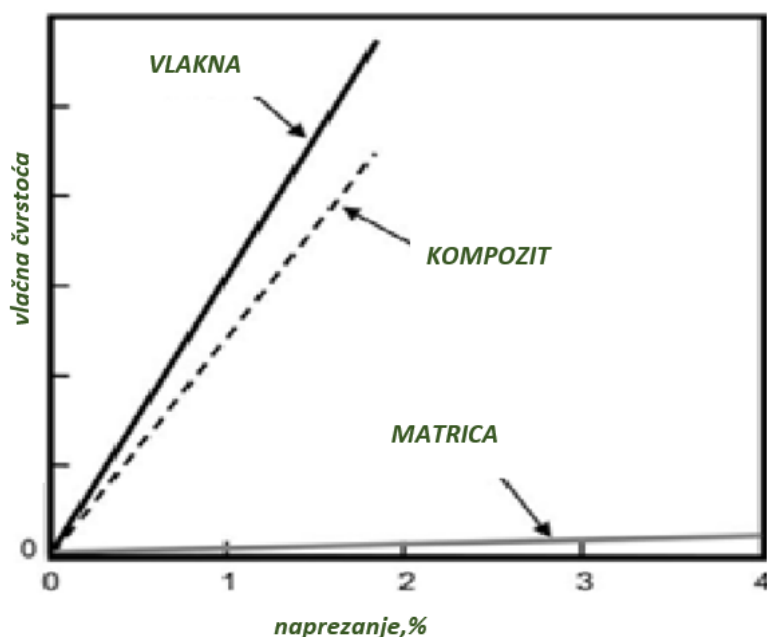
Dvije glavne komponente svakog kompozita su matrica i ojačalo, koje međusobno povezane daju novi materijal, tj. kompozit. *Slika 1.* shematski prikazuje kompozitnu strukturu s kratko navedenim osnovnim svojstvima pojedinih komponenti.



**Slika 1.** Shematski prikaz kompozitne strukture s kratko navedenim osnovnim svojstvima pojedinih komponenti [1]

Slaganjem slojeva dobivaju se višeslojni kompoziti, tj. laminati. Bitno je napomenuti, a o čemu će biti govora kasnije, kako je matrica osnovni materijal, dok ojačalo je glavni nosivi element koji daje čvrstoću materijalu. Na *slici 2.* je prikazana usporedba vlačnih svojstva matrice, vlakna i konačnog kompozitnog materijala.





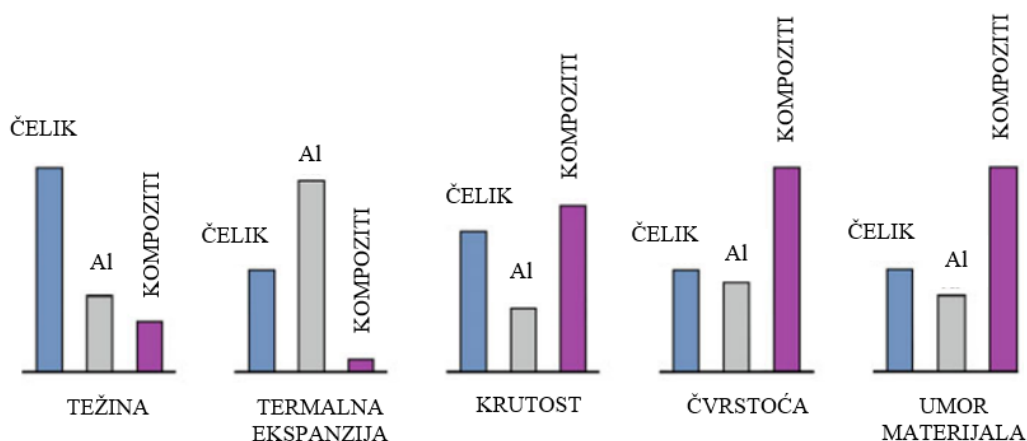
**Slika 2.** Prikaz usporedbe vlačnih svojstva matrice, vlakna i kompozitnog materijala [2]

Ojačala, uglavnom vlakna, koja se najčešće koriste za proizvodnju kompozita su ugljična, staklena, aramidna i metalna, te zauzimaju većinski volumni udio kompozita. Matrice su uglavnom polimerne, ugljične, keramičke, te metalne. Prednosti proizvodnje kompozita su mnoge, a neke od njih su mogućnost izrade složenih oblika, smanjenje troškova naknadne obrade dijelova, mogućnost spajanja dijelova tijekom postupka proizvodnje, dimenzijska stabilnost, otpornost na koroziju itd. [3]

Općenito govoreći ideja kompozitnih materijala nije nova, ali postoji konstantna težnja prema razvoju optimiziranih svojstva na osnovi danas poznatih materijala. Priroda je sama po sebi prikaz postojanja velikog broja prirodnih kompozita, kao što je npr. list kokosove palme koje djeluje kao prirodno ojačalo. Drvo je također prirodni vlaknasti kompozit, gdje su celulozna vlakna pojednostavljeno rečeno polisaharidna matrica koja podupire stijenke biljke. Celulozna vlakna imaju visoku vlačnu čvrstoću, ali su i vrlo fleksibilna zbog niske krutosti, te daju drvetu odlična mehanička svojstva. Kost je također jedan od primjera prirodnog kompozita, tj. ojačala jer podupire težinu raznih dijelova tijela [4].

Zahtjevi za naprednim materijalima sve su veći, a traganje za novim svojstvima je neiscrpan izvor za razvijanjem kombinacije optimalnih svojstva i prihvatljive cijene. Zato znanost i inženjerstvo moraju biti u skladu, sve od ideje za novim kompozitnim materijalom do puštanja konačnog proizvoda na tržište. Činjenica je kako se današnje društvo prilagodilo promjenama

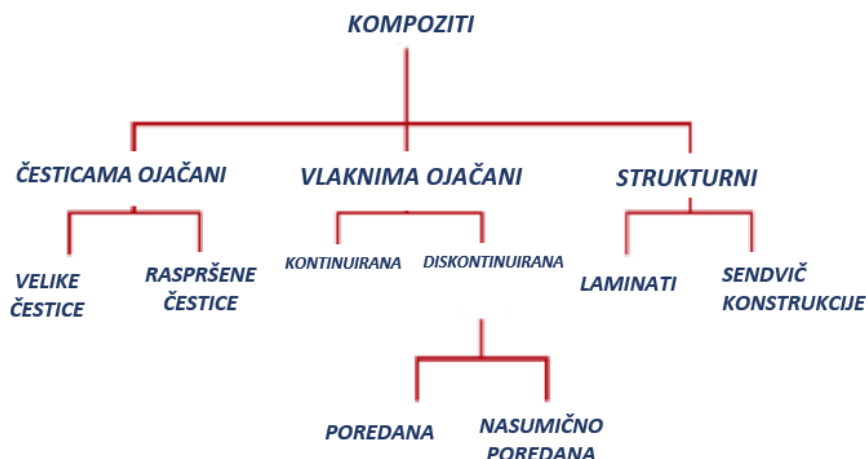
u svijetu, te se došlo do zapažanja kako konvencionalni materijali ne mogu više udovoljiti zahtjevima tržišta, upravo zbog čega se i kompozitna industrija izuzetno brzo širi. Lagane, ali jake i krute konstrukcije su postale sve više tražene u svim područjima svakodnevnog života. Na *slici 3.* shematski je prikazana usporedba nekih razlika u svojstvima između konvencionalnih materijala; aluminija i čelika, te kompozitnih materijala, koji mogu postići mnogo bolja svojstva.



**Slika 3.** Shematski prikaz usporedbe svojstva čelika i aluminija s kompozitnim materijalima [5]

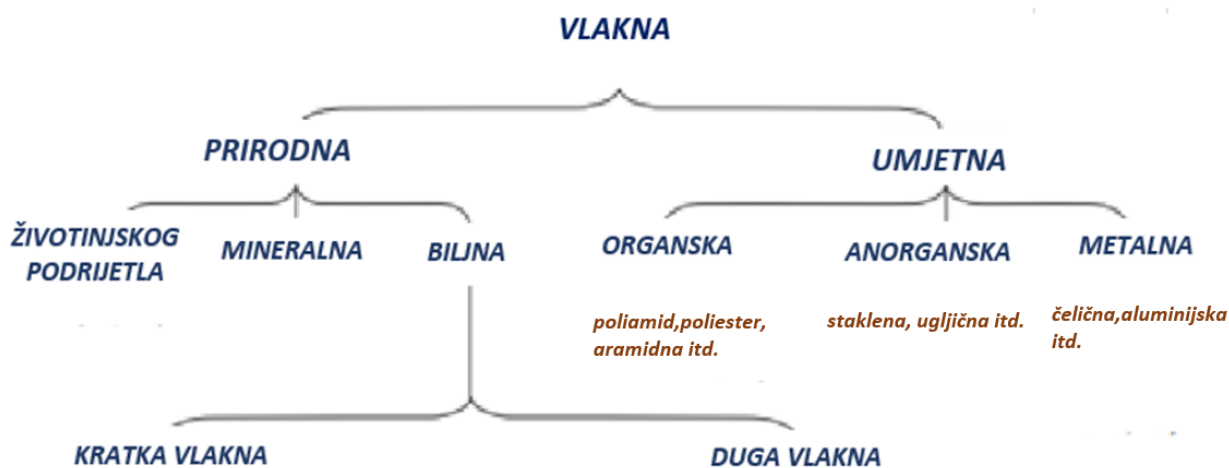
### 1.1.Ojačala

Prema obliku ojačala postoje čestice, vlakna i strukturni kompoziti koji su sa svojom pripadajućom podjelom prikazani na *slici 4.*



**Slika 4.** Prikaz podjele kompozita prema utjecaju ojačala [6]

Vlakna, kao najčešće korištena ojačala, posjeduju mnoga željena svojstva potrebna za korištenje u vojnoj, automobilskoj, zrakoplovnoj ili nekoj drugoj visokotehnološkoj industriji, ali i za komercijalnu primjenu. Dije se na prirodna i sintetička; od kojih su najčešće korištena staklena, ugljična, aramidna i keramička. *Slika 5.* prikazuje podjelu vlakna na prirodna i sintetička s pripadajućom daljnjom raspodjelom.



**Slika 5.** Podjela vlakana prema vrsti [6]

U kompozitu, vlakna od djelovanja vanjskih utjecaja štiti matrica, dok vlakna doprinose čvrstoći i krutosti istovremeno smanjujući težinu konstrukcije. Zato se može zaključiti kako ukupna svojstva kompozitnih struktura upravo ovise o pojedinim komponentama. Strukturna svojstva kompozitnih materijala prvenstveno proizlaze iz ojačala, tj. vlakna.

U kompozitima vlakna najčešće drži smola, koja im poboljšava primarna svojstva, poput čvrstoće i krutosti, a istovremeno održavajući malu masu kompozitne konstrukcije. Svojstva vlakna određuju se postupkom proizvodnje vlakna, sastavu i kemijskim postupcima koji se koriste u samom postupku [7]. Danas se najčešće koriste ugljična i staklena vlakna, posebice u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji.

## 1.2. Matrice

Iako vlakna igraju dominantnu ulogu u određivanju krutosti i čvrstoće kompozita, matrica drži strukturu zajedno, a odabir matrice ima ulogu određivanja maksimalne radne temperature, moguće pristupe obradi, te određuje trajnost konačnog proizvoda.

Podjela kompozita prema vrsti matrice najčešće se može podijeliti u četiri skupine [8]:

1. Kompoziti s keramičkom matricom (engl. *Ceramic matrix composite*, tj. CMC)
2. Kompoziti s metalnom matricom (engl. *Metal matrix composite*, tj. MMC)
3. Kompoziti s polimernom matricom (engl. *Polymer matrix composite*, tj. PMC)
4. Ugljik-ugljik kompoziti (engl. *Carbon-Carbon Composites*, tj. CCC)

Karakteristike matrica se znatno razlikuju ovisno o korištenom ojačalu. *Slika 6.* prikazuje kombinaciju matrica i vlakna koji se danas najčešće koriste, zbog svojih jedinstvenih svojstva koja se ne mogu dobiti monolitnim materijalima.

|           |           | VLAKNA  |           |          |  |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--|
| MATRICA   | POLIMERNA | METALNA | KERAMIČKA | UGLJIČNA |  |
| POLIMERNA | ✓         | ✓       | ✓         | ✓        |  |
| METALNA   | ✓         | ✓       | ✓         | ✓        |  |
| KERAMIČKA | ✓         | ✓       | ✓         | ✓        |  |
| UGLJIČNA  |           | ✓       | ✓         | ✓        |  |

*Slika 6.* Prikaz kombinacije matrica i vlakna koji se danas najčešće koriste [9]

Danas se daleko najviše koriste kompoziti s polimernom matricom (PMC), najčešće u kombinaciji s različitim vrstama smola. Prvenstveno se koriste zbog svoje male mase, visoke čvrstoće i krutosti, postojanosti na medije, dimenzijske stabilnosti i mogućnosti izrade složenih oblika. Kombinacijom polimera s drugim materijalima, poput stakla, ugljika ili nekog drugog polimera, često je moguće dobiti jedinstvene kombinacije različitih svojstva. Tipični primjeri sintetičkih polimernih kompozita su duromerne smole poput epoksidne, fenolne i poliesterske. Duromerne smole ne mekšaju zagrijavanjem kao plastomerne, ali imaju gornju temperaturu uporabe pri kojima im se smanjuje krutost. Najčešće su korišteni tip smole kod kompozita, no plastomeri poput polikarbonata i polietilena se sve češće koriste u kombinaciji sa staklenim vlaknima kao ojačalom, a dobivanjem kombinacije jeftine izrade (injekcijsko prešanje) s poboljšanim svojstvima, polako dovodi do zamjene konvencionalnih materijala polimernim kompozitima u raznim industrijskim primjenama [10].

Kompoziti s metalnom matricom (MMC) u sve većem broju se koriste u svemirskoj tehnologiji, ali i za komercijalnu upotrebu, za dijelove poput automobilskih motora, elektroničkih komponenti, alata za rezanje, kontaktnih pločica itd.

Ugljik-ugljik kompoziti (CCC) se koriste u visokotemperaturnim, blago opterećenim konstrukcijama, za dijelove poput zrakoplovnih kočnica, raketnih mlaznica, opremu za obradu stakla itd.

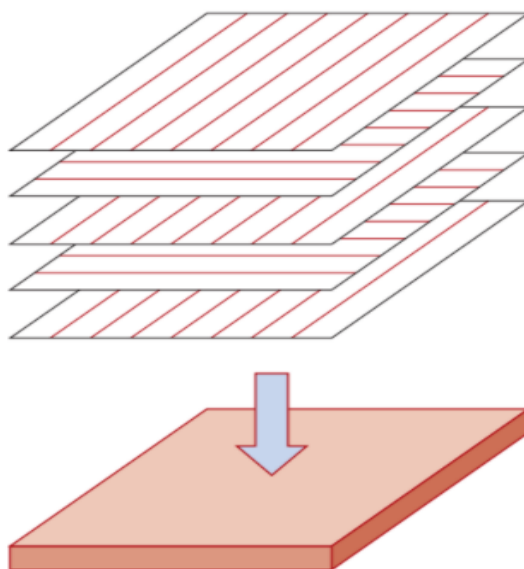
Kompoziti s keramičkom matricom (CMC) danas su najmanje rašireni, te najmanje istraženi od svih vrsta kompozita, ali postoji veliki potencijal njihovom korištenju, zbog odličnih svojstva poput otpornosti na koroziju, oksidaciju, trošenje i visoke temperature.

Sve češće se radi na korištenju hibridnih kompozita koji kombiniraju različite vrste ojačala kako bi se postigla veća učinkovitost i smanjeni troškovi, kao npr. ugljična vlakna se kombiniraju sa staklenim ili aramidnim vlaknima kako bi se poboljšala otpornost na udarce [9].

## 2. SVOJSTVA KOMPOZITNIH MATERIJALA

Proizvodi napravljeni od kompozitnih materijala prvenstveno se koriste zbog postizanja specifičnih svojstva, koje odabirom drugih materijala nije moguće postići. Zbog postojanja mnogobrojnih vrsta ojačala i matrica, izbor odgovarajuće kombinacije materijala za kompozitnu tvorevinu zna biti zahtjevan. No, zahtjevi za dizajnom ili odabir primarnih svojstva često znatno sužava konačni odabir. Vlakna tako određuju mehanička svojstva kompozitne strukture, dok matrica određuje ukupna fizička svojstva. Matrica služi prenošenju opterećenja na vlakna, odvajanju vlakna kako bi se zaustavilo stvaranje i širenje pukotina, te zaštiti vlakna od oštećenja uzrokovanih djelovanjem okolnih medija i utjecaja okoline [11].

Ovisno o zahtjevima koja se postavljaju na konačni proizvod, određuje se koja se vlakna ili matrice koriste. Tako npr. želi li se postići svojstvo krutosti ili čvrstoće, izbor vlakna pada na staklena, ugljična ili aramidna. Ako je potrebno da proizvod bude otporan na okolišne uvjete i medije, materijal matrice odabire se između poliesterske, epoksidne, vinil- ester, fenol ili neke druge smole. Nadalje, strukturni kompoziti definirani su orijentacijom, debljinom i vrstom materijala svakog sloja strukture. Višestruki slojevi se tako koriste za izradu laminata, gdje je moguće vlakna slagati paralelno ili okomito, ovisno o postavljenom zahtjevu na materijal po pitanju prijenosa opterećenja. Na *slici 7.* je prikaz mogućeg načina slaganja različito orijentiranih slojeva vlakna za laminat.



**Slika 7.** Način slaganja različito orijentiranih slojeva vlakana za laminat [6]

Prijenos vlačnih opterećenja tako najviše ovisi o krutosti i svojstvima čvrstoće vlakana. Tlačna opterećenja ovise o svojstvima ljepila i krutosti smole, pošto je smola ta koja vlakna drži na mjestu, te sprječava izvijanja i smična naprezanja između vlakna. Kako su kompoziti relativno novi inženjerski materijali, a potražnja za njihovim korištenjem postala je veća u ovom stoljeću, inženjerska struka još uvijek radi na razvoju materijala različitih kombinacija svojstva, pogotovo na napretku mehaničkih. Kako su dvije upravo najvažnije osobine posmak i savijanje, bitno je pravilno slaganje kompozitne strukture, kako ne bi došlo do iskrivljenja, savijanja i na kraju pucanja kompozitne strukture. Ako su svi slojevi iste debljine i materijala, najjednostavnije je definirati oblik slaganja. Većina je zapravo laminata simetrična i jednako polegnutih slojeva (isti materijal, debljina, orijentacija) [12].

Također je bitno spomenuti svojstvo gustoće, koje ima glavnu ulogu u određivanju dimenzijske stabilnosti kompozita.

U kompozitima je gustoća kategorizirana u tri kategorije: niska, srednja i visoka. Klasifikacije gustoće navedene su u *tablici 1*.

**Tablica 1.** Klasifikacija gustoće kompozita

| <b>Klasifikacija</b> | <b>Gustoća</b>            |
|----------------------|---------------------------|
| <i>Niska</i>         | < 500 g/cm <sup>3</sup>   |
| <i>Srednja</i>       | 500-800 g/cm <sup>3</sup> |
| <i>Visoka</i>        | >800 g/cm <sup>3</sup>    |

Kompozit male gustoće je materijal koji može zadržati više vlage i vode od kompozita visoke gustoće. Razlog je u tome što kompoziti male gustoće imaju više praznina, veću poroznost i razmak između komponenti.

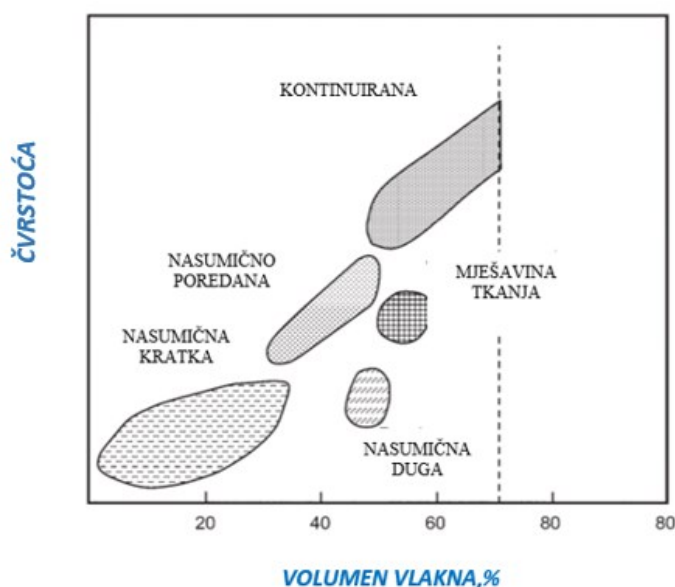
U materijalu koji kombinira dva ili više različita materijala, opterećenje na vlaknima značajno doprinosi ili mijenja dimenzijsku stabilnost kompozita.

## 2.1. Dizajniranje kompozitnih materijala

Za proizvođače kompozitnih dijelova postoji široki spektar materijala matrice i ojačala na odabir. Poznavanje svojstva materijala preduvjet je za zadovoljavajući dizajn proizvoda, a

glavni cilj je konkurentnost na tržištu uz što manje troškove proizvodnje. Konačan proizvod tako ne ovisi samo o odgovarajućem materijalu i procesu izrade, već i o troškovima pripreme, održavanju i životnom ciklusu proizvoda.

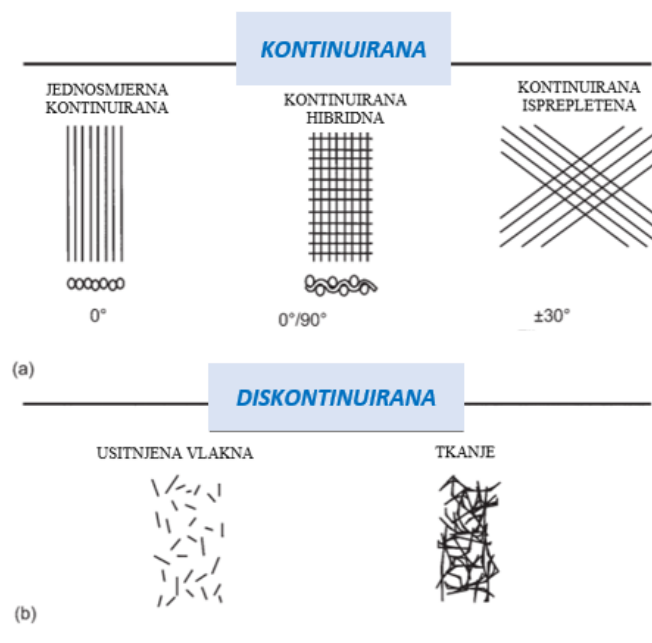
Kao što je ranije spomenuto, vlakna pružaju mehanička svojstva, a matrica fizička svojstva poput žilavosti, otpornosti na udarce, UV svjetlost, kemikalije itd. Zato je odlučujući čimbenik u konačnoj cijeni proizvoda odnos između vlakna i matrice. Taj odnos odlučuje u kojoj se mjeri svojstva mogu optimizirati da zadovoljavaju određene kriterije, a kako bi konačni proizvodi cjenovno ostali konkurentni. Odnos vlakna i smole se kreće 20:80 za jeftine, nestrukturane komponente, do čak 70:30 za vrhunske strukturne kompozite. Omjer 60:40 je najčešći u naprednim kompozitima [1]. Na slici 8. je prikazan omjer volumnog udjela vlakna naspram čvrstoće i cijene s obzirom na oblik vlakna.



**Slika 8.** Omjer volumnog udjela vlakna naspram čvrstoće s obzirom na oblik vlakna [2]

Prilikom dizajniranja vlakna, u obzir se moraju uzeti vrsta, oblik i orijentacija vlakna. Orijehtacija se odnosi na smjer vlakana u odnosu na najdulju dimenziju predmeta, te je prilagođena u smjeru primarnih opterećenja na konstrukciju. Uobičajene su orijentacije paralelne i uzdužne (kut od  $0^\circ$ ), obodne (kut od  $90^\circ$ ) ili zavojne koje su pod nekim kutom (obično  $\pm 33^\circ$  do  $\pm 45^\circ$ ). Proizvođači kompozita zato ovisno o zahtjevima na određeni dio, prilagođavaju izvedbu dizajniranja vlakna. Na slici 9. su prikazani najčešći oblici i orijentacije vlakna.

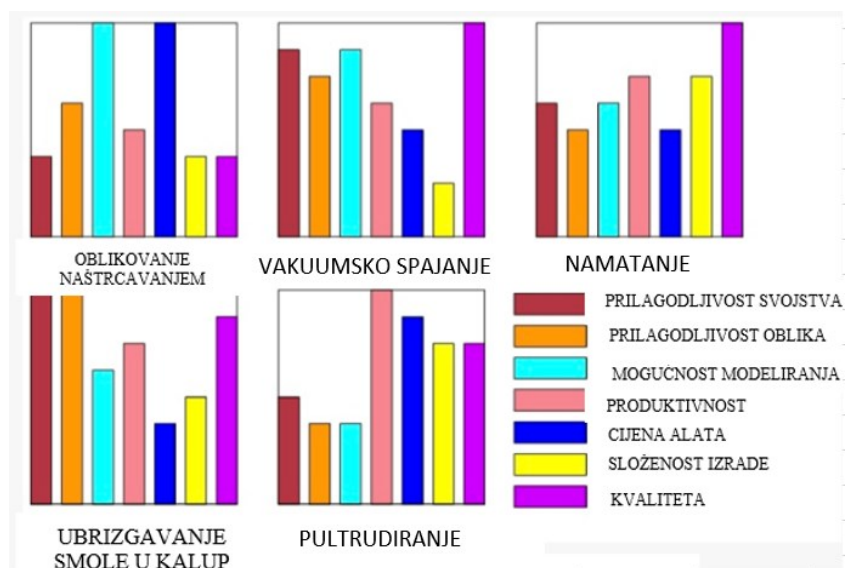




**Slika 9.** Najčešći oblici i orijentacije vlakna [2]

Složene kompozitne strukture, tj. laminati se još slažu da budu izotropni ili anizotropni, uravnoteženi ili neuravnoteženi, simetrični ili asimetrični - ovisno o silama koje komponenta mora podnijeti u fazi upotrebe. Različita orijentacija vlakna omogućava proizvodnju laganih, složenih oblika i proizvoda velikih dimenzija, a u kombinaciji s matricama podnesena opterećenja konstrukcija mogu biti još veća. Razumijevanje slojevitog ili laminiranog strukturnog ponašanja od presudnog je značaja za učinkovit dizajn kompozita. Prianjanje između slojeva laminata je presudno, zato što loša adhezija može rezultirati raslojavanjem pod utjecajem naprezanja i opterećenja. Proizvođači zato moraju uzeti u obzir mehanička naprezanja i opterećenja, prianjanje, težinu, krutost, radne temperature i žilavost, itd. Uz to, dizajn kompozitnih struktura mora obuhvaćati mogućnosti površinske obrade, vijek trajanja strukture, potencijal recikliranja ili prerade i sl. Metoda izrade dijela, također je presudan faktor koji utječe na dizajn i konačnu cijenu proizvoda. Različite mogućnosti izrade zato pružaju proizvođačima vrlo fleksibilan skup mogućnosti kako bi se postigli optimalni uvjeti proizvodnje[13].

Neke od mogućnosti izrade kompozitnih materijala s usporedbom svojstva prikazane su na *slici 10*.



**Slika 10.** Neke od mogućnosti izrade kompozitnih materijala s usporedbom konačnih svojstva materijala [14]

### 3. POVIJEST RAZVOJA NAPREDNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Povijest naprednih kompozitnih materijala se može grubo podijeliti u 4 generacije [15]:

1. Prva generacija (1940-ih): Kompoziti ojačani staklenim vlaknima
2. Druga generacija (1960-ih): Kompoziti visokih performansi u doba nakon Sputnika
3. Treća generacija (1970-te i 1980-te): Potraga za novim tržišnim materijalima
4. Četvrta generacija (1990-ih): Hibridni materijali, nanokompoziti i biomimetički materijali.

U drugoj polovici 20. stoljeća znanstvenici su se suočili s većim izazovima na području razvoja naprednih inženjerskih materijala, prvenstveno zbog potrebe tržišta za naprednijim performansama proizvoda. Tako na primjer kompoziti s organskom matricom (engl. *Organic Matrix Composite*, tj. OMC) nastali su tijekom Drugog svjetskog rata naporima zrakoplovne industrije u svrhu proizvodnje materijala s boljom otpornošću na koroziju i oštećenja uzrokovana umorom materijala. Primjena napredne tehnologije temeljena na izradi kompozita najviše je promovirana početkom 1960-ih, a naglasak je bio na proizvodnji materijala povećanih performansi smanjenjem strukturne težine. Razvijanje i potražnja za kompozitima visokih performansi bila je usporena visokim troškovima goriva koji su rezultat energetske krize 1970-ih. Posljednjih 35 godina OMC je tako postao jedan od vodećih predstavnika kompozita u zrakoplovnoj industriji, a koristi se i pri konstrukciji svemirskih letjelica. Matrice koje se najčešće koriste u OMC-ima su poliesterske i epoksidne smole, koje pridonose odličnim fizičko–mehaničkim svojstvima, a vlakna su sastavljena od tisuće finih niti raspoređenih u jedan snop [16].

Prva generacija naprednih kompozitnih materijala (1940-e), donijela je na tržište staklena vlakna, koja su najranija poznata vlakna za proizvodnju naprednih kompozitnih materijala, a rade se najčešće u kombinaciji s matricama od poliestera ili epoksida, a konačni materijal je polimerni kompozit ojačan staklenim vlaknima, kolokvijalno poznat kao stakloplastika (engl. *Glass-reinforced plastic*, tj. GFRP). U početku je ideja bila izrada cijelih komponenti, poput krila zrakoplova ili rotora helikoptera staklenim vlaknima. Iako su ova vlakna visoke čvrstoće, znanstvenici su uočili kako su istovremeno ovi materijali i lomljivi, te se na površini proizvedenih komponenti pojavljuju mikropukotine. Međutim, inženjeri su ubrzo shvatili da ukoliko staklena vlakna se koriste u kombinaciji s matricom lakšeg i manje čvrstog materijala, može se dobiti materijal koji bi zaustavio problem širenja pukotina. Rješenje je bilo korištenje polimerne matrice, koja omogućava prelazak velikog dijela napreznja s matrice na vlakna

jakim međudjelovanjem [15]. Polimerni kompozit ojačan staklenim vlaknima je tako zapravo bila potreba inženjerske struke, a danas se koristi za proizvodnju komponenti zrakoplova, automobila, spremnika za vodu, termalnu izolaciju itd.

U drugu generaciju pripada događaj lansiranja sovjetskog satelita Sputnika 1957. godine, tj. svemirska utrka koja je potaknula potrebu za još lakšim i čvršćim materijalima od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima. Tijekom ulaska svemirske letjelice nazad u Zemljinu atmosferu temperature često rastu iznad 1500 °C, što premašuje temperaturne granice bilo kojeg tada poznatog monolitnog ili kompozitnog materijala, pa su tadašnji znanstvenici počeli tražiti rješenje u proizvodnji kompozita s metalnom matricom.

Kompoziti s metalnom matricom obično koriste ugljična, metalna ili keramička vlakna kao ojačala kako bi se dobila toplinska otpornost metala i smanjio njihov koeficijent toplinskog širenja. Svemirska utrka također je bila poticaj za razvoj ugljičnih i borovih vlakna. Osim eksperimenata kombiniranja bakra s ojačanom čeličnom žicom, u to je vrijeme na području razvoja MMC-a provedeno malo istraživanja, jer je već početkom 1970-ih nastupila recesija koja je rezultirala smanjenjem financiranja istraživanja na ovom području. 1980-ih intenzivna su istraživanja ponovno počela usmjerena prema MMC materijalima ojačanim česticama ili viskerima, u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji za dijelove gdje je bila potrebna visoka temperaturna otpornost. Izvrstan su izbor materijala za kočione rotore npr. brzih vlakova i rotirajućih dijelova u plinskoturbinskom motoru [15].

Polimerni kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima (engl. *Carbon-Fibre Reinforced Plastics*, tj. CFRP) poznati su po svojoj čvrstoći, trajnosti i maloj masi, a proizvedeni su 60-ih godina prošlog stoljeća, zbog potrebe za novim snažnijim materijalima. Prva ugljična vlakna su dobivena od rajona, tj. umjetne svile. Istovremeno su se razvijala i borova vlakna, koji su prva razvijena vlakna plasirana na tržište u obliku monofilamenata. Dok su se ugljična i borova vlakna razvijala otprilike u isto vrijeme, ugljik je preuzeo vodstvo 1960-ih zbog svojih vrhunskih mogućnosti obrade i nižih troškova izrade. U Japanu su se tako razvila ugljična vlakna visoke čvrstoće koristeći vlakna od poliakrilonitrila (PAN), zamjenjujući prethodno korišteni rajon. Ugljična vlakna u to su se vrijeme koristila samo u kombinaciji s polimernim matricama. Zbog reaktivnosti ugljika s aluminijem i magnezijem, uporaba ugljika kao ojačala u kombinaciji s metalnim matricama u početku nije bila moguća. Trebalo je proći neko vrijeme da znanstvenici budu u mogućnosti proizvesti proces koji bi spriječio reakciju između ugljika i metala kako bi materijali u kombinaciji ugljika i aluminija ili ugljika i magnezija postali

stvarnost. Neke od primjena CFRP uključuju sportsku opremu i komponente u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji.

Borova vlakna, na kraju su se pokazala čvršća od ugljičnih, no zbog visoke cijene proizvodnje, pronašla su svoju primjenu prvenstveno u vojnoj industriji. Bor kao vlakno ima tri problema [17] :

1. Izbor materijala podloge koji će činiti jezgru borovih vlakana je ograničen
2. Filament se ne može saviti u mali radijus
3. Bor reagira s metalnom matricom iznad  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$

Postoje još i kompoziti ojačani aramidnim vlaknima, razvijeni 70-ih godina prošlog stoljeća, a koriste se u kućištima motora, proizvodnji plovila, dijelovima zrakoplova i helikoptera. Aramidna vlakna pokazuju daleko nižu čvrstoću u usporedbi s ugljičnim vlaknima.

Korištenjem raznih vlakana i upotrebom raznih matrica, 1960-ih se pojavio opći pojam kompozita. Kompozit je bio materijal koji je kombinirao dvije heterogene faze, bez obzira na njihovu prirodu i podrijetlo. Dizajn kompozitnih materijala vodio je znanstvenike i inženjere da usmjere pažnju prema procesu optimiziranja svojstva dva različita materijala. Budući da mehanička svojstva heterogenih struktura ovise o vezi između komponenata, bilo je presudno razviti aditivne tvari koje daju prednost kemijskim vezama između vlakana i matrice. Kompoziti su na taj način u trećoj generaciji usmjerili se prema istraživanju materijala u kojem su kemijski inženjeri imali glavnu ulogu. U trećoj generaciji razvitka naprednih kompozitnih materijala, pojavljuju se prethodno navedeni materijali samo uz korištenje raznih dodataka, tj. aditiva. Počinje se tržište formirati i mnogobrojni proizvođači rade na području razvitka novih materijala. Tako je npr. Duralcan, jedan od proizvođača kompozita postao vodeći predstavnik proizvodnje matrica s metalnom aluminijskom matricom ojačanom 20%-im staklenoionomernim keramičkim česticama (SiC), a čija je primjena na području sportske opreme, ili pak okvirima za lagane, vrlo jake i vrlo skupe brdske bicikle [18].

Danas se najviše istražuje na hibridnim materijalima, nanokompozitima i biomimetičkim materijalima koji se razvijaju inspirirani prirodom, u cilju programa održivog razvoja, o kojem će govora više biti kasnije.

#### 4. TRŽIŠTE KOMPOZITNIH MATERIJALA U PREDPANDEMIJSKOM RAZDOBLJU

Tehnologije koje se koriste u proizvodnji kompozita su brzo rastuće, a s porastom potražnje i potrošnje pažnja u budućnosti će se usmjeriti prema pitanju održivosti i utjecaju različitih materijala na okoliš. Neka od svojstva kompozitnih materijala nude perspektivu boljoj održivoj budućnosti, kao što je npr. njihova otpornost na koroziju, pa proizvodi napravljeni od ovih materijala imaju znatno dulje trajanje od željeznih ili drvenih proizvoda i konstrukcija. Ova dugotrajnost smanjuje troškove održavanja i proizvodnju novih konstrukcija. Također, nacionalni, prirodni ili bilo kakvi drugi parkovi nastoje poboljšati pješačke i automobilske staze bez uništavanja prirodnog okoliša smanjenjem upotrebe teških metala. Zato se danas sve više koriste lagane kompozitne strukture [19].

U budućnosti, istraživanje održivosti i mogućnosti recikliranja kompozitnih materijala nastaviti će rasti kako će se tehnologija usmjeravati prema ostvarivanju programa održive budućnosti.

Svjetski trend sve veće potražnje za kompozitnim materijalima potvrđuje njihovu nadmoć u odnosu na ostale tradicionalne materijale.

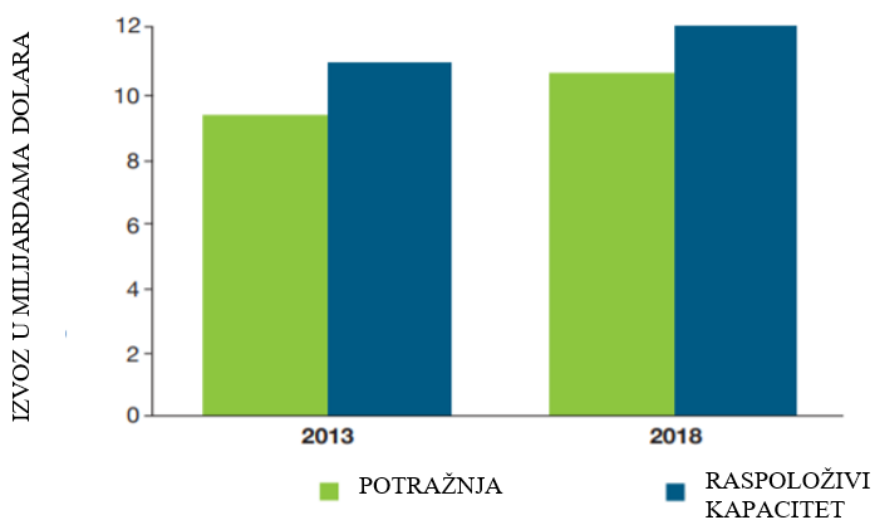
Trenutna aktivna područja proučavanja kompozitnih materijala su mnoga, a sve kombinacije svojstva koja se mogu dobiti kompozitnim materijalima su neiscrpne teme istraživanja koje se razvijaju unaprjeđenjem tehnologija. Neke od ključnih tema dosadašnjih istraživanja uključuju nanokompozite i rad na ojačanju nanofaza, razvijanje multifunkcionalnih kompozita, tj. rad na strukturama sa sposobnosti samoprocjene i samoispravka, biokompoziti za implantate, mogućnost recikliranja i pitanje zaštite okoliša, razvoj nerazornih ispitivanja koja mogu pouzdano odrediti trajnost kompozita, razvijanje kompozita s većim otpornošću na povišene temperature, na koroziju, habanje i udar, itd. [16]

Ovo poglavlje će se na dalje posvetiti podacima neposredno prije globalne recesije koja je nastupila kao posljedica COVID-19 pandemije.

Industrija kompozitnih materijala i proizvoda je do 2019. godine imala kontinuirani trend rasta, te je američka kompozitna industrija procijenjena na 25,2 milijarde dolara u 2018., a europska na 16,6 milijarde dolara za širok spektar materijala, poput onih za izradu armatura, lopatica vjetroturbina, cijevi, spremnika, automobilskih komponente itd. [20],[21].

Kao jedno od glavnih ojačala, tržište staklenih vlakna poraslo je za 2,9 % u 2018. godini u odnosu na prethodnu, tako dosegnuvši vrijednost od 2,1 milijarde dolara.

Očekuje se da će potražnja za staklenim vlaknima u Sjedinjenim Američkim Državama dosegnuti 3 milijarde dolara do 2024. godine, uz godišnju stopu rasta od 2,8 %. S obzirom na ponudu i potražnju, globalni kapacitet staklenih vlakana bio je 10,9 milijardi dolara u 2018. godini. Na *slici 11.* je prikaz povećane potražnje za upotrebom staklenih vlakna u odnosu na 2013. godinu [21].



**Slika 11.** Odnos potražnje i potrošnje staklenih vlakana u usporedbi 2013. i 2018. godine [21]

Nadalje, tržište ugljičnih vlakana koje je u pretpandemijskom razdoblju imalo stopu rasta između 10 i 15 % godišnje. U 2018. godini globalna potražnja za ugljičnim vlaknima je dodatno porasla, a rast te godine je bio uzrokovan porastom potražnje za ugljičnim vlaknima u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji, te za proizvodnju lopatica vjetroturbina. Primjene u zrakoplovstvu i za izradu lopatica vjetroturbina iznosile su petinu tržišta, a upotreba u automobilskoj industriji i sportu iznosile su šestinu. Ostalih 25 do 30 % je bilo za razne druge upotrebe. Na *slici 12.* je shematski prikaz zrakoplova na kojem se vidi kako kompozitni materijali sačinjavaju barem 50 % ukupne konstrukcije dijelova.

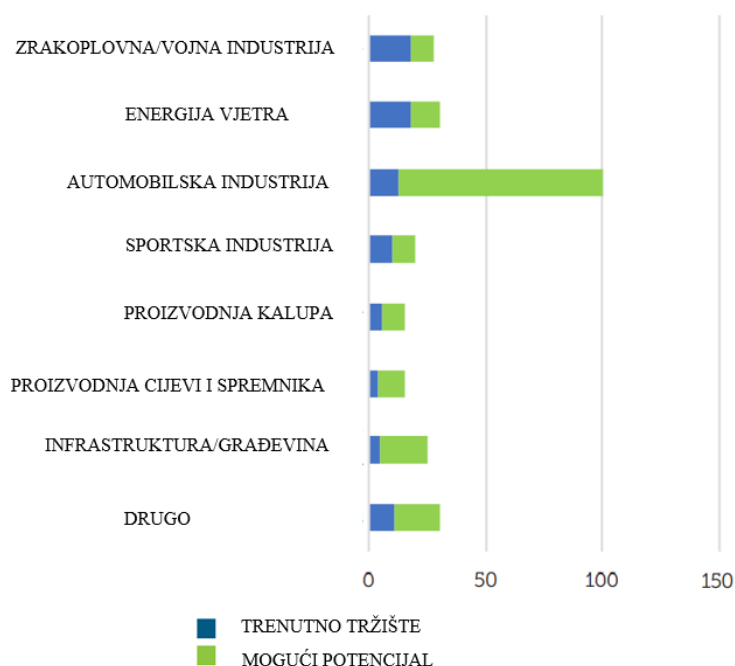


**Slika 12.** Shematski prikaz zrakoplova i materijala koji ga sačinjavaju [22]

Industrija ugljičnih vlakna se izuzetno brzo širi, ovisno o zahtjevima i mogućnostima tržišta. Najveći proizvođač ugljičnih vlakana (20-25 % ukupne proizvodnje) je Kina. Korištenje ugljičnih vlakna u proizvodnji donosi brojne pogodnosti, koja uglavnom proizlaze iz visokih performansi čvrstoće i male mase materijala, što dovodi do manjih i čvršćih struktura. Na primjer, monokok sportskog automobila ima masu do 400 kilograma, no ako je napravljen od ugljičnih vlakna masa pada sve do 100 kilograma, što dovodi do manje potrošnje goriva i ispuštanja ugljičnog dioksida iz benzina ili dizela, a ukoliko se radi o električnom vozilu na baterije značajno produžuje vožnju.

Ugljična vlakna također imaju potencijal za rast za proizvode poput posuda pod tlakom (za komprimirani zemni plin, ukapljeni naftni plin, vodik itd.) i građevinske i infrastrukturne aplikacije itd. [21] Automobilaska industrija za sad pokazuje najveći tržišni potencijal, te se nastavlja širiti. Na *slici 13.* je prikazan sadašnji i mogući budući tržišni scenarij upotrebe ugljičnih vlakna u raznim industrijama.





**Slika 13.** Prikaz sadašnjeg i mogućeg budućeg tržišnog scenarija upotrebe ugljičnih vlakna u raznim industrijama [21]

Kao zaključak, potencijal korištenja ugljičnih vlakana je velik za mnogobrojne proizvode i upotrebe. Potražnja je gotovo došla do maksimalnog raspoloživog kapaciteta, što govori da ovo tržište ima trend pozitivnog rasta.

Nadalje, polimeri ojačani vlaknima zadnjih godina pronalaze sve veću primjenu u građevini i infrastrukturi, jer su ekonomičnija zamjena u usporedbi s konvencionalnim građevinskim materijalima. Ovi kompoziti imaju odlične prednosti, kao što su otpornost na koroziju, trajnost, otpornost na udar, visok omjer čvrstoće i krutosti prema težini, savitljivost, jednostavna ugradnja i jednostavno uklanjanje itd. Tako se koriste kao ojačanje za čelične, betonske i drvene konstrukcije najčešće u protupotresne svrhe, dok im trošak ugradnje nije skup. Slično tome, ugradnja ovih materijala u armaturu unutar čelične konstrukcije povisuje ukupne troškove izgradnje za samo 1 %, dok znatno povećava trajnost konstrukcija.

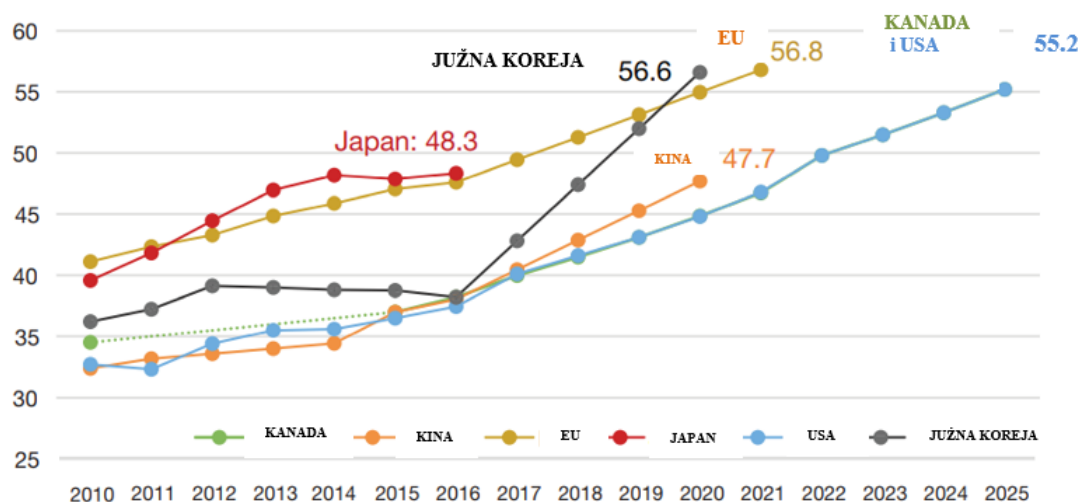
Što se tiče industrije, automobilska je daleko najzanimljivija, upravo zbog velike, ali i konstantno rastuće potražnje za kompozitnim materijalima za razne automobilske dijelove. Po nekim procjenama godišnje se oko 4,5 milijarde dolara kompozitnih materijala i dijelova proda automobilskoj industriji.

Veliku većinu ovog volumena čine polimerni kompoziti, koji uglavnom imaju niže troškove materijala i obrade od termootpornih polimera. Za blisku budućnost i prije pandemije očekivao

se skroman porast proizvodnje i kupnje vozila, s godišnjom stopom porasta od oko 2 %. Kako bi se značajniji porast proizvodnje kompozitnih dijelova ostvario na području automobilske industrije potrebna je gotovo potpuna zamjena tradicionalnih materijala kompozitnim. Tako je najbitniji faktor cijena u odnosu na performanse materijala. Konkurentnost kompozita upravo leži u manjoj masi proizvoda.

Također, globalno gospodarstvo ima izazov smanjenja korištenja fosilnih goriva i visoke emisije ugljika, a električni pogoni će igrati ključnu ulogu kompozitne industrije na automobilskom tržištu. Novousvojeni standardi uštede goriva i ograničenja emisije su primarni pokretači korištenja lakših materijala na novoprodučenim vozilima, jer lakša vozila zahtijevaju manje energije za pokretanje i zaustavljanje tako poboljšavajući učinkovitost goriva. Novi standardi koji se nameću u cilju održivog razvoja naglo povećavaju potrebu za proizvodnjom lakih vozila, te uz aluminij i čelik raste potreba za kompozitnim materijalima, najčešće za polimernim kompozitima ojačanih staklenim vlaknima i polimernim kompozitima ojačanih ugljičnim vlaknima.

Sve stroži propisi o potrošnji goriva i emisijama povećavat će se, te je u skladu s tim na slici 14. prikazana usporedbe standarda ekonomičnosti goriva za osobna vozila na svjetskoj razini.

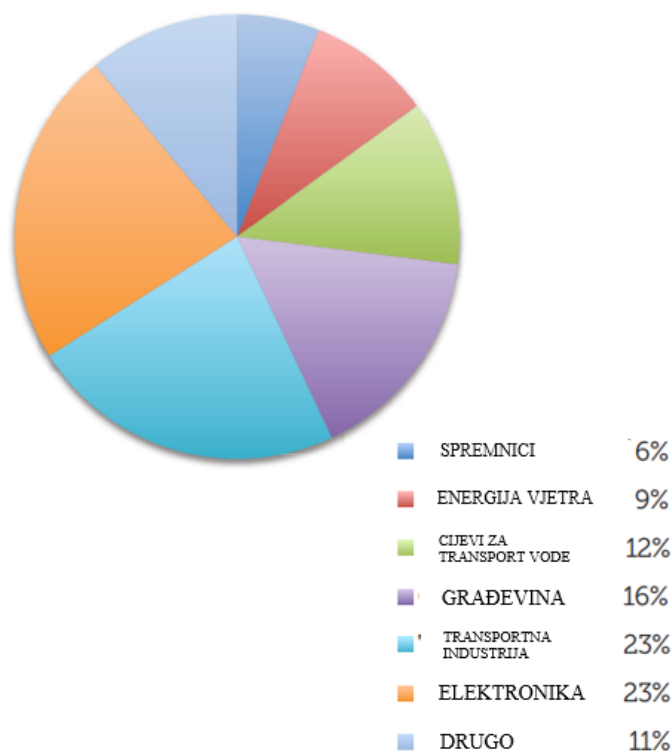


**Slika 14.** Prikaz usporedbe standarda ekonomičnosti goriva za osobna vozila na svjetskoj razini [23]

Kao zaključak, pojava novih tehnologija, poput autonomne vožnje ili sve veći udio električnih vozila na tržištu će također biti faktor buduće potražnje za kompozitima u industriji. Smjer

kretanja tehnologije će tako odlučiti jesu li kompoziti dugoročno privlačni materijali, ili će se raditi na razvoju novih, iako još uvijek postoji izvrsna prilika za širenjem tržišta kompozitnih materijala u automobilskoj industriji. Također gore navedene prednosti se mogu primijeniti na bilo koju drugu industriju transportnih vozila.

Očekivano Kina je vodeći proizvođač kompozitnih materijala, poluproizvoda i proizvoda. U posljednjem desetljeću velika potražnja za naprednim materijalima u brzorastućim industrijama, poput automobilske, željezničke, građevinske i industriji energije vjetra revolucionirala je tržište kompozitnim materijalima. Postignut je izuzetan napredak u količini primjene ovih materijala. Kineska industrija je tako krajem prošlog stoljeća postala vodeća industrija proizvodnje kompozitnih materijala i proizvoda. Postala je glavni proizvođač i dobavljač staklenih vlakana, te danas ima dvostruko veće tržište od onog u Sjedinjenim Američkim Državama. Na slici 15. je prikazan udio polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u raznim industrijskim sektorima na kineskom tržištu.



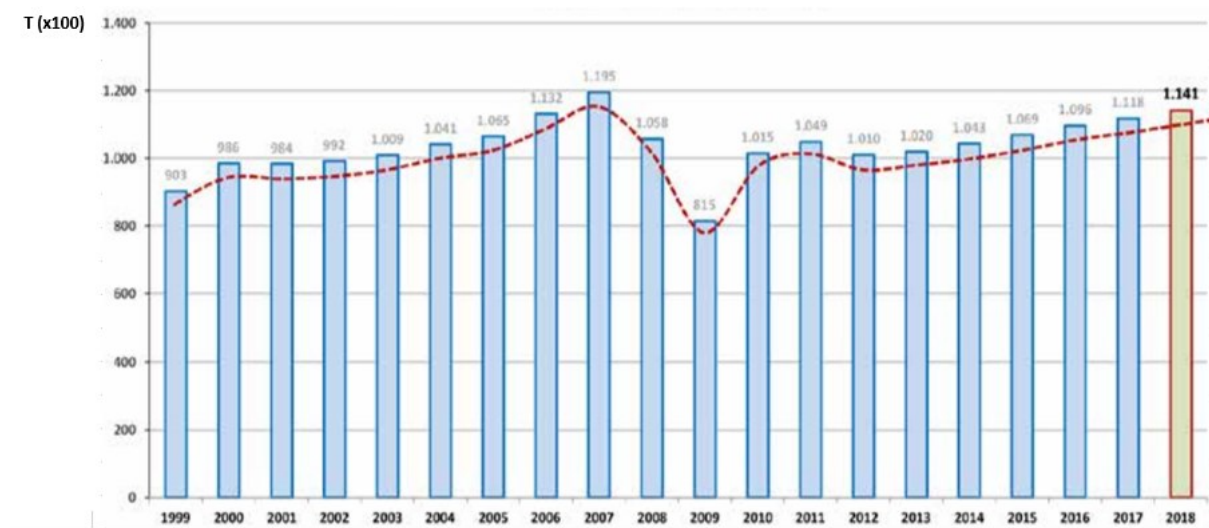
**Slika 15.** Udio polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u raznim industrijskim sektorima na kineskom tržištu [24]

Kineska je industrija počela istraživati, razvijati se i komercijalizirati ugljična vlakna oko 35 godina iza drugih vodećih industrijaliziranih zemlja, a kineska vlada i industrija počele su

ulagati u proizvodnju ugljičnih vlakana početkom ovog stoljeća. Unatoč kasnom početku probijanja na tržištu, Kina se može pohvaliti najvećom proizvodnjom poliakrilonitrila (PAN) korištenog za proizvodnju ugljičnih vlakna s čime drže monopol na ovom tržištu.

Za daljnju promociju i širu uporabu kompozitnih materijala, kineska industrija intenzivno istražuje mogućnosti smanjenja cijena materijala, proizvoda i proizvodnih tehnologija, višenamjensku integracijsku tehnologije, ekološki prihvatljivije materijale, te napredak u mogućnosti recikliranja. Automatizirana proizvodnja, modernizirano upravljanje i velika proizvodnja, zajedno sa strogim osiguranjem i kontrolom kvalitete, te kontinuirano širenje na različita tržišta, zasigurno će omogućiti kineskom tržištu kompozita više nego dvostruki godišnji rast u sljedećem desetljeću, s malom stagnacijom uslijed postojeće COVID-19 krize.

Što se tiče europskog tržišta na slici 16. je prikaz porasta tržišta polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u tonama tijekom zadnjih 20-ak godina.



**Slika 16.** Prikaz trenda europskog rasta tržišta polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u tonama tijekom zadnjih 20-ak godina [25]

Iako proizvodnja polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u Europi i dalje raste, obujam proizvodnje još uvijek zaostaje za globalnim tržišnim trendom. Razlike između regionalnih tržišta zahtijevaju individualnu analizu, jer su rezultati kretanja drugačiji. Na primjer, proizvodnja polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima u Njemačkoj snažno

se fokusira na transportni sektor i elektroničku industriju, dok je naftna i plinska industrija jaka u Norveškoj i Švedskoj. U južnoeuropskim zemljama poput Španjolske, Portugala, Francuske i Italije 2018. godine su zabilježene iznadprosječne stope rasta. Njemačka je i dalje europski vodeći proizvođač kompozita, iako je njezin rast i dalje zaostao za cjelokupnim tržišnim trendom. Na slici 17. je prikaz očekivanog porasta potražnje za kompozitnim vlaknima u razmaku između 2015. i 2025. godine, po izvješću iz 2018. godine.



Slika 17. Njemačko tržište kompozita, po vrsti vlakna i očekivani trend rasta [20]

Buduće trendove rasta je teško predvidjeti, prvenstveno jer tržište neprestano oscilira, a promjene se mogu dogoditi naglo te mogu biti uzrokovane su raznim čimbenicima. Iako je trenutno cijela industrija u blagoj stagnaciji zbog pandemije uzrokovane koronavirusom, kompozitna industrija pokazuje znatan potencijal budućnosti da bi napredak u budućnosti izostao.

## 5. OBILJEŽJA COVID-19 KRIZE

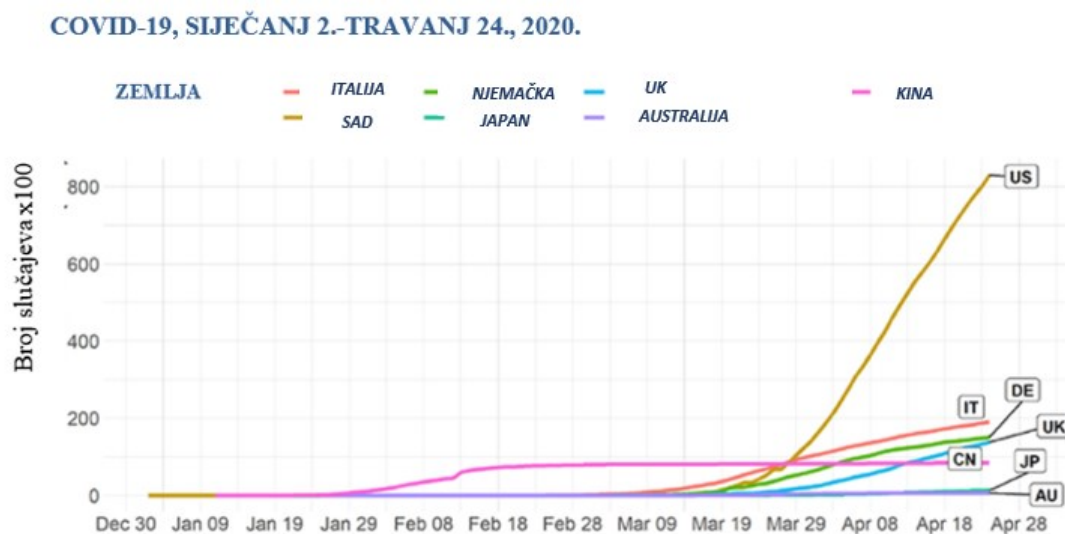
Izbijanjem koronavirusa 11. ožujka 2020. godine Svjetska zdravstvena organizacija proglasila je globalnu pandemiju, ukazujući na preko 3 milijuna slučajeva i 207.973 smrtnih slučajeva u 213 država svijeta [26].

Pandemija koronavirusa nije samo globalna pandemija i kriza pokazatelja nedostatka zdravstvenog sustava, već je i kriza koja je ozbiljno utjecala na globalno gospodarstvo i financijsko tržište. Značajno smanjenje dohotka, porast nezaposlenosti, smanjenje uslužne i proizvodne djelatnosti među posljedicama su mjera za suzbijanje bolesti koje su provedene u mnogim zemljama. Budući da posljedice krize uzrokovane pojavom virusa vjerojatno neće nestati u bliskoj budućnosti, potrebne su proaktivne međunarodne akcije kako bi se spasili ne samo životi ljudi već zaštitila svjetska i nacionalna ekonomija.

Značajni ekonomski utjecaj se dogodio širom svijeta zbog smrtnosti, smanjene produktivnosti, zatvaranja poduzeća, poremećaja trgovanja i smanjenja turističke aktivnosti. Kriza uzrokovana ovim virusom osim negativnih posljedica može i pozitivno utjecati na kolektivnu svijest te osigurati pojačanu suradnju između država za bolju pripremljenost na moguće buduće pandemije. Iako godinama postoji mnogo podataka o mogućim očekivanim ekonomskim i zdravstvenim posljedicama uslijed izbijanja zaraznih bolesti, svijet se nije na odgovarajući način pripremio za mjere pripravnosti i prevencije ublažavanja rizika od velikih epidemija, te je s velikim propustom ušao u ovu krizu [27].

Uz globalizaciju, urbanizaciju i promjene okoliša, izbijanje zaraznih bolesti i epidemije postale su globalna prijetnja koja zahtjeva detaljnije analize za osiguravanje bolje budućnosti. Iako većina razvijenih država, ima snažan nadzor zdravstvenih sustava za upravljanje širenja zaraznih bolesti, poboljšanje kapaciteta javnog zdravstva u siromašnijim državama s visokim rizikom od širenja bolesti treba poboljšati korištenjem nacionalnih resursa i pridonijeti međunarodnim donatorskim sredstvima [28].

*Slika 18.* prikazuje dinamiku potvrđenih slučajeva oboljelih od koronavirusa i pokazuje kako je većina zemlja u svijetu premašila Kinu u broju potvrđenih slučajeva 2020. godine, unatoč tome što je širenje virusa započelo u Kini.



**Slika 18.** Dinamika porasta potvrđenih slučajeva oboljelih od koronavirusa u razmaku od par mjeseci [29]

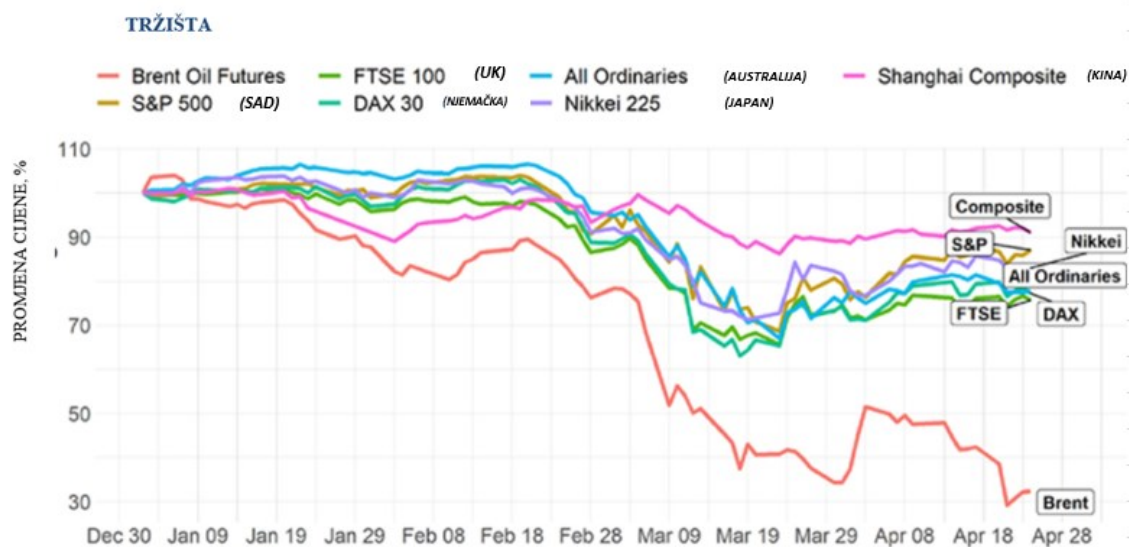
Uz veliko opterećenje zdravstvenih sustava, pandemija ima velike ekonomske posljedice za pogođene zemlje. Prouzročila je izravne utjecaje na dohodak zbog smanjene produktivnosti, izostanka s radnog mjesta i na kraju smrtnosti što je stvorilo negativne posljedice na proizvodnu aktivnost i opskrbu što je naposljetku rezultiralo masovnim zatvaranjem tvornica. Primjerice, u Kini je proizvodnja u veljači 2020. pala za više od 54 % u odnosu na vrijednost iz prethodnog mjeseca [30].

Uz utjecaj na poremećaje unutar ekonomskog sustava, potrošači su skladno tome promijenili svoje ponašanje prema potrošnji, uglavnom zbog smanjenog prihoda i financija kućanstva, kao i zbog straha i panike koje prate pandemiju. Uslužne djelatnosti poput turizma, ugostiteljstva i prijevoza pretrpjele su značajne gubitke zbog smanjenih putovanja. Međunarodno udruženje zračnog prometa projicira gubitak prihoda zrakoplovnih prijevoznika samo od putničkog prijevoza do 314 milijardi dolara [31].

Uz izražene zdravstvene nejednakosti, posebno u zemljama bez univerzalnog zdravstvenog osiguranja, ekonomski učinak pandemije bit će različit za pojedine sektore, pa tako npr. uredski radnici prelaze na fleksibilna radna mjesta tijekom zaključavanja (engl. *lockdown*), dok će mnogi radnici u industriji, turizmu, trgovini i prometu pretrpjeti značajnije smanjenje posla zbog ograničenja rada i male potražnje za njihovom robom i uslugama.

Kao što je prethodno spomenuto učinci širenja virusa snažno su utjecali na globalno financijsko tržište. Kako se broj slučajeva počeo globalno povećavati, svjetska financijska i naftna tržišta

značajno su na gubitcima. Od početka prošle godine vodeći američki i europski indeksi dionica (npr. S&P 500, FTSE 100, CAC 40 i DAX) izgubili su četvrtinu vrijednosti, a cijene nafte 24. travnja 2020. pale su za više od 65 %, što je prikazano na slici 19.



**Slika 19.** Dinamika vrijednosti indeksa dionica nafte u odnosu na 2. siječanj 2020. [32]

Trenutni ekonomski problemi velikim su dijelom povezani sa sadašnjom i potencijalnom budućom potražnjom za naftom koja trpi velike oscilacije cijene zbog smanjenih gospodarskih aktivnosti vođenih pandemijom. Očekivani višak ponude također je odgovoran za značajna smanjenja cijena nafte. Ako se cijene nafte nastave smanjivati s obzirom na očekivane, mnoga gospodarstva ovisna o nafti mogu se poremetiti. Problemi na tržištu rada će tada biti ozbiljni, posebno za zemlje ovisne o međunarodnoj trgovini. Tvrtke koje posluju internacionalno i šalju svoje radnike na poslovna putovanja daju važan doprinos tržištu rada, rješavajući neravnoteže kako u visokokvalificiranim, tako i u niskokvalificiranim zanimanjima [33]. Budući da će međunarodna putnička ograničenja vjerojatno ostati u dogledno vrijeme prisutna, migracijski tokovi bit će ograničeni tako ometajući globalni gospodarski rast i razvoj [34].

Budući da će širenje virusa vjerojatno i dalje narušavati gospodarsku aktivnost i negativno utjecati na industriju, posebno u razvijenim zemljama, očekuje se da će globalno financijsko tržište i dalje biti nestabilno. Još uvijek postoji pitanje hoće li ova trenutna kriza imati trajni strukturni utjecaj na globalno gospodarstvo ili uglavnom kratkoročne financijske i ekonomske posljedice. U oba slučaja očito je da zarazne bolesti poput koronavirusa mogu nanijeti ozbiljne ekonomske i financijske troškove regionalnim i globalnim gospodarstvima. Zbog velike međunarodne prometne povezanosti, globalizacije i ekonomske međuovisnosti, izuzetno je teško i skupo obuzdati virus, a pritom održati stabilno nacionalno gospodarstvo. Zato je nužno



međunarodno kolektivno djelovanje i globalno ulaganje u razvoj i distribuciju cjepiva, kao i uvođenje preventivnih mjera u cilju zaustavljanja širenja virusa kako bi što prije došlo do oporavka gospodarstva. Budući da postoji vjerojatnost epidemije novih sojeva virusa u bliskoj budućnosti, potrebne su proaktivne međunarodne mjere ne samo za spašavanje života već i za zaštitu ekonomskog prosperiteta.

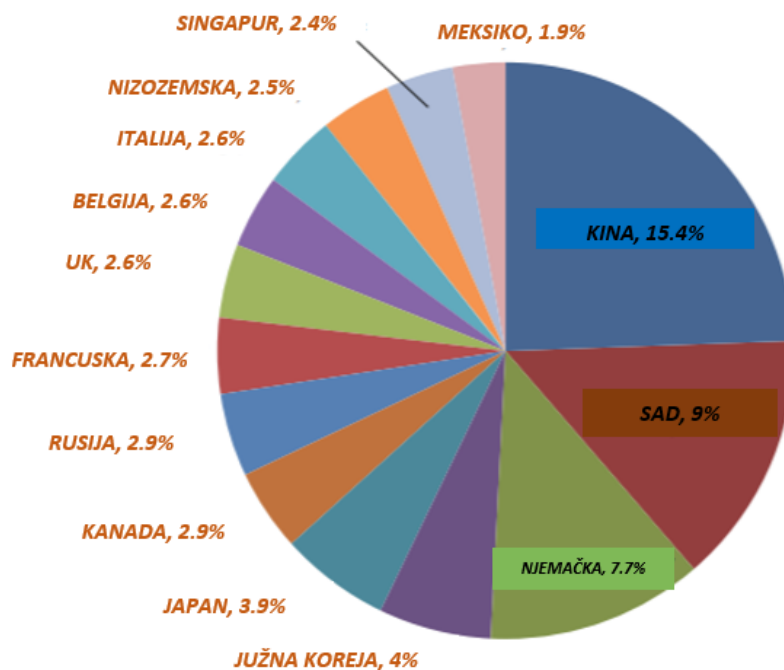
### **5.1. Utjecaj COVID-19 krize na industrijsku proizvodnju**

Postoje dvije faze utjecaja uzrokovanog izbijanjem i širenjem koronavirusa. U prvoj fazi, proizvodnja je bila prisiljena na zaustavljanje u Kini, što je uzrokovalo smanjenje opskrbe širom svijeta te kašnjenje isporuke sirovina i dijelova.

U drugoj fazi, ponuda i potražnja u proizvodnom lancu snažno su pogođeni širenjem virusa na globalnoj razini. Koronavirus je uzrokovao zaustavljanje pogona u velikim proizvođačkim industrijama diljem svijeta zbog ograničenja aktivnosti. Uslijed prekida proizvodnog lanca opskrbe sirovinama, materijalima i dijelovima industrijska proizvodnja trpi velike gubitke i zastoje. Mnoga mala i srednja poduzeća su pretrpjela najveće gubitke.

Globalni lanac opskrbe oblikovan je za mnoge proizvodne industrije s poduzećima koja su usko povezana jedna s drugim. Kina, SAD i Njemačka postale su regionalni proizvodni distributeri, za sjevernu Aziju, sjevernu Ameriku, odnosno Zapadnu Europu. U međuvremenu su Južna Koreja, Japan i Singapur važni članovi globalnog lanca zbog svoje geografske prednosti. Gore navedene zemlje imaju doprinos preko 40 % ukupnog izvoza poluproizvoda i proizvoda, kao što je prikazano na *slici 20*.

U kratkom vremenu, određeni broj poduzeća koja su duboko uključena u globalni lanac opskrbe će biti prisiljeni isključiti se zbog nedostatka sirovog materijala i rezervnih dijelova.



**Slika 20.** Prikaz udjela isporuke vodećih zemalja [35]

Kina je postala središte globalne proizvodnje i posjeduje zalihe najveće svjetske količine različitih materijala, a smanjenjem kineskog izvoza dolazi do negativnog utjecaja na poduzeća u drugim regijama što može dovesti do prekida opskrbe.

Zbog velikog broja malih i srednjih poduzeća izbijanje virusa je prouzročilo da razne tvrtke budu suočene s većim porastom rizika od bankrota. Mala i srednja poduzeća dobivaju teže dozvolu za nastavak proizvodnje. Stopa oporavka za mala i srednja poduzeća je manja od one za velike tvrtke zbog visokih standarda koje mnoga mala i srednja poduzeća ne mogu ispuniti. Isključenje pogona i smanjena proizvodnja utjecat će negativno na poslovanje i najvjerojatnije rezultirati bankrotom ovih poduzeća, prvenstveno zbog ograničene rezerve obrtnog kapitala.

Troškovi proizvodnje, održavanja i sl. porasli su uslijed kontinuiranog širenja pandemije. Cijene sirovina također su se povećale zbog ograničene ponude na gotovo svim područjima industrije. U međuvremenu, troškovi logistike porasli su zbog smanjene ponude i veće potražnje. Određen broj ljudi očekuje niže prihode u bliskoj budućnosti ili čak gubitak posla. Budućnost raznih tvrtki bit će se u skladu s tim smanjenjem. Nadalje, prihod od međunarodne trgovine također bi se smanjio zbog otkazivanja ili privremenog zaustavljanja mnogih narudžbi u vanjskoj trgovini. Veliki broj malih i srednjih poduzeća na rubu je bankrota zbog smanjenja naloga, povećanja troškova poslovanja i ograničene rezerve kapitala. Ako pandemija izmakne

kontroli, može se dogoditi sustavna financijska kriza. Stopa nezaposlenosti bit će veća ukoliko se dogodi bankrot malih i srednjih poduzeća [36].

U *tablici 2.* je prikaz utjecaja COVID-19 pandemije na potražnju i zalihi.

**Tablica 2.** Utjecaj COVID-19 pandemije na potražnju i zalihi [36]

| Industrija               | Proizvod   | Zaliha | Potražnja | Utjecaj                      |
|--------------------------|--|--------|-----------|------------------------------|
| ELEKTRONIKA              | Pametni telefoni   | ↓      | ⇓         | Smanjena potražnja           |
|                          | Osobna računala  | ↓      | ⇓         | Smanjena potražnja           |
| AUTOMOBILSKA             | Vozila na gorivo   | ⇓      | ⇓⇓        | Smanjena potražnja           |
|                          | Električna vozila  | ⇓      | ⇓⇓        | Smanjena potražnja           |
| POLUVODIČI               | Čipovi   | ⇓      | ↓         | Smanjena opskrba             |
|                          | Memorija   | ⇓      | ↓         | Smanjena opskrba             |
| ROBA ŠIROKE<br>POTROŠNJE | 1. Proizvodi za zaštitu od koronavirusa i hrana dugog vijeka trajanja- maske za lice, dezificijensi, smrznuta hrana itd. | ⇑      | ⇑⇑        | Smanjena opskrba             |
|                          | 2. Svakodnevne potrepštine za djecu ispod 2.godine   | ⇓      | ⇑⇑        | Smanjena opskrba             |
|                          | 3. Svakodnevne potrepštine za odrasle ljude  | ↑      | ↑         | Balansirana zaliha i opskrba |
|                          | 4. Ostalo (alkoholna pića, duhanski proizvodi, šminka itd.   | ↓      | ⇓         | Smanjena potražnja           |

Bilješka: ↑ znači povećana ↓ znači smanjena

## 6. UTJECAJ COVID-19 KRIZE NA KOMPOZITNU INDUSTRIJU

COVID-19 kriza je negativno utjecala na potražnju za kompozitima u raznim industrijama poput zrakoplovne, automobilske i vojne, građevini i infrastrukturi te proizvodnji raznih cijevi i spremnika. Prekid u opskrbnom lancu je rezultirao kašnjenjem ili nedolaskom sirovina, poremećaju financijskog toka i sve većem izostanku radnika u proizvodnim linijama, što je natjeralo proizvođače da rade s djelomičnim kapacitetom, a rezultiralo je smanjenjem proizvodnje i potražnje za kompozitima.

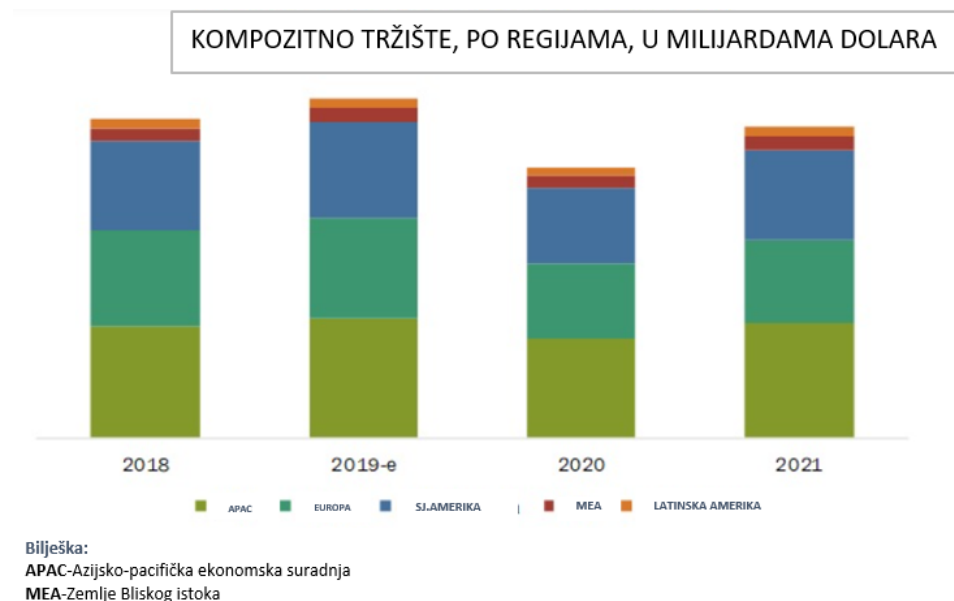
Automobilska i transportna industrija imaju najveći udio na tržištu kompozita. Ove industrije se obvezuju poštivati stroge propise kao što su Standardi prosječne ekonomične potrošnje goriva (engl. *Corporate Average Fuel Economy*, tj. CAFE) i Europski standardi emisija (engl. *European emission standards*, tj. EES) američkih i europskih vlada. Kako bi se smanjila emisija ugljičnog dioksida koji ima negativan utjecaj na okoliš, proizvođači u ovim industrijama usredotočeni su na proizvodnju laganih vozila upotrebom kompozitnih materijala kako bi udovoljili vladinim propisima i povećali učinkovitost goriva proizvedenih vozila.

Najčešće visoki troškovi proizvodnje i spori razvoj i dalje ograničavaju proboj kompozita na tržište. Glavni problemi leže u mogućnosti dizajna proizvoda, standardizaciji procesa i tehnologiji održavanja. Nemogućnost standardizacije kompozitnih materijala i metodologija procesa prisiljava proizvođače da se drže tradicionalnih materijala što usporava masovnu proizvodnju kompozitnih dijelova i bolje ekonomske performanse transportnih vozila. Uz to, nedostatak obučanih i iskusnih radnika ograničava šire primjene kompozita [37].

Zbog utjecaja krize po nekim predviđanjima procjenjuje se kako će globalno tržište kompozitnih proizvoda pasti s 90,6 milijardi dolara u 2019. na 82,9 milijardi dolara do kraja 2021. godine, uz negativnu složenu godišnja stopa rasta<sup>1</sup> (engl. *Compound annual growth rate* tj. CAGR) od 4,4 % u navedenom periodu. Nakon izlaska iz krize slijedi očekivani gospodarski oporavak koji će rezultirati povećanom potražnjom za promoviranjem energije vjetra u energetici, te razvojem u zrakoplovnoj, automobilskoj i ostaloj transportnoj industriji [38]. Na slici 21. je prikaz udjela kompozitne proizvodnje u raznim dijelovima svijeta kroz godine.

---

<sup>1</sup> Složena godišnja stopa rasta je mjera stope povrata za ulaganje – kao što je uzajamni fond ili obveznica – tijekom razdoblja ulaganja, najčešće u razmaku 3 do 5 godina



**Slika 21.** Prikaz udjela kompozitne proizvodnje u raznim dijelovima svijeta kroz godine [38]

Iako je izbijanje pandemije uvelike utjecalo na zrakoplovnu industriju, te rezultiralo podnošenjem zahtjeva za bankrotom mnogobrojnih aviokompanija, očekuje se da će tržište kompozita za dijelove zrakoplova porasti s 1,85 milijardi dolara u 2020. na 4,35 milijardi dolara do 2026. godine, bilježeći CAGR od 13,9 % tijekom predviđenog razdoblja. Također, pandemija je utjecala na promjene planova državnih vlada, koje su postale više usredotočene na poboljšanje zdravstvene infrastrukture, a smanjenje izdataka za neke druge industrije [39].

Jedne od glavnih sirovina koje se koriste za proizvodnju dijelova u transportnoj industriji su polimerne smole i ugljična vlakna. Trošak ugljičnih vlakana je tako proporcionalan trošku poliakrilonitrila (PAN) koji je sirovina iz kojih se vlakna dobivaju, a čiji su troškovi proizvodnje izrazito visoki. Ukoliko dođe do razvoja sirovine s nižim troškovima proizvodnje značajno će se smanjiti cijena kompozita od ugljičnih vlakana i tako povećati udio kompozita od ugljičnih vlakna u mnogobrojnim primjenama.

Kompoziti od staklenih vlakna također su dominantni na globalnom tržištu, jer su jeftini za proizvesti, a imaju vrhunska fizička i mehanička svojstva kao što su otpornost na koroziju, velika krutost i čvrstoća, te izdržljivost pri visokim temperaturama. Kompoziti od staklenih vlakana koriste se uglavnom u vjetroenergetskim postrojenjima, za proizvodnju cijevi i spremnika, električnoj i elektroničkoj opremi te građevini i infrastrukturi. Međutim, zbog COVID-19 krize, tržište staklenim vlaknima zabilježilo je pad potražnje. Ovo je tržište procijenjeno na 14.193,55 milijuna dolara u 2019. godini, a predviđa se da će vrijediti 19.837,62

milijuna dolara do 2027.godine, bilježeći CAGR od 4,3 % u ovom periodu. Međutim, sve veća upotreba ugljičnih vlakana i mineralne vune glavna su ograničenja za rast tržišta staklenih vlakna. Pandemija koronavirusa utjecala je na gospodarstvo i industriju u raznim zemljama zbog raznih ograničenja, zabrane putovanja i gašenja poslovanja. Očekuje se da će navedeni čimbenici negativno utjecati na industriju kemikalija i materijala i na taj način djelovati kao sputavajući faktor za rast tržišta staklenih vlakna [40].

Odnos čvrstoće i mase većine kompozita povoljniji je u odnosu na konvencionalne materijale poput čelika i aluminija, što ih čini sve konkurentnijim materijalima na tržištu. Propisi o zaštiti okoliša koji se odnose na emisijske standarde, posebno u Sjevernoj Americi, Europi i Kini, glavni su pokretački čimbenici uvođenja lakših i ekološki čišćih materijala. Zbog COVID-19 krize, proizvođači i dobavljači automobila širom svijeta bore se za nastavak proizvodnje nakon gašenja proizvodnih pogona diljem svijeta. S krizom, proizvođači automobila također se moraju nositi sa smanjenom dostupnosti kompozitnih materijala na tržištu, te većim troškovima nabave sirovina [37].

Uz to, usporavanje industrijske proizvodnje u prvoj polovici 2020. godine zaustavilo je proizvodnju komponenti i materijala, što je negativno utjecalo na opskrbni lanac povezan s proizvodnjom. Pretpostavlja se kako će se situacije stabilizirati nakon 2021. godine, ali očekuje se da će potražnja za kompozitnim dijelovima u bližoj budućnosti i dalje ostati niža od razine procijenjene prije izbijanja pandemije.

Znatan porast putničkog prometa i nametanje novih propisa o emisiji štetnih plinova doveli su do značajnog povećanja potražnje za kupnjom zrakoplova i automobila nove generacije tijekom posljednjeg desetljeća. Proizvođači dijelova za zrakoplovnu industriju tako razvijaju nove modele zrakoplova u komercijalnom i vojnom sektoru, koji zahtijevaju motore novije generacije s boljim performansama i manjom težinom, što omogućava sve veći udio kompozitnih materijala na tržište. Budući da veliki proizvođači ističu razvoj vlastitih pogona za razvoj kompozitnih materijala, očekuje se smanjenje ovisnosti o vanjskim dobavljačima u narednim godinama, što može pogodovati rastu nacionalnog gospodarstva, kao jednom od ciljeva održivog razvoja.

## 7. PROGRAM ODRŽIVOG RAZVOJA UN-a

### 7.1. Pojam održivog razvoja

Održivi razvoj je jedna od strategija neprekidnog gospodarskog i socijalnog napretka, sa što manjim negativnim utjecajem na okoliš. Pojam održivog razvoja se zapravo oslanja na ideji u kojoj bi se uz što manje iskorištavanje neobnovljivih izvora energije i smanjenjem zagađenja okoliša osigurala budućnost dolazećim i postojećim naraštajima. Osnovni cilj osigurati održivo korištenje prirodnih izvora na nacionalnoj i međunarodnoj razini [41]. Održivi razvoj se zato zasniva na 3 temeljne sastavnice: gospodarska učinkovitost, društvena odgovornost i zaštita okoliša.

Kao što je prikazano na *slici 23*, društveno-okolišna ravnoteža treba biti opće prihvatljiva za sve i uključuje razumijevanje društva o problemima zagađenja okoliša, dok gospodarsko-okolišna ravnoteža se odnosi na očuvanje prirodnih resursa uz poticanje ekonomskog rasta, a gospodarsko-društvena na ravnotežu između razvoja društva i poduzeća unutar zajednice [41].



*Slika 22.* Prikaz gospodarsko-društvene ravnoteže [41]

## 7.2. UN-ov Program održivog razvoja do 2030.

U globalu skup globalnih ciljeva održivog razvoja skup globalnih ciljeva održivog razvoja (engl. *Sustainable Development Goals*) obuhvaća 17 ciljeva [42]. Na slici 23. su prikazani svi ciljevi s kratkim opisom.

Neki se ciljevi razvoja temelje na prethodnim dok drugi uključuju nove ideje. Ujedinjeni Narodi su glavni zagovornici Održivog razvoja, te daju smjernice za provedbu istog. 2015. godine su prezentirali dokument Agenda 2030, i gore navedenih 17 globalnih ciljeva, u planu ostvarenja do 2030. godine. Tako je prema UN-u, opći cilj održivog razvoja dugoročna stabilnost gospodarstva i okoliša. Za postići to potrebno je osvijestiti postojeće gospodarske, ekološke i socijalne probleme. Za temu ovog diplomskog rada, posebno su zanimljivi ciljevi 7,8,9,11 i 12 o kojima će biti više govora u nastavku.



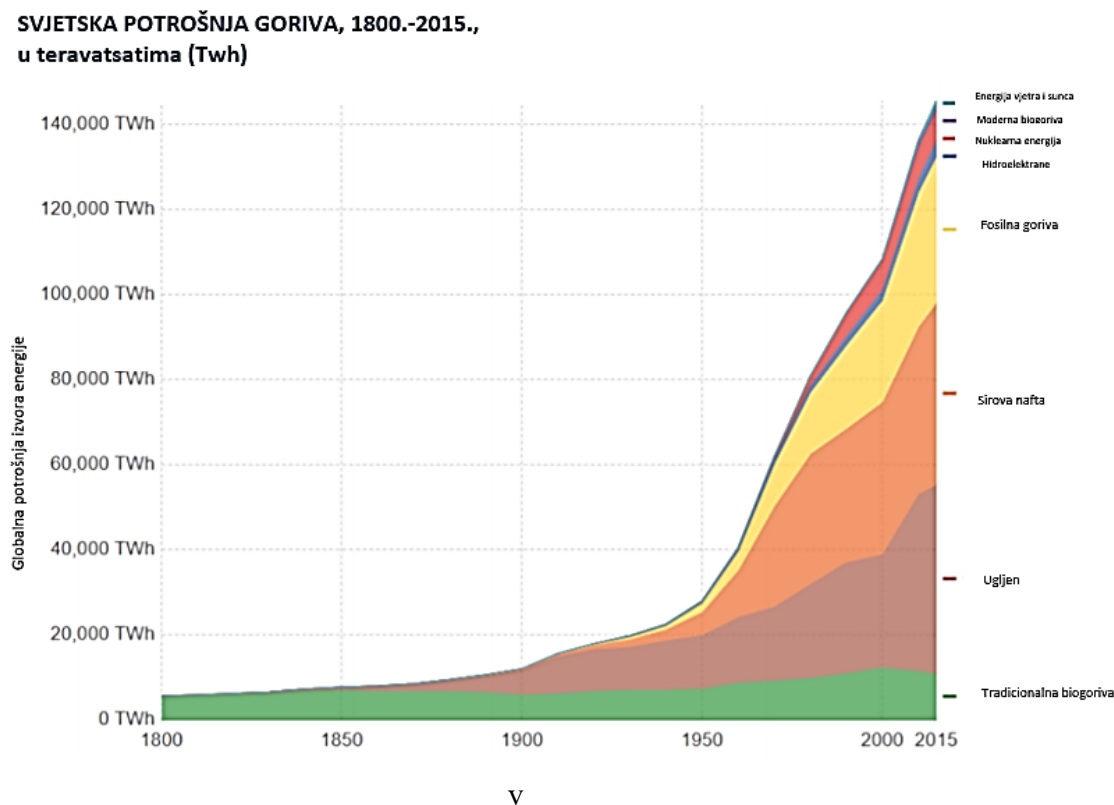
**Slika 23.** Ciljevi održivog razvoja s kratkim opisom [43]

### 7.2.1. Cilj 7- Osigurati pristup pouzdanoj, održivoj i suvremenoj energiji

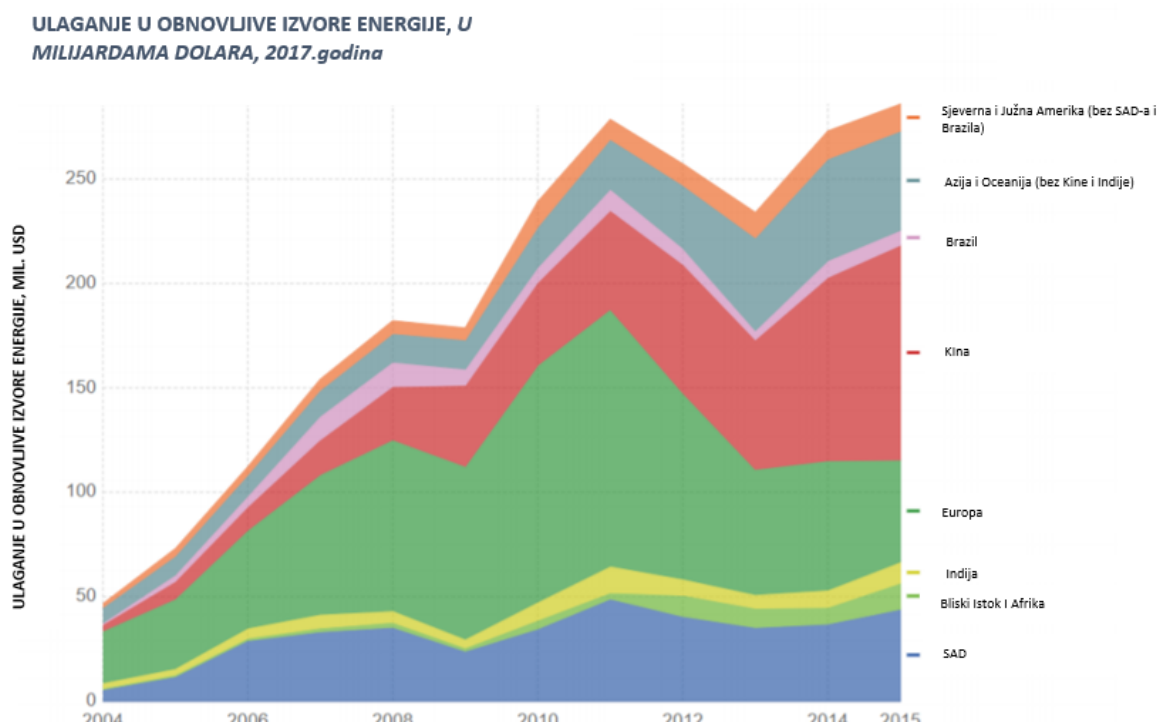
Ciljem 7 želi se do 2030. godine na globalnoj razini osigurati pristup održivoj i suvremenoj energiji po prihvatljivim cijenama, te povećati udio obnovljive energije. Također se radi na poboljšanju energetske učinkovitosti, te međunarodnoj suradnji gdje bi se omogućio pristup istraživanju mogućnostima čišće energije uključujući; obnovljivu energiju, energetska učinkovitost, te naprednu i čišću tehnologiju fosilnih goriva, kao i promicanje investicija u



energetsku infrastrukturu i tehnologiju čiste energije. Time se želi proširiti infrastruktura i unaprijediti tehnologija opskrbe modernim energetskim uslugama, posebice u zemljama u razvoju i niskorazvijenim zemljama. Na slici 24. je prikazana globalna potrošnja primarnih izvora energije tijekom godina. Iz slike je vidljivo kako se sredinom prošlog stoljeća dogodio nagli trend porasta korištenja obnovljivih izvora energije. Na slici 25. je prikaz ulaganja u obnovljive izvore energije tijekom godina po regijama.



**Slika 24.** Prikaz globalne potrošnje primarnih izvora energije tijekom godina [44]



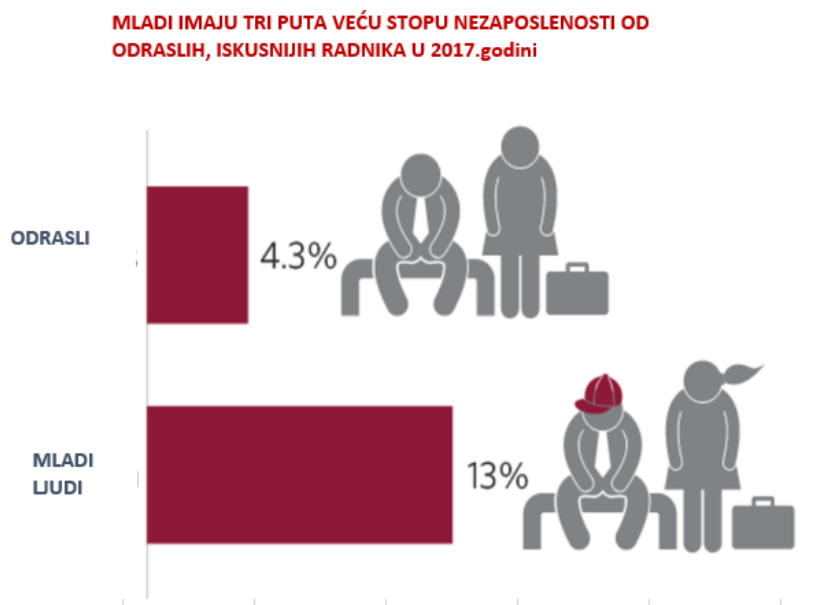
**Slika 25.** Prikaz ulaganja u obnovljive izvore energije tijekom godina po regijama. [44]

### 7.2.2. *Cilj 8- Promicati kontinuiran, uključiv i održiv gospodarski rast, punu i produktivnu zaposlenost i dostojanstveni rad za sve*

Cilj 8 usmjeren je na ekonomski rast i razvoj, punu i produktivnu zaposlenost i otvaranje radnih mjesta za sve, gdje bi rezultat bio poboljšanje životnog standarda. I prije izbijanja COVID-19 krize, milijarde ljudi nisu imali uvjete za dostojanstveni život, a tijekom krize prihodi po glavi stanovnika su se znatno snizili. Sada, ekonomski i financijski krahanje se povezuju s COVID-19 pandemijom. Tako npr. industrijska proizvodnja se smanjila, cijene sirovina vrtoglavo variraju što na kraju utječe na tržišne cijene i ljudske živote. Nedostatak ponude poslova, ulaganja i smanjena potrošnja dovela je do pada kvalitete života. Ulaganjem u obrazovanje mladih, usmjeravanje njihovog znanja prema zahtjevima tržišta rada, pružanje socijalne zaštite, zapošljavanje bez obzira na spol i sl. vodi prema izgradnji održivog gospodarskog rasta i promicanju ekonomskog rasta. Na slici 26. je prikazana situacija 2017. godine gdje se može uočiti kako mladi dobivaju mnogo manje prilika za zaposlenjem od starijih iskusnijih radnika.

Postupno do 2030. godine je cilj poboljšati učinkovitost iskorištavanja globalnih resursa s nastojanjem promicanja razvoja prema obnovljivim izvorima energije s čime se želi postići zapošljavanje i pristojan život za sve, te jednaka plaću bez obzira na spol i rasu.

Također iskorjenjivanje prisilnog rada, trgovine ljudima i dječjeg rada dio je ovog cilja.



**Slika 26.** Prikaz razlike nezaposlenosti mladih ljudi u usporedbi s iskusnijim radnicima [45]

### 7.2.3. *Cilj 9-Izgraditi prilagodljivu infrastrukturu, promicati uključivu i održivu industrijalizaciju i poticati inovativnost*

Ekonomski rast i socijalni razvoj uvelike ovise o ulaganjima u infrastrukturu, industrijalizaciji, gospodarskom i tehnološkom napretku, te se ciljem 9 to želi ostvariti putem poboljšane međunarodne i domaće ekonomske, tehnološke i tehničke podrške, te povećanjem pristupa informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji. Prije izbijanja COVID-19 krize, samo 54 % populacije je imalo pristup internetu. 2019. godine tako 87 % pristupa internetu imaju visoko razvijene zemlje u usporedbi s 19 % pristupa kod nisko razvijenih zemlja.

industrijalizacija potiče ekonomski rast i otvaranje novih radnih mjesta, čime se smanjuje nejednakost prihoda, no pad proizvodnje uzrokovan pandemijom ostavio je ozbiljne utjecaje na globalnu ekonomiju.

Zrakoplovna industrija je možda doživjela i najveći krah u svojoj povijesti s čak 51 % manje prometa, kao posljedica globalnog zaključavanja. Osnovna infrastruktura; uključujući ceste,

komunikacijske tehnologije, sanitarije, struju, vodoopskrba i sl. su još mnogo neriješena pitanja manje razvijenih zemlja, te ulaganjima u infrastrukturu može se postići povećanje bruto nacionalnog dohotka i bolji život za sve [46]. Na slici 27. je prikaz problematike koja se želi riješiti ciljem 9.

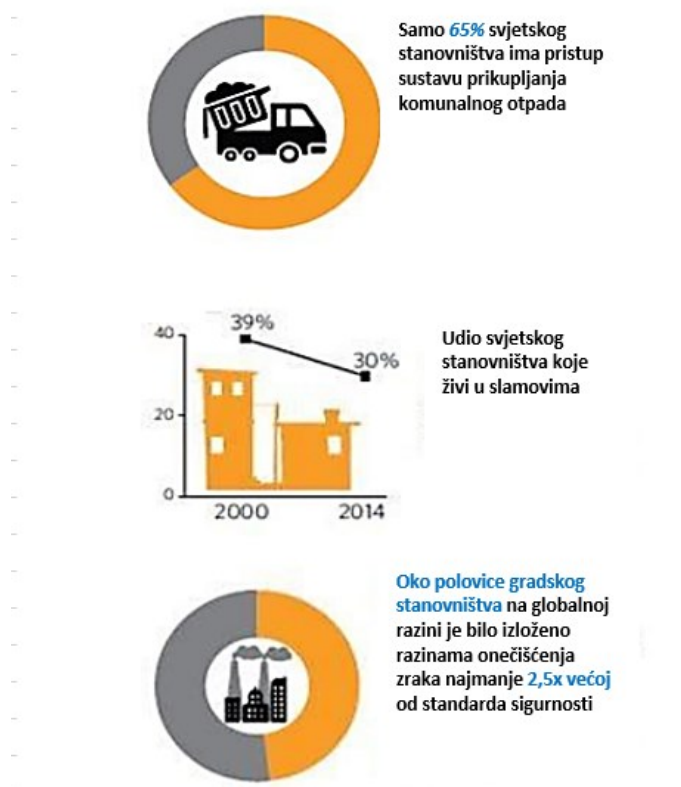


**Slika 27.** Prikaz cilja 9 s kratkim opisom [47]

#### 7.2.4. Cilj 11- Učiniti gradove i naselja uključivim, sigurnim, prilagodljivim i održivim

Preko 90 % COVID-19 uzrokovanih slučajeva zaraze se događa u gusto naseljenim sirotinjskim četvrtima. Čak i prije pandemije, brza urbanizacija značila je povećanje populacije, a slabo razvijeni gradovi su se suočili s pogoršanim onečišćenjem zraka, neadekvatnom infrastrukturom i neplaniranim urbanim širenjem. Nejednakost potrošnje energije i smanjenje kvalitete zraka su neki od izazova UN-ovog programa. Iako gradovi zauzimaju samo 3 % kopna, izazivaju 75 % emisije ugljika. Mnogi gradovi su osjetljiviji na klimatske promjene zbog

visoke koncentracije ljudi, pa je prilagodba nužno potrebna. Nejednakost može dovesti do nemira i nesigurnosti, a zagađenje direktno utječe na zdravlje čovjeka, te na njegovu produktivnost što na kraju se aplicira na gospodarstvo. Posljedica loše organizirane urbanizacije se vidi u visoko koncentriranim, većinom, sirotinjskim četvrtima, visoko koncentriranom prometu, što na kraju rezultira učinkom staklenika. Odabirom održivog razvoja gradovi bi se razvijali u smjeru gdje svi građani imaju priliku za dostojni život i gdje se stvara zajednički prosperitet i socijalna stabilnost bez štete za okoliš. Od svibnja 2020. se još intenzivnije radi na tome kako bi se prevenirao ovako snažan utjecaj moguće sljedeće pandemije. Sanacija sirotinjskih četvrti, pristupačnije cijene stanovanja i osnovnih usluga, održivi sustavi prijevoza, poboljšanje cestovnog prometa, te širenje javnog prijevoza su samo neki od ciljeva do 2030. godine. Smanjenje utjecaja gradova na kvalitetu okoliša, te gospodarenje otpadom na lokalnoj razini je krajnji cilj. Na slici 28. su prikazani kratki podaci koji se ciljem 11 žele poboljšati [46], [48].



Slika 28. Prikaz cilja 11 s kratkim opisom [49]

### 7.2.5. Cilj 12- Osigurati održive oblike potrošnje i proizvodnje

Izrazito brzi ekonomski i socijalni napredak tijekom prošlog stoljeća je usko vezan s pojmom zagađenja okoliša, a naši daljnji postupci utječu na budući razvoj i sam opstanak ljudske vrste. Smanjenjem korištenja neobnovljivih prirodnih resursa, otrovnih materijala i onečišćujućih tvari tijekom procesa proizvodnje i potrošnje su glavne ideje ovoj cilja.

COVID-19 kriza dodatno je potaknula potrebu za kretanjem u nekim novim smjerovima potrošnje i proizvodnje prema održivijem smjeru razvoja. Takav način bi znatno promijenio smjer iskorištavanja prirodnih resursa i kretanje prema razmatranju cjelokupnog životnog ciklusa gospodarskih djelatnosti. Mnoge tako jednostavne promjene mogu utjecati na razvoj društva. Na primjer, globalni ekološki otisak, koji je pokazatelj ljudskog utjecaja na prirodne resurse, porastao je za 17,4 % 2017. u odnosu na 2010. godinu [46], [48]. Na slici 29. je prikaz kratkog opisa cilja 12.



**Slika 29.** Prikaz cilja 12 s kratkim opisom [50]

## 8. KOMPOZITNA INDUSTRIJA I ODŽIVI RAZVOJ

Upotreba kompozita u održivom razvoju igrat će sve bitniju ulogu kroz proizvodnju struktura koje omogućavaju iskorištavanje održivih izvora energije.

Parametri kao što su smanjena težina i veća nosivost u usporedbi s metalnim konstrukcijama, manji transportni troškovi i niži troškovi održavanja tijekom životnog vijeka konstrukcije već pozicioniraju kompozite kao materijale budućnosti koji osiguravaju ekonomičnija rješenja za projekte velikih razmjera. U *tablici 3.* su prikazane moguće uštede na težini raznih laganih materijala u usporedbi s kompozitnim.

**Tablica 3.** Prikaz moguće uštede na težini raznih laganih materijala u usporedbi s kompozitnim [51]

| <i>MATERIJAL</i>                      | <i>GUSTOĆA</i><br>(g/m <sup>3</sup> ) | <i>YOUNGOV</i><br><i>MODUL</i><br>(GPa) | <i>ČVRSTOĆA</i><br>(MPa) | <i>UŠTEDA MASE</i><br>(% u odnosu na niskougljični čelik) |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------|---|---------------------------------------|
|                                       |                                       |   |                          | <i>UPORABLJIVA</i><br><i>KRUTOST</i>                      | <i>UPORABLJIVA</i><br><i>ČVRSTOĆA</i> |
| <i>NISKOUGLJIČNI ČELIK</i>            | 7,9                                   | 205                                     | 350                      | 0 %   | 0 %                                   |
| <i>KONSTRUKCIJSKI</i><br><i>ČELIK</i> | 7,9                                   | 205                                     | 205                      | 0 %   | 24-42 %                               |
| <i>ALUMINIJ</i>                       | 2,7                                   | 72                                      | 72                       | 3-52 %  | 37- 54 %                              |
| <i>MAGNEZIJ</i>                       | 1,8                                   | 45                                      | 45                       | 51-62 %   | 43- 64 %                              |
| <i>STAKLENA VLAKNA</i>                | 2,0                                   | 25                                      | 25                       | 28- 49 %  | 71-73 %                               |
| <i>UGLJIČNA VLAKNA</i>                | 1,6                                   | 80                                      | 80                       | 48- 72 %  | 90- 95 %                              |

Lagani kompozitni materijali visoke čvrstoće i velike krutosti identificirani su kao ključni u tehnologiji proizvodnje čiste energije. Kako bi uopće došlo do toga, potrebne su napredne proizvodne tehnologije koje će omogućiti proizvodnju kompozitnih materijala po tržišno konkurentnim cijenama. U *tablici 4.* je prikazana cijena proizvodnje po kilogramu različitih materijala u usporedbi s ugljičnim i staklenim vlaknima na američkom tržištu.

**Tablica 4.** Prikaz cijene proizvodnje po kilogramu različitih materijala u usporedbi s ugljičnim i staklenim vlaknima na američkom tržištu [52]

|                                    | GFRP | CFRP | ČELIK | ALUMINIJ | MAGNEZIJ | TITANIJ |
|------------------------------------|------|------|-------|----------|----------|---------|
| TROŠAK<br>PROIZVODNJE<br>(\$/kg)   | 2,5  | 27   | 0,47  | 2        | 3,31     | 9       |
| SPECIFIČNA<br>ČVRSTOĆA<br>(kNm/kg) | 150  | 400  | 38    | 130      | 158      | 120     |
| GUSTOĆA<br>(kg/m <sup>3</sup> )    | 1800 | 1590 | 7870  | 2700     | 1800     | 4500    |

Potencijalna ušteda energije i smanjenje emisije štetnih plinova poput ugljika događa se u najvećoj mjeri u fazi upotrebe proizvoda, a neki od primjera uštede proizlaze iz mogućnosti uštede goriva u vozilima male mase, proizvodnji vjetroturbina, spremnika za komprimirani prirodni plin i vodiku kao alternativni gorivu dobivenom iz nafte.

Upotrebom dijelova od kompozitnih materijala može se podržati smanjenje troškova upotrebom energije iz vjetra i drugih potencijalnih obnovljivih izvora (geotermalni, solarni) koji pomažu smjeru kretanja prema udvostručenju proizvodnje obnovljive energije do 2030. godine [53].

Povećana upotreba kompozita u prijevoznim sredstvima može podržati nacionalne ciljeve za poboljšanje energetske učinkovitosti smanjenjem težine i povećanjem učinkovitosti vozila te pomažući u razvijanju mogućnosti upotrebe novih izvora goriva, kao što je vodik.

Da bi se postigli ovi ciljevi, potreban je sljedeći napredak u tehnologiji proizvodnje kompozita [53]:

1. Smanjiti upotrebu energije u životnom ciklusu proizvoda i povezan utjecaj stakleničkih plinova
2. Smanjiti proizvodne troškove gotovih kompozita od ugljičnih vlakana za ciljenu primjenu do 50% tijekom deset godina



3. Smanjiti utjelovljenu energiju<sup>2</sup> i povezane emisije stakleničkih plinova ugljičnih vlakana za 75 % u deset godina
4. Poboljšati mogućnost recikliranja kompozita u deset godina poboljšanjem proizvodnih postupaka i izradom proizvoda ekonomičnog dizajna s mogućnosti ponovne upotrebe.

Procjenom životnog ciklusa raznim istraživanjima se došlo do zaključka kako [54] :

1. Kompozitni materijali imaju znatno nižu utjelovljenu energiju od tradicionalnih materijala. To je uvelike zbog toga što tradicionalni materijali zahtijevaju relativno visoke količine energije tijekom procesa ekstrakcije, prerade i na kraju proizvodnje.
2. Većina kompozitnih proizvoda ima više utjelovljene energije od tradicionalnih proizvoda tijekom faze proizvodnog procesa.
3. U fazi upotrebe kompozitni proizvodi imaju znatno bolje rezultate od tradicionalnih proizvoda zbog svojih laganih i antikorozivnih svojstva, što je korisno u prijevoznj industriji prvenstveno zbog uštede goriva.
4. Unatoč mnogim prednostima, kompoziti imaju nedostatak što se na kraju životnog vijeka proizvoda trenutno se gotovo 100 % odlažu na odlagališta otpada, dok se tradicionalni proizvodi poput čelika i aluminijsa recikliraju u velikim razmjerima (između 65 i 70 %).

Gore navedenim istraživanjima je utvrđeno kako kompozitni proizvodi imaju bolje rezultate od tradicionalnih.

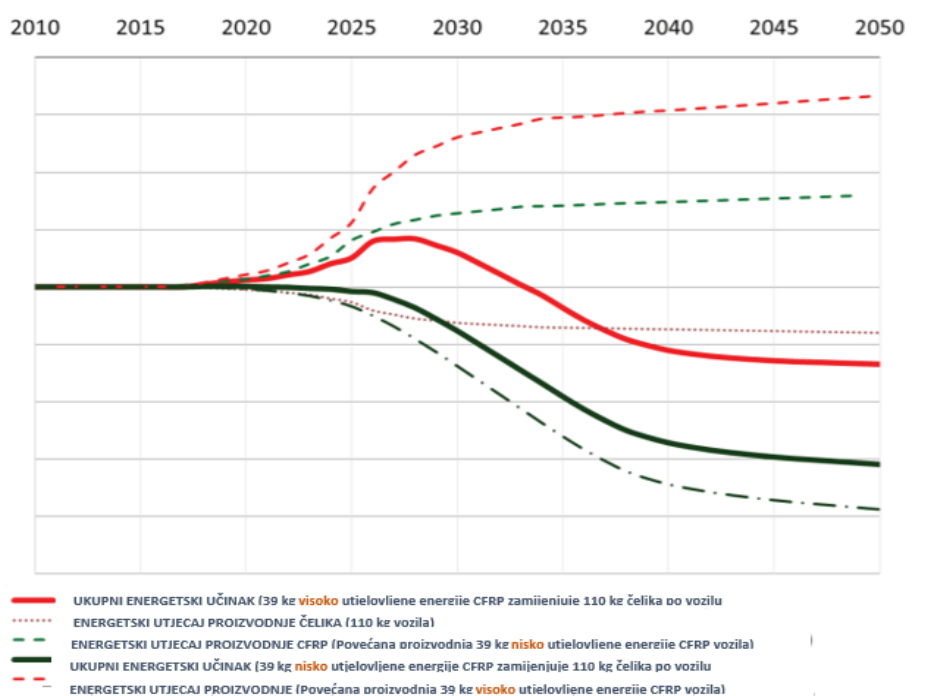
Njihove izvanredne karakteristike poput velike čvrstoće i male gustoće pokazuju budućnost održivog razvoja. Energetska učinkovitost tijekom proizvodnje, ugradnje, uporabe i održavanja se može dalje istraživati kako bi se poboljšale njihove ekološke performanse, a to se može postići raznim mjerenjem i praćenjem potrošnje energije tijekom rada sustava proizvedenog od kompozitnih dijelova. Nakon toga se može izvršiti procjena životnog ciklusa kako bi se poboljšalo njihovo izvođenje. Poboljšanje mogućnosti recikliranja kompozitnih proizvoda predstavlja izazov u industriji kompozita. To neće samo pomoći u poboljšanju utjelovljene

---

<sup>2</sup> Energija koja uključuje energiju koja se koristi za vađenje i preradu sirovina, proizvodnju građevinskog materijala, transport i distribuciju te montažu i izgradnju. Smatra se da je ta energija ugrađena ili 'utjelovljena' u sam proizvod. Jedna od temeljnih svrha mjerenja ove količine je usporedba količine energije koju proizvod uštedi s količinom energije koja se troši za njegovu proizvodnju.

energetske učinkovitosti sustava, već i povećati njihovu konkurentnost na međunarodnom tržištu.

Također ispuštanje ispušnih plinova u atmosferu povezano sa zrakoplovom industrijom drugo je najvažnije pitanje zaštite okoliša nakon cestovnog prijevoza. Istraživanja pokazuju kako je zrakoplovna industrija, prema rezultatima iz 1992. godine, bila odgovorna za 2 % ukupne antropogene emisije ugljika i 3,5 % ukupnog globalnog zatopljenja. Globalna emisije uzrokovane zrakoplovnom industrijom porasle su približno 45 % između 1995. i 2005. godine. To odgovara 4,9 % ukupnog antropogenog zračenja. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva predviđa kako će se emisije povećati za 150 % iznad razine u razmaku od 2006. do 2036. i učtverostručiti do 2050. godine. Nagli rast zračnog prometa (u prosjeku 5 % godišnje) i povećanje svijesti o ekološkim problemima povezanim sa zrakoplovnom industrijom je naveo proizvođače zrakoplova da traže alternativne lagane materijale poput polimera ojačanih karbonskim vlaknima (CFRP) [55]. Na slici 30. je prikaz procjene neto godišnjeg utjecaja energetskeg životnog ciklusa zamjenom konvencionalnih čeličnih dijelova s polimerima ojačanih karbonskim vlaknima.



**Slika 30.** Prikaz procjene neto godišnjeg utjecaja energetskeg životnog ciklusa zamjenom 110 kg konvencionalnih čeličnih dijelova s 39 kg CFRP dijelova, uspoređujući dva proizvodna puta (konvencionalni CFRP na bazi PAN-a i alternativni, niskoenergetski CFRP)

[56]

### **8.1. Održivi razvoj i biokompoziti**

Budući da prirodna vlakna imaju brojne prednosti, industrija polagano započinje prelazak na nove materijale, poput zelenih kompozita<sup>3</sup>, čija svojstva ispunjavanju kriterije poput smanjenja težine konstrukcije, ekološke probleme i konačno zadovoljstvo kupaca. Međutim, prelazak na korištenje biokompozita i prirodnih vlakna ima mnogo izazova. Nedovoljna dostupnost podataka o izvedbi biokompozita zbog velike raznolikosti njihovih svojstva najizazovnije je prepreka u ostvarivanju željenih rezultata, pa je tako neusklađenost svojstva glavni nedostatak prirodnih vlakna.

Nedavno su zeleni kompoziti postali jedna od najznačajnijih tema istraživanja širom svijeta. Njihov značaj otkriven je iz nekoliko razloga kao što su visoke performanse u mehaničkim svojstvima, mnoge prednosti obrade, niska cijena i mala težina, dostupnost i recikličnost, niske cijene izrade i ekološka prihvatljivost i razgradljivost [57].

Kompoziti sastavljeni od prirodnih vlakana stvorit će novu klasu materijala koji imaju potencijal u budućnosti kao zamjena za konvencionalne materijale u mnogim primjenama

Materijali na bazi drveta također pokazuju veliki potencijal, jer različite stanice biljnih vlakana su povezane ligninom, koji povezuje celulozna vlakna u vrlo čvrstu izvanstraničnu strukturu, djelujući kao cementni materijal. Celulozna vlakna su tako ugrađena u ligninsku matricu gdje pokazuju visoku električnu otpornost. Kombinacijom svojstva celuloznih vlakna u niskomodularnu polimernu matricu moguće je stvoriti materijale s boljim svojstvima prikladnim za različite primjene [58], [59].

Biokompozitni materijali prihvaćeni su u različitim primjenama. Međutim, njihova implementacija kao alternativa konvencionalnim materijalima relativno je spora zbog ograničenja i prepreka u razvoju u usporedbi s tradicionalnim materijalima. Odgovarajuće teorije i metodologije moraju se ispitati kako bi se upotreba biokompozita unaprijedila na širu industrijsku primjenu.

Općenito, biokompoziti obuhvaćaju kompozitne materijale izrađene od kombinacije [58]:

1. Biopolimeri ojačani prirodnim vlaknima koja su nerazgrađiva (npr. polietilen, polipropilen, poliester itd.)
2. Biopolimeri ojačani prirodnim vlaknima koja su razgrađiva (npr. soja, škrob, celuloza)

---

<sup>3</sup> Zeleni kompoziti klasificirani su kao biokompoziti u kombinaciji prirodnih vlakana s biorazgrađivom smolom

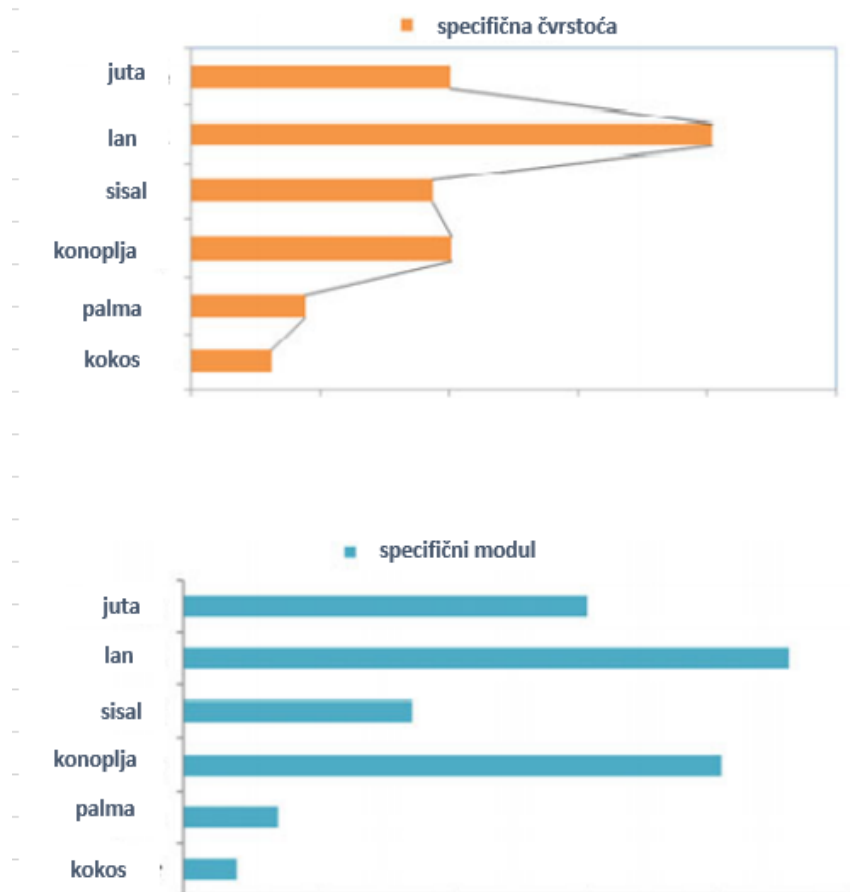
### 3. Biopolimeri na bazi fosilnih goriva (npr. alifatski kopoliester, polieterimid)

Kao što se iz podjele može uočiti jedino su biopolimeri ojačani prirodnim vlaknima, tj. zeleni biokompoziti ekološki najprihvatljiviji. Također biokompoziti koji koriste vlakna i matrica iz obnovljivih izvora se nazivaju potpuno biorazgradivim zelenim kompozitima. Oni imaju najmanji utjecaj na okoliš. S rastom ekološki osvještenijeg društva i industrija kompozitnih materijala počinje prilagođavati vlastitu proizvodnju na materijale i proizvode koji su ekološki prihvatljivi. Takvi ekološki prihvatljivi i održivi proizvodi mogu se ostvariti samo razmatranjem cjelokupnog životnog ciklusa proizvoda; od vađenja sirovine do odlaganja. Naime, industrija je kontinuirano izazivana na prihvaćanje održivije proizvodnje pod utjecajem pritisaka vlade, potrošača i medija. Novi stroži zakoni o zaštiti okoliša, pokrenuti Programom održivog razvoja u velikoj razini se odnose na industriju polimera, što je pokrenulo inovacije i sve češće korištenje materijala od biopolimera, čija se tržišna vrijednost neprekidno povećava. Rast komercijalizacije biorazgradivih ambalažnih materijala, najčešće na bazi škroba, utječe na nekoliko čimbenika, kao što su veća ekološka svijest, smanjenje petrokemijskih resursa, vladini zakoni, usvajanje nove politike tvrtke te napredak na odgovarajuću moderniju tehnologiju.

Kao što je već spomenuto neusklađenost svojstava prirodnih vlakana glavni je nedostatak koji ograničava njihova primjena u industriji kompozita. Svojstva prirodnih vlakna se mogu razlikovati ovisno o [60]:

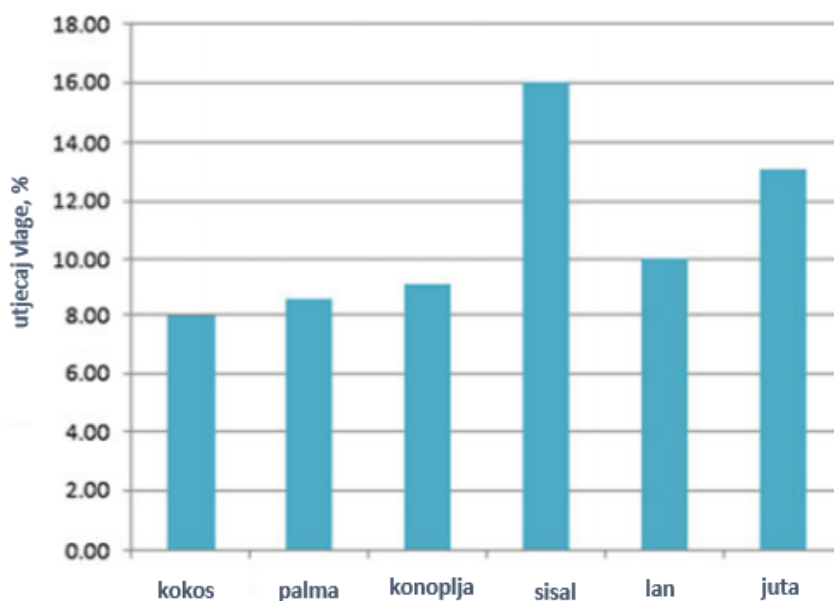
1. kiši i tlu gdje biljka sazrijeva
2. zrelost biljke
3. dio biljke iz kojega se izdvajaju vlakna
4. metoda žetve i obrade vlakana.

Usporedba između raznih specifičnih čvrstoća za različite vrste prirodnih vlakana prikazane su na *slici 31a*, a ilustrirane su i različite vrste prirodnih vlakana i njihovi specifični moduli elastičnosti na *slici 31b*.



**Slika 31.** a) Usporedba između raznih specifičnih čvrstoća za različite vrste prirodnih vlakna,  
 b) Različite vrste prirodnih vlakana i njihovi specifični moduli elastičnosti [61]

Na taj način varijacije u fizikalnim svojstvima utječu na varijacije u mehaničkim svojstvima. Ideja miješanja vlakana iz različitih žetvi ili dijelova pojedinih biljki dovodi do mogućeg rješenja problema. Još jedan nedostatak prirodnih vlakana je velika osjetljivost na vlagu koja postavlja veliki izazov za korištenje ovih materijala u pakiranju i dugotrajnom skladištenju proizvoda [59]. Hidrofilna svojstva prirodnih vlakana dovodi do njihove niske mikrobne rezistencije i osjetljivosti na truljenje. Prirodna vlakna upijaju vodu iz okolnog okoliša. To uzrokuje bubrenje vlakna i dimenzijsku nestabilnost, što na kraju mijenja mehanička i fizikalna svojstva kompozita. Međutim, površinska obrada može biti korisna u smanjenju osjetljivosti na vodu prirodnih vlakana [62]. Prosječne vrijednosti sadržaja vlage za različita prirodna vlakna prikazani su na slici 32.



**Slika 32.** Prosječne vrijednosti sadržaja vlage za različita prirodna vlakna [59]

Unatoč svim nedostacima biokompozitni materijali imaju sve veću primjenu za razne dijelove, gdje se najčešće staklena vlakna zamjenjuju biljnim u industrijama poput prehrambene (boce, spremnici, šalice, posuđe za jednokratnu upotrebu i razne ambalaže), medicinskoj primjeni (jednokratna oprema i alati), za komponente u osobnim vozilima (ploče vrata, ladice za skladištenje, nasloni sjedala, obloge prtljažnika itd.), te su općenito sve češće zamjena za kompozite od sintetičkih vlakana za raznolike primjene poput igračaka, brodskih ograda, kućišta za elektroniku i uređaja poput prijenosnih računala i mobilnih telefona i sl.

Upravo upotreba ovih materijala može biti budućnost u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja, te bez obzira na postojeću COVID-19 krizu, industrija kompozitnih materijala kontinuirano raste, te je s njezinim napretkom i razvijanjem novih materijala moguće postići povećanu zaposlenost, uključiv i održivi gospodarski rast, inovativnost, održivu industrijalizaciju itd.

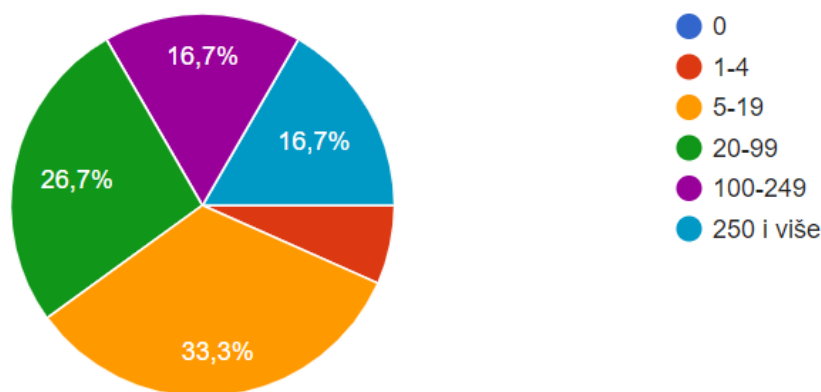
## 9. ANKETA UTJECAJA COVID-19 KRIZE NA KOMPOZITNU INDUSTRIJU U HRVATSKOJ

U sklopu diplomskog rada provedena je kratka anketa utjecaja COVID-19 krize na kompozitnu industriju u Hrvatskoj. U anonimnoj anketi je sudjelovalo 30 ispitanika koji rade u različitim tvrtkama u državi, a bave se proizvodnjom kompozitnih materijala (vlakna i matrice) ili isporukom proizvoda od kompozitnih materijala. Rezultati ankete se nalaze u nastavku.

### 9.2. Istraživanje utjecaja Covid-19 krize na kompozitnu industriju u Hrvatskoj

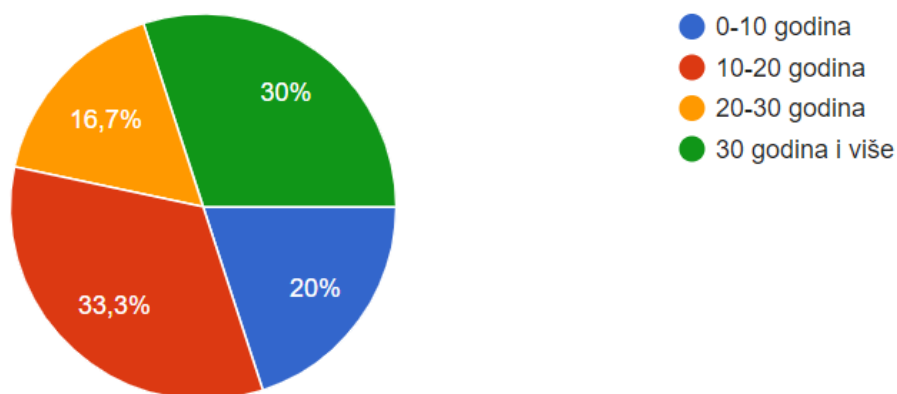
Prvi korak u istraživanju odnosio se na prikupljanje osnovnih informacija o tvrtkama zaposlenika koji su sudjelovali u istraživanju. Postavljena su 3 osnovna pitanja u cilju razumijevanja daljnjih rezultata.

Rezultati pitanja 1. koje glasi „Koliko stalno zaposlenih ima tvrtka u kojoj radite?“ su prikazani na slici 33. Iz rezultata je vidljivo kako 60 % ispitanih tvrtki ima između 5 i 99 zaposlenih što znači da se radi o manjim poduzećima.



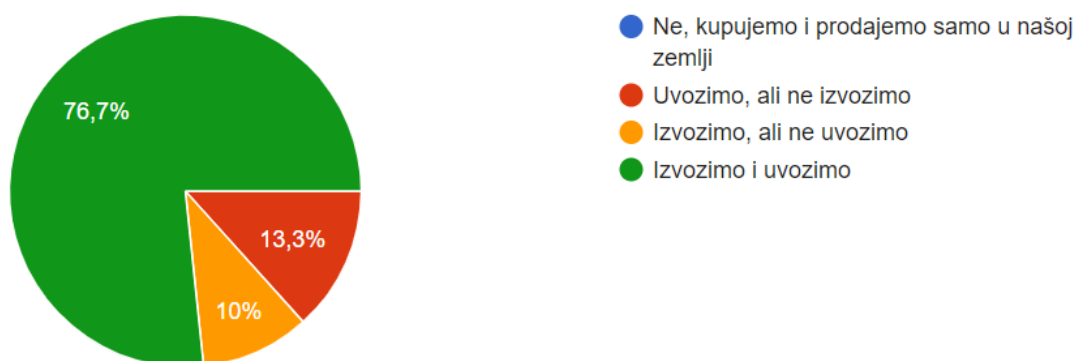
**Slika 33.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko stalno zaposlenih ima tvrtka u kojoj radite“

Pitanje 2. glasi „Koliko dugo tvrtka u kojoj radite posluje na tržištu?“, a odgovori su prikazani na slici 34. Iz rezultata je vidljivo kako većina ispitanih tvrtki posluje preko 10 godina na tržištu, što ukazuje na već uhodan posao.



**Slika 34.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko dugo tvrtka u kojoj radite posluje na tržištu?“

Pitanje 3. se odnosi na sudjelovanje tvrtke u međunarodnoj trgovini, a rezultati su prikazani na slici 35. Iz prikaza je vidljivo kako većina ispitanih tvrtki sudjeluje u izvozu i uvozu, što ukazuje na povećanu vjerojatnost utjecaja krize na poduzeća ispitanika.



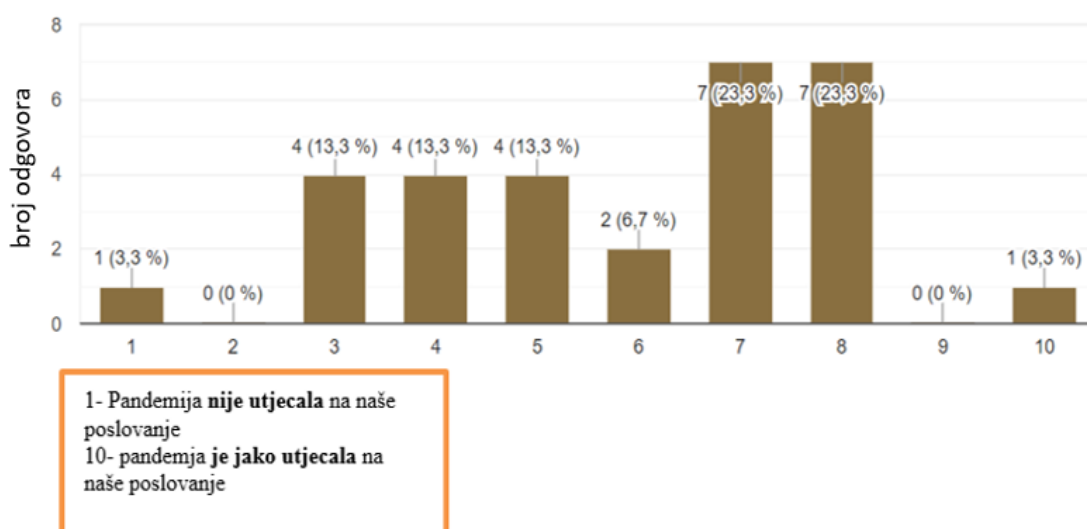
**Slika 35.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Sudjeluje li tvrtka u kojoj radite u međunarodnoj trgovini?“



### 9.2.3. Pitanja o direktnom utjecaju pandemije na kompozitnu industriju

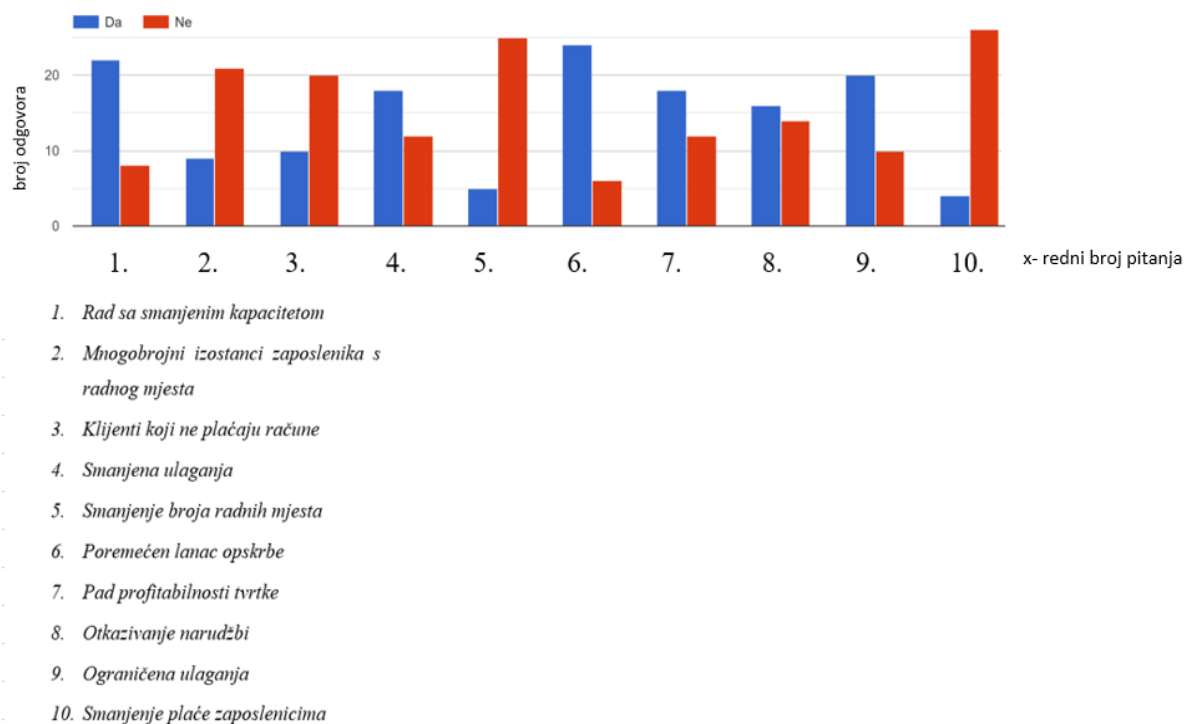
U drugom dijelu ispitivanja pitanja su se direktno odnosila na utjecaj pandemije na poduzeća ispitanika.

Pitanje 4. se odnosi na utjecaj pandemije na tvrtke ispitanika. Odgovori na pitanje „Kako je na vaše poslovanje utjecala pandemija koronavirusa (COVID-19)?“, prikazani su na slici 36. Rezultati pokazuju veliku disperzivnost podataka, no vidljivo je kako je pandemija koronavirusa negativno utjecala na industriju, s obzirom kako je 14 ispitanih tvrtki podnijelo kao odgovor utjecaj između 7-8 na ljestvici do 10 (10 prikazuje veliki utjecaj pandemije na poslovanje).



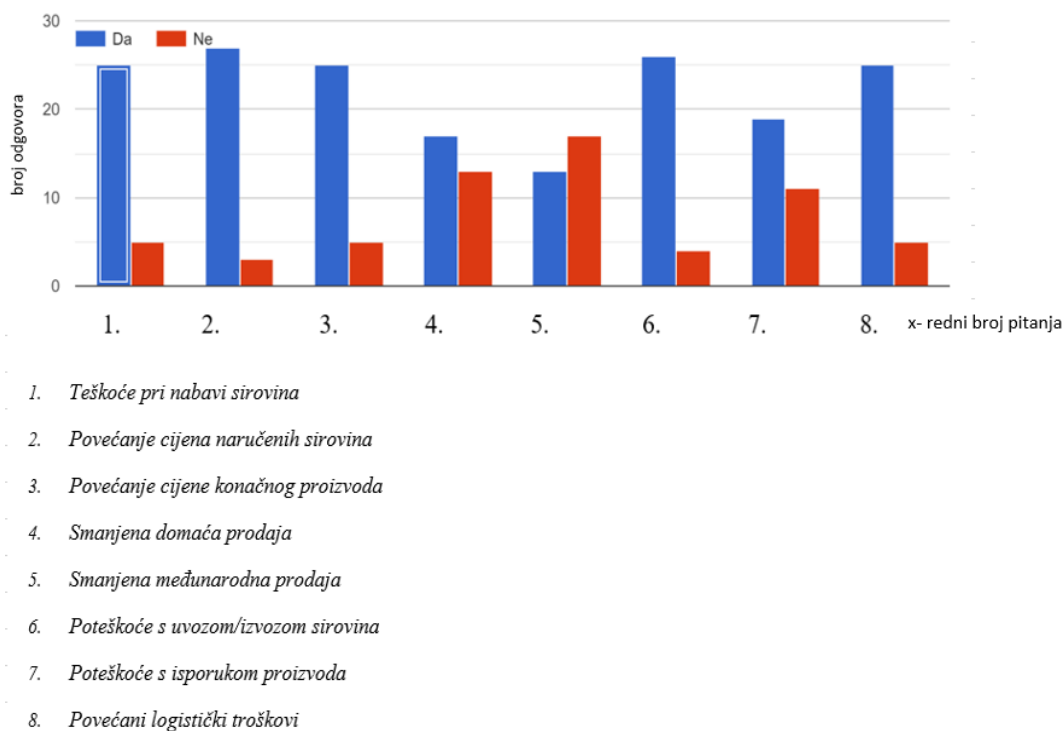
**Slika 36.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Kako je na vaše poslovanje utjecala pandemija koronavirusa (COVID-19)?“

Pitanje 5. glasi „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na tvrtku u kojoj radite na neki od sljedećih načina?“, a odgovori su prikazani na slici 37. Ponuđeni odgovori su bili da ili ne, a po rezultatima se može zaključiti kako je najveći postotak zaokruženih odgovora pokazao kako je uslijed pandemije najveći utjecaj na rad sa smanjenim kapacitetom, poremećaj u lancu opskrbe i nešto manje utjecaj na ograničena i smanjena ulaganja u daljnji razvoj tvrtke.



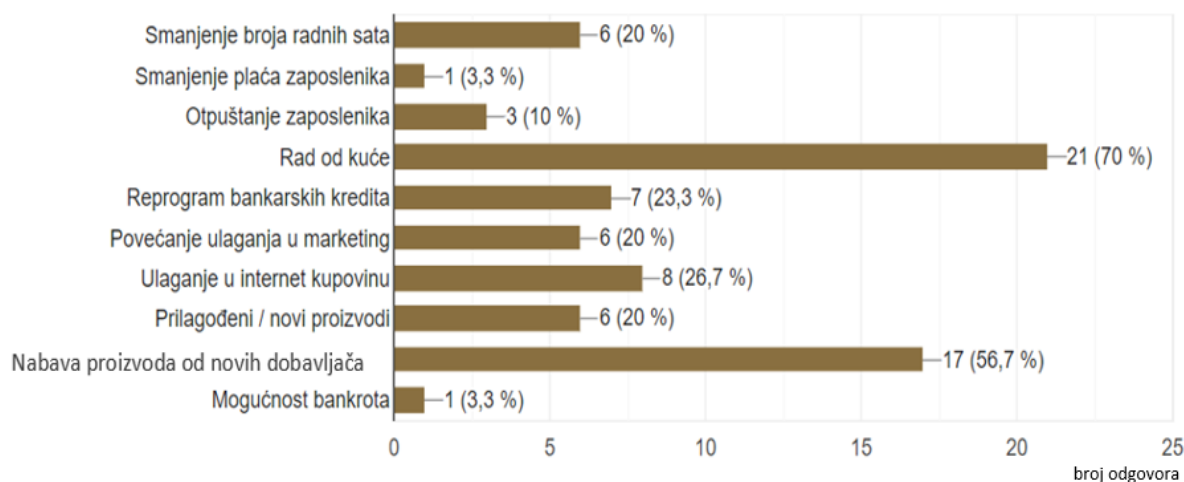
**Slika 37.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na tvrtku u kojoj radite na neki od sljedećih načina?“

Pitanje 6. glasi „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na poslovanje i/ili prodajne rezultate tvrtke u kojoj radite?“, a rezultati su prikazani na slici 38. Odgovori ispitanika prikazuju kako su poduzeća imala najviše problema s nabavom sirovina, ali i povećanjem cijene naručenih proizvoda što je rezultiralo povećanjem cijene konačnog proizvoda. Također problem je s uvozom, tj. izvozom proizvoda, gdje je očekivani rezultat povećanje logističkih troškova.



**Slika 38.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Zaokružite odgovarajući odgovor ovisno o tome kako je pandemija koronavirusa (COVID-19) utjecala na poslovanje i/ili prodajne rezultate tvrtke u kojoj radite?“

Pitanje 7. glasi „Ukoliko je tvrtka u kojoj radite usvojila neku od sljedećih strategija za suočavanjem s krizom zaokružite“, a rezultati su prikazani na slici 39. Iz rezultata je vidljivo kako je rad od kuće daleko najviše usvojena tehnika suočavanja s krizom. Sljedeće usvojena tehnika je nabava proizvoda od novih dobavljača, što se može nadovezati s prethodnim pitanjem, gdje su rezultati pokazali poteškoće poduzeća s nabavom sirovina, povećanje logističkih troškova, poteškoće s uvozom i izvozom, a što je rezultiralo započetim poslovanjem s novim dobavljačima.



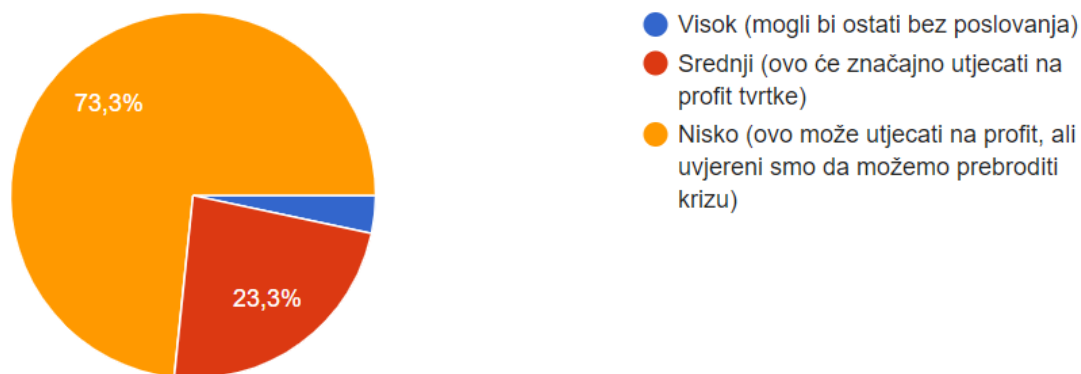
**Slika 39.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Ukoliko je tvrtka u kojoj radite usvojila neku od sljedećih strategija za suočavanjem s krizom zaokružite“

Na pitanje 8. je na izbor bilo za odabrati tri glavne Vladine mjere koje bi bile od najveće pomoći tvrtkama za nošenje s krizom, a rezultati su prikazani na *slici 40*. Prema rezultatima tri mjere koje bi se pokazale od najveće pomoći za nošenje s krizom su po redu: potpora Hrvatskog zavoda za zapošljavanje za očuvanje radnih mjesta, odricanje od poreza ili privremene porezne olakšice, te odgađanje plaćanja porezne obaveze na dodanu vrijednost.



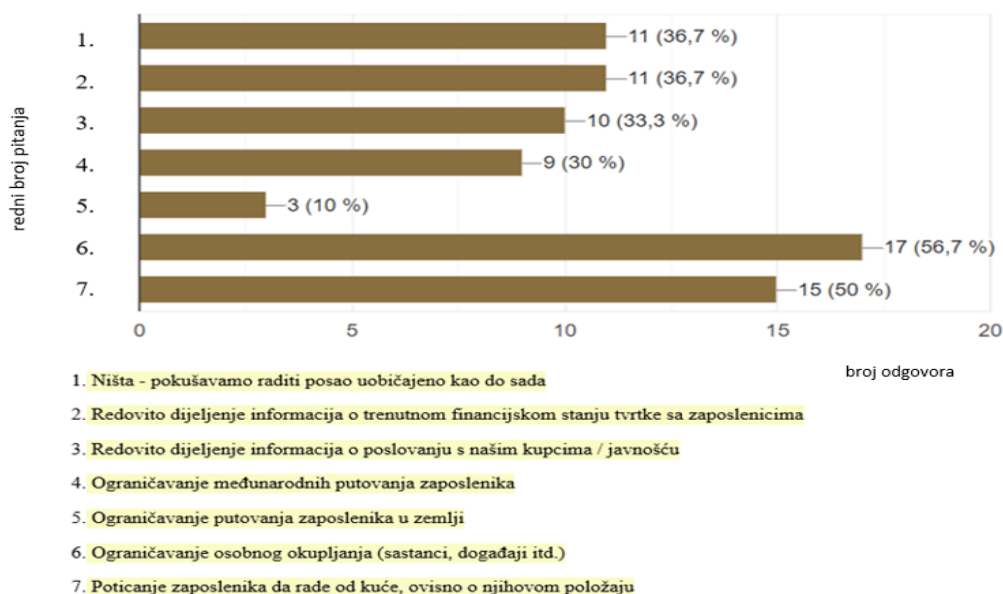
**Slika 40.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Odaberite tri glavne Vladine mjere koje bi vam bile od najveće pomoći dok se nosite s krizom“

Pitanje 9. glasi „U ovom trenutku, kakav stupanj utjecaja očekujete da će kriza imati na vaše poslovanje?“, te su odgovori prikazani na slici 41. Iz slike se može razabrati kako većina ispitanika pretpostavlja kako će utjecaj pandemije na poslovanje tvrtke u kojoj rade biti nizak.



**Slika 41.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „U ovom trenutku, kakav stupanj utjecaja očekujete da će kriza imati na vaše poslovanje?“

Odgovori na pitanje 10. koje glasi „Kako zabrinutost zbog mogućeg ponovnog zaključavanja uslijed pandemije koronavirusa raste, što tvrtka u kojoj radite poduzima na rješavanju zabrinutosti zaposlenika i kupaca i ublažavanju rizika?“ prikazani su na slici 42. Iz dobivenih odgovora ograničavanje osobnih okupljanja, te poticanje zaposlenika na rad od kuće su najraširenije metode rješavanja zabrinutosti zaposlenika i kupaca.

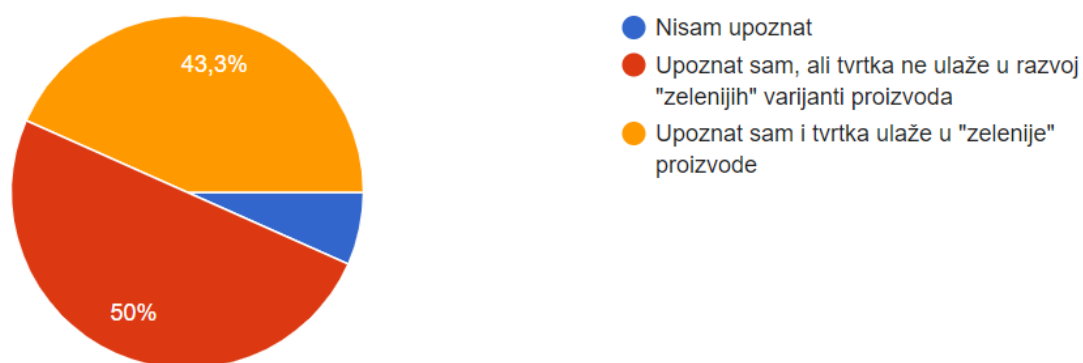


**Slika 42.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Kako zabrinutost zbog mogućeg ponovnog zaključavanja uslijed pandemije koronavirusa raste, što tvrtka u kojoj radite poduzima na rješavanju zabrinutosti zaposlenika i kupaca i ublažavanju rizika?“

#### 9.2.4. Pitanja o održivom razvoju

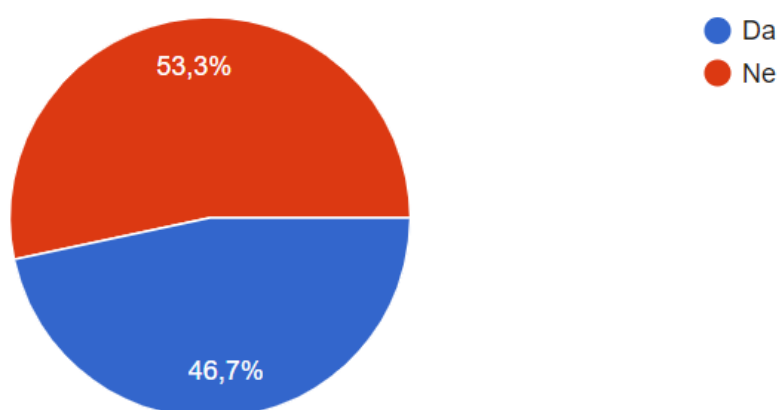
Zadnja dva pitanja ankete se odnosila na odživi razvoj i upoznatost ispitanih poduzeća s pojmom održivog razvoja. Rezultati su prikazani dijagramima.

Na prvo pitanje „Koliko ste upoznati s pojmom održivog razvoja, te koliko tvrtka nastoji primijeniti principe održivog razvoja?“ rezultati su prikazani na *slici 43*. Iz rezultata je vidljivo kako je omjer ispitanika koji su upoznati s održivim razvojem i čije tvrtke ulažu u razvoj „zelenijih“ varijanti proizvoda gotovo jednak onima koji su upoznati, ali ne ulažu u „zelenije“ varijante proizvoda. Iz toga se može zaključiti kako su u oba slučaja zaposlenici i poduzeća u kojima rade upoznati s problemima vezanim uz emisije štetnih plinova i sl., što je pokazatelj pozitivnog smjera razvoja.



**Slika 43.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Koliko ste upoznati s pojmom održivog razvoja, te koliko tvrtka nastoji primijeniti principe održivog razvoja?“

Zadnje pitanje „Ukoliko ste odgovorili potvrdno na prethodno pitanje, smatrate li da bi se budućnost tvrtke u kojoj radite mogla bazirati na proizvodnji biokompozitnih materijala?“ pokazuje kako većinski zaposlenici još uvijek smatraju kako budućnost tvrtke u kojoj rade se ne bi mogla temeljiti na proizvodnji biokompozitnih materijala, no udio onih koji smatraju kako bi mogla je dovoljno blizu, što se može protumačiti kako je hrvatsko gospodarstvo upoznato s postojećim problemima i skupom globalnih ciljeva održivog razvoja.



**Slika 44.** Grafički prikaz odgovora na pitanje „Ukoliko ste odgovorili potvrdno na prethodno pitanje, smatrate li da bi se budućnost tvrtke u kojoj radite mogla bazirati na proizvodnji biokompozitnih materijala?“

## 10. ZAKLJUČAK

Napredak tehnologije je konstantno rastući, a potreba za naprednim materijalima sve je veća. Traganje za razvijanjem materijala optimalnih svojstva i prihvatljive cijene je kontinuirana trka u proizvodnoj industriji. Kompozitna industrija se izuzetno brzo širi, jer tradicionalni materijali više ne mogu udovoljiti zahtjevima tržišta, a kompoziti su lagani i čvrsti materijali mnogobrojnih prednosti. Neke od prednosti proizvodnje kompozita su mogućnost izrade složenih oblika, smanjenje troškova naknadne obrade dijelova, dimenzijska stabilnost, otpornost na koroziju itd., a njihov dugotrajni životni vijek i smanjeni troškovi održavanja su perspektiva održivom rastu. U budućnosti, istraživanje održivosti i mogućnosti recikliranja kompozitnih materijala nastaviti će se razvijati kako će se tehnologija usmjeravati prema ostvarivanju programa održive budućnosti. Izbijanje koronavirusa je na kratko usporilo rast i razvoj visokotehnološke proizvodnje, pa tako i kompozitne industrije. Smanjenje opskrbe i proizvodnje, kašnjenje isporuke sirovina i dijelova, zatvaranje proizvodnih pogona, smanjenje ulaganja, otpuštanje zaposlenika samo su neki od razloga stagnacije.

COVID-19 kriza je tako negativno utjecala na potražnju za kompozitima u raznim industrijama poput zrakoplovne, automobilske i vojne, građevini i infrastrukturi te proizvodnji raznih cijevi i spremnika. Iako je izbijanje pandemije uvelike utjecalo na industriju, novi propisi i zakoni koji obvezuju transportnu industriju uvažavati regulative prvenstveno vezane uz emisiju štetnih plinova omogućavaju kompozitnim materijalima i proizvodima sve veći proboj na tržište, te unatoč utjecaju pandemije očekuje se pozitivan trend rasta ove industrije. Također, kako je održivi razvoj jedna od strategija kontinuiranog gospodarskog i socijalnog napretka, upotreba kompozita u održivom razvoju igrat će sve bitniju ulogu kroz proizvodnju struktura koje omogućavaju iskorištavanje obnovljivih izvora energije.

Proizvodnja biokompozitnih materijala isto je od presudnog značaja za budući razvoj, a pošto prirodna vlakna imaju brojne prednosti, industrija polagano započinje prelazak na materijale poput zelenih kompozita, čija svojstva ispunjavanju kriterije poput smanjenja težine konstrukcije, ekološke probleme i konačno zadovoljstvo kupaca, ali još uvijek je neusklađenost svojstva glavni nedostatak prirodnih vlakna koji ograničava njihovu primjenu.

Zaključak rezultata dobivenih anketom istraživanja utjecaja COVID-19 krize na kompozitnu industriju u Hrvatskoj je da iako je kriza utjecala na poslovanje ispitanih tvrtki, iste očekuju niski stupanj utjecaja krize na poslovanje. Razlog vjerojatno leži u tome što je potreba za kompozitnim materijalima i proizvodima sve veća, pogotovo u transportnoj industriji. Najviše



problema tvrtke su imale s nabavom sirovina, povećanjem cijene naručenih proizvoda i povećanjem cijene konačnog proizvoda. Također problem je bio s uvozom, tj. izvozom proizvoda, gdje je rezultat povećanje logističkih troškova. Rezultati istraživanja su pokazali i kako je većina ispitanika upoznata s pojmom održivog razvoja, što znači kako su zaposlenici i poduzeća u Hrvatskoj upoznati s problemima vezanim uz emisiju štetnih plinova. Iako nešto veći postotak ispitanika smatra kako se proizvodnja tvrtke u kojoj rade ne može temeljiti na proizvodnji biokompozitnih materijala, udio onih koji smatraju kako bi mogla je dovoljno blizu, što je pokazatelj kako je hrvatsko gospodarstvo upoznato s postojećim problemima i skupom globalnih ciljeva održivog razvoja. Kao zaključak, upravo upotreba ovih materijala može biti budućnost u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja, te bez obzira na postojeću COVID-19 krizu, industrija kompozitnih materijala kontinuirano raste, te je s njezinim napretkom i razvijanjem novih materijala moguće postići povećanu zaposlenost, uključiv i održivi gospodarski rast, inovativnost, održivu industrijalizaciju i sl.

## LITERATURA

- [1] Khagendra Kumar Y, Singh Lohchab D, Singh Lohchab D. Influence of Aviation Fuel on Mechanical properties of Glass Fiber-Reinforced Plastic Composite TACTIC Imaging Telescope View project Ablation and Mechanical Characterization of Carbon-Phenolic Nano Composites View project Influence of Aviation Fuel on Mechanical properties of Glass Fiber-Reinforced Plastic Composite. IARJSET International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. 2016;3.
- [2] Introduction to Composite Materials; 2010. Dostupno na: [www.asminternational.org](http://www.asminternational.org)
- [3] Clyne T.W., Hull D. An Introduction to Composite Materials; 2019.
- [4] Chawla KK. Composite Materials Science and Engineering Fourth Edition. Springer; 2019.
- [5] Deutsch S. 23rd National SAMPE Symposium. 1978; p-34.
- [6] Materials Science and Engineering introduction: Chapter 16; 1990.
- [7] The Fiber, [www.compositesworld.com/articles/the-fiber](http://www.compositesworld.com/articles/the-fiber), datum pristupa 1.6.2021.
- [8] Vinson JR, Sierakowski RL. The behavior of structures composed of composite materials. Kluwer; 2004.
- [9] Baker A-MM, Mead J. Thermoplastics; 2004.
- [10] Alberto M. Introduction of Fibre-Reinforced Polymers– Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes. Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair. InTech; 2013.
- [11] Part design criteria, [www.compositesworld.com/columns/part-design-criteria](http://www.compositesworld.com/columns/part-design-criteria), datum pristupa 2.6.2021.
- [12] Material selection and properties, [www.compositesworld.com/articles/material-selection-and-properties](http://www.compositesworld.com/articles/material-selection-and-properties), datum pristupa 2.6.2021.
- [13] González C, Vilatela JJ, Molina-Aldareguía JM, Lopes CS, LLorca J. Structural composites for multifunctional applications: Current challenges and future trends. Progress in Materials Science. Elsevier Ltd. 2017; p.194–251.

- [14] Potter K. An Introduction to Composite Products: Design, Development and Manufacture. Springer, 5th Ed. Chapman & Hall, London; 1996.
- [15] Arif M, Asif M, Ahmed D. Advanced Composite Material for Aerospace Application-a Review. International Journal of Engineering and Manufacturing Science; 2017.
- [16] Varvani-Farahani A. Composite materials: Characterization, fabrication and application-research challenges and directions. Applied Composite Materials. 2010; 17:63–7.
- [17] Hasan Z. Composite materials. Tooling for Composite Aerospace Structures. Elsevier. 2020; p. 21–48.
- [18] Amaral JF. Marketing Engineering Materials to the Bicycle Industry: A Case Study for Duralcan Metal Matrix Composites Professor of Electronic Materials Chair, Departmental Committee on Graduate Students; 1994.
- [19] Then & Now: A Brief History of Composites Materials, [www.smicomposites.com/then-now-a-brief-history-of-composites-materials/](http://www.smicomposites.com/then-now-a-brief-history-of-composites-materials/), datum pristupa 5. 6. 2021.
- [20] Europe Composites Market Size \_ Industry Growth Report, 2019-2025, [www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-composites-market](http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-composites-market), datum pristupa 5. 6. 2021.
- [21] Composites Manufacturing State of the Industry Report Trends in Thermoplastics Gaining Ground in Mass Transportation, [www.thermwood.com](http://www.thermwood.com), datum pristupa 10 .6. 2021.
- [22] Ghobadi A. Common Type of Damages in Composites and Their Inspections. World Journal of Mechanics. Scientific Research Publishing, Inc. 2017; 07:24–33.
- [23] Chart library\_ Passenger vehicle fuel economy \_ International Council on Clean Transportation, [www.theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy](http://www.theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy), datum pristupa 6. 6. 2021.
- [24] Changlei L. China Fiberglass Industry Association, [www.compositesmanufacturingmagazine.com/2020/01/2020-state-of-the-industry-report/8/](http://www.compositesmanufacturingmagazine.com/2020/01/2020-state-of-the-industry-report/8/), datum pristupa 15. 6. 2021.

- [25] Witten E, Mathes V. The Market for Glass Fibre Reinforced Plastics (GRP) in 2020,. [www.avk-tv.de](http://www.avk-tv.de), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [26] Situation Report-100, [www.who.int/epi-win](http://www.who.int/epi-win), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [27] Global Preparedness Monitoring Board. A world at Risk: Annual Report on Global Preparedness for Health Emergencies. Geneva: World Health Organization; 2019.
- [28] Katz R, Wentworth M, Quick J, Arabasadi A, Harris E, Geddes K, et al. Enhancing public–private cooperation in epidemic preparedness and response. World Med Health Policy; 2018.
- [29] World Health Organization. Coronavirus Disease (COVID-2019) Situation Reports. Geneva; 2020.
- [30] National Bureau of Statistics of China. Purchasing Managers Index for February 2020 National Bureau of Statistics of China [Press Release]. Beijing: Department of Service Statistics of NBS; 2020.
- [31] International Air Transport Association. IATA Ecoznomics' Chart of the Week: return to air travel expected to be slow. In: IATA Economics Report; 2020.
- [32] Crude Oil Aug 21 (CL=F) Stock Historical Prices & Data - Yahoo Finance, [www.finance.yahoo.com/quote/CL%3DF/history?p=CL%3DF](http://www.finance.yahoo.com/quote/CL%3DF/history?p=CL%3DF), datum pristupa 20. 6. 2021.
- [33] Astles S. Migration, crisis, and the global labour market. Globalizations. 2011; 8:311–24.
- [34] Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Migrant workers and the COVID-19 Pandemic. Rome; 2020.
- [35] UN Comtrade Analytics - Trade dashboard, [www.comtrade.un.org/labs/data-explorer/](http://www.comtrade.un.org/labs/data-explorer/), datum pristupa 20. 6. 2021.
- [36] Cai M, Luo J. Influence of COVID-19 on Manufacturing Industry and Corresponding Countermeasures from Supply Chain Perspective. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science). Shanghai Jiao Tong University. 2020; 25:409–16.
- [37] [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/composite-market-200051282.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/composite-market-200051282.html) , datum pristupa 20. 6. 2021.

- [38] COVID-19 Impact on Composites Market Global Forecast to 2021, Markets and Markets, [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/covid-19-impact-on-composite-market-175185951.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/covid-19-impact-on-composite-market-175185951.html), datum pristupa 20. 6. 2021.
- [39] Aeroengine Composites Market - Growth, Trends, COVID-19, [www.globenewswire.com/newsrelease/2021/04/15/2210862/0/en/Aeroengine-Composites-Market-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts-2021-2026.html](http://www.globenewswire.com/newsrelease/2021/04/15/2210862/0/en/Aeroengine-Composites-Market-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts-2021-2026.html); datum pristupa 21. 6. 2021.
- [40] Glass Fiber Market Forecast to 2027 - COVID-19 Impact and Global Analysis By Fiber Type, Product Type, Application, and Manufacturing Process - GII, [www.giiresearch.com/report/tip1000458-glass-fiber-market-forecast-covid-impact-global.html](http://www.giiresearch.com/report/tip1000458-glass-fiber-market-forecast-covid-impact-global.html), datum pristupa 21. 6. 2021.
- [41] Što je održivi razvoj – LORA – laboratorij održivog razvoja, [www.lora.bioteka.hr/sto-je-odrzivi-razvoj/](http://www.lora.bioteka.hr/sto-je-odrzivi-razvoj/), datum pristupa 12. 6. 2021.
- [42] Održivi razvoj, [www.mvep.hr/hr/vanjska-politika/multilateralni-odnosi0/globalne-teme/odrzivi-razvoj/](http://www.mvep.hr/hr/vanjska-politika/multilateralni-odnosi0/globalne-teme/odrzivi-razvoj/), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [43] Savile Row (Annual Report), [www.idop.hr/media/87216/knjizica-ciljeva-i-podciljeva\\_sdgs](http://www.idop.hr/media/87216/knjizica-ciljeva-i-podciljeva_sdgs), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [44] Energy Production and Consumption - Our World in Data, [www.ourworldindata.org/energy-production-consumption](http://www.ourworldindata.org/energy-production-consumption), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [45] Sustainable Development Goals Report 2018 – Goal 8\_ youth unemployment \_ United Nations, [www.un.org/en/desa/sustainable-development-goals-report-2018-%E2%80%93-goal-8-youth-unemployment](http://www.un.org/en/desa/sustainable-development-goals-report-2018-%E2%80%93-goal-8-youth-unemployment), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [46] Nations U. The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals An opportunity for Latin America and the Caribbean Goals, Targets and Global Indicators; 2030. <https://agenda2030lac.org/>, datum pristupa 15. 6. 2021.
- [47] Goal 9 \_ Department of Economic and Social Affairs, [www.sdgs.un.org/goals/goal9](http://www.sdgs.un.org/goals/goal9), datum pristupa 17. 6. 2021.
- [48] Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development united nations united nations transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development, <https://sdgs.un.org/2030agenda>, datum pristupa 17. 6. 2021.

- [49] Globalni ciljevi održivog razvoja do 2030. Izvještaj za 2016. i 2017., [www.odraz.hr/wp-content/uploads/2020/09/globalni-ciljevi-odrzivog-razvoja-izvjestaj-za-2016-i-2017-odraz-2.pdf](http://www.odraz.hr/wp-content/uploads/2020/09/globalni-ciljevi-odrzivog-razvoja-izvjestaj-za-2016-i-2017-odraz-2.pdf), datum pristupa 15. 6. 2021.
- [50] The Sustainable Development Goals Report 2018., [www.unstats.un.org/sdgs/report/2018/Overview/](http://www.unstats.un.org/sdgs/report/2018/Overview/), datum pristupa 17. 6. 2021.
- [51] Wheatley, Warren, and Das. Low-Cost Carbon Fibre: Applications, Performance and Cost Models. *Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness*, Editor Ahmed Elmarakbi, John Wiley & Sons, Ltd.; 2014.
- [52] U.S. Department of Energy ARPA-E. Modern Electro/Thermochemical Advances in Light-metal Systems (METALS), Funding Opportunity No. DE-FOA-0000882; 2013.
- [53] Quadrennial Technology Review 2015, Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing Technology Assessments; 2015.
- [54] Kara S., Manmek S. Final Report, Composites: calculating their embodied energy; Life Cycle Engineering & Management Research Group. The University of New South Wales; 2009.
- [55] Calado EA, Leite M, Silva A. Selecting composite materials considering cost and environmental impact in the early phases of aircraft structure design. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd. 2018; 186:113–22.
- [56] Department of Energy U. Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing Technology Assessments Composite Materials Sustainable Manufacturing-Flow of Materials through Industry Waste Heat Recovery Systems Wide Bandgap Semiconductors for. *Quadrennial Technology Review*; 2015.
- [57] AL-Oqla FM, Sapuan SM, Date palm fibers and natural composites. In: *Postgraduate symposium on composites science and technology 2014 & 4th postgraduate seminar on natural fibre composites*; 2014.
- [58] AL-Oqla FM, Sapuan SM, Enhancement selecting proper natural fiber composites for industrial applications. In: *Postgraduate symposium on composites science and technology 2014 & 4th postgraduate seminar on natural fibre composites*; 2014.

- [59] AL-Oqla FM, Sapuan SM Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *J Clean Prod.* 2014; 66:347–354.
- [60] Arbelaz A, Fernandez B, Ramos J, Retegi A, Llano-Ponte R, Mondragon I. Mechanical properties of short flax fibre bundle/polypropylene composites: Influence of matrix/fibre; 2005.
- [61] AL-Oqla FM, Sapuan SM, Ishak MR, Nuraini AA. Selecting natural fibers for bio-based materials with conflicting criteria. *Am J Appl Sci.* 2015; 12(1):64–71.
- [62] Mohanty A, Misra M, Drzal L. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *J Polym Environ.* 2002; 10(1–2):19–26.

## **PRILOZI**

I. CD-R disk