

# Postupci proizvodnje kompozita

---

**Kajdić, Irma**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:341823>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)





SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**STUDIJ POLITEHNIKE**

ZAVRŠNI RAD  
**POSTUPCI PROIZVODNJE KOMPOZITA**

Rijeka, lipanj 2020.



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE**

**ZAVRŠNI RAD**  
**POSTUPCI PROIZVODNJE KOMPOZITA**  
Mentor: prof.dr.sc. Marko Dunder

Student: Irma Kajdić

Rijeka, lipanj 2020

Sveučilište u Rijeci  
**STUDIJ POLITEHNIKE**  
u Rijeci  
Sveučilišna avenija 4.  
**Povjerenstvo za završne i diplomske ispite**

U Rijeci, 26.6.2020.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti sljedeće:

**Pristupnik: Irma Kajdić**

**Zadatak: Postupci proizvodnje kompozita**

1. Uvod. Općenito o kompozitima.
2. Postupci proizvodnje kompozita
3. Detaljno opisati kompozite s česticama i njihov postupak proizvodnje
4. Zaključak

U završnom se radu obvezno treba pridržavati **Uputa o završnom radu.**

**Zadatak uručen pristupniku: 26.6.2020.**


**Rok predaje završnog rada: \_\_\_\_\_**

**Datum predaje završnog rada: \_\_\_\_\_**

**PREDSJEDNIK POVJERENSTVA  
ZA DIPLOMSKE I ZAVRŠNE ISPITE**

  
**Doc.dr.sc. Damir Purković**

**ZADATAK ZADAO:**

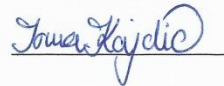
  
**Prof.dr.sc. Marko Dunder, dipl.ing.**

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad „Postupci proizvodnje kompozita“ izradila samostalno, isključivo primjenom vlastitog znanja stečenim na Filozofskom fakultetu u Rijeci odsjeka za Politehniku, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora prof.dr.sc. Marka Dundera, kome se srdačno zahvaljujem.

Nadalje se zahvaljujem svojim roditeljima i bratu koji su mi pružili najveću podršku kroz cijelo obrazovanje.

Irma Kajdić

A handwritten signature in blue ink, reading "Irma Kajdić", written over a horizontal line.

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2.1.</b> Osnovna usporedba kompozita: a) kompoziti sa česticama, b) vlaknasti , c) slojeviti [2].....	12
<b>Slika 2.2.</b> Omjer “granice tečenja kompozita i matrice” [2].....	14
<b>Slika 4.1.</b> Različitost rasporeda vlaknastih ojačavala [2].....	18
<b>Slika 4.2.</b> Prikaz dijagrama naprezanja za kompozit ojačan vlaknima [2].....	20
<b>Slika 4.3.</b> Prikaz utjecaja volumnog udjela vlakana bor-slicilij-karbida na svojstva ojačanog aluminijskog [2].....	21
<b>Slika 4.4.</b> Prikaz usmjerenosti vlakana obzirom na naprezanje (Ti legura-Bor) [2] .....	21
<b>Slika 4.5.</b> Karakteristike vlakana: a) dijagram naprezanja b) usporedba specifične čvrstoće i modula elastičnosti metala-vlakana [2].....	22
<b>Slika 4.6.</b> Prikaz usporedbe modula elastičnosti i čvrstoće metala i kompozita [2].....	23
<b>Slika 6.1.</b> Proizvodnja ugljičnih vlakana [6].....	27
<b>Slika 6.2.</b> Postupak proizvodnje ručnim postavljanjem smole [6].....	28
<b>Slika 6.3.</b> Prikaz proizvodnje metodom raspršivanja [6].....	29
<b>Slika 6.4.</b> Prikaz proizvodnje metodom tekućeg oblikovanja [6] .....	30
<b>Slika 6.5.</b> Prikaz vakumskog prešanja smole [6].....	30
<b>Slika 6.6.</b> Prikaz infuzijskog postupka proizvodnje [6].....	31
<b>Slika 6.7.</b> Prikaz kompresijskog postupka proizvodnje [6].....	32
<b>Slika 6.8.</b> Prikaz injekcijskog lijevanja [6].....	32
<b>Slika 6.9.</b> Prikaz postupka proizvodnje navijanjem niti [6].....	33
<b>Slika 6.10.</b> Prikaz automatiziranog postavljanja vlakana [6].....	33
<b>Slika 7.</b> Prikaz proizvodnje aditiva [6].....	34
<b>Slika 8.1.</b> Slaganje kod laminatnih konstrukcija.....	35
<b>Slika 8.2.</b> Prikaz sendvič strukture.....	36

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 2.1.</b> <i>Primjeri kompozita sa česticama [2]</i> .....	14
<b>Tablica 2.2</b> <i>Primjeri kompozita s vlaknima [2]</i> .....	15
<b>Tablica 4.5.</b> <i>Vrijednosti materijala pogodnih za ojačanje vlaknima [2]</i> .....	22

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	5
POPIS TABLICA .....	6
SADRŽAJ.....	7
PREGLED VELIČINA, OZNAKA I JEDINICA .....	9
SAŽETAK.....	8
SUMMARY.....	8
1.UVOD .....	9
2. KOMPOZITNI MATERIJALI .....	10
2.1. Definicija i podijela .....	10
2.2 Svojstva kompozita.....	12
3. KOMPOZITI S ČESTICAMA .....	14
3.1. Kompoziti s disperzijom .....	14
3.2. Kompoziti s velikim česticama .....	15
4. KOMPOZITI OJAČANI VLAKNIMA .....	16
4.1. Svojstva.....	17
4.1.1 Modul elastičnosti .....	17
4.1.2 Čvrstoća.....	18
4.1.3 Diskontinuirana vlakna.....	18
4.1.4 Usmjerenost vlakana .....	19
5. MATERIJALI KOMPOZITNIH KOMPONENATA .....	22
5.1.Materijali matrice.....	22
5.1.1. Kompoziti s keramičkom matricom.....	22
5.1.2. Kompoziti s polimernom matricom .....	23
5.1.3. Kompoziti s metalnom matricom .....	24
6. PROIZVODNJA I PRERADA.....	25
6.1.Proizvodnja vlakana.....	25
6.2. Proizvodnja kompozita .....	26
6.2.1.Ručno postavljanje .....	26



6.2.2. Proizvodnja kompozita metodom raspršivanja .....	27
6.2.3. Proizvodnja metodom tekućeg oblikovanja.....	27
6.2.4. Proizvodnja vakumskim prešanjem smole .....	28
6.2.5. Proizvodnja infuzijskim postupkom.....	29
6.2.6. Proizvodnja kompresijskim oblikovanjem .....	29
6.2.7. Proizvodnja postupkom injekcijskog lijevanja .....	30
6.2.8. Proizvodnja postupkom navijanja niti .....	30
6.2.9. Automatizirano postavljanje vlakana .....	31
7. PROIZVODNJA ADITIVA .....	32
8. SLOJEVITE KOMPOZITNE STRUKTURE .....	33
8.1. Laminati – slojeviti kompoziti.....	33
8.2. Sendvič konstrukcije .....	33
8.3. Stanična kruta tijela (pjene).....	34
9. PRIMJENA KOMPOZITA .....	35
9.1 Zračno-Kosmički prostor .....	35
9.2. Arhitektura .....	35
9.3. Automobilizam .....	36
9.4. Izgradnja i infrastruktura.....	36
9.5. Korozivna okruženja.....	36
9.6. Energija .....	37
9.7. Brodogradnja .....	37
ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA .....	39

## PREGLED VELIČINA, OZNAKA I JEDINICA

$R_{ec}$	- granica razvlačenja kompozita, [MPa]
$R_{em}$	- granica razvlačenja matrice, [MPa]
$R_{mf}$	- vlačna čvrstoća vlakna, [MPa]
$D_p$	- razmak između disperznih čestica, mm
$V_p$	- volumni udio, %
$d$	- veličina čestica, mm
$\rho_c$	- gustoća kompozita, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_i$	- gustoća konstituenta, kg/m <sup>3</sup>
$V_i$	- volumni udio konstituenta, %
$E_c$	- modul elastičnosti kompozita, MPa
$E_m$	- modul elastičnosti matrice, MPa
$E_f$	- modul elastičnosti vlakna, MPa

## SAŽETAK

### POSTUPCI PROIZVODNJE KOMPOZITA

Cilj ovog završnog rada je ustanoviti različitosti koje nam nude kompozitni materijali. Počevši od ranih kombinacija prirodnih materijala prilikom gradnje domova, do novih inovativnih kombinacija koje se konstantno unaprijeđuju i povećano proizvode. Novi kompozitni materijali iskazuju mnoštvo korisnih karakteristika; jačinu, nisku gustoću ili cijenovnu pristupačnost u usporedbi s ostalim materijalima. Kompoziti se uglavnom sastoje od dvije ili više različitih sastojaka koji tvore dijelove dovoljno velike da se mogu smatrati cijelinom. Kroz rad ćemo se upoznati sa podjelama kompozita, koje prednosti i nedostatke imaju, te načinima proizvodnje i područjima primjene.

Ključne riječi: kompoziti, kompoziti s česticama, kompoziti ojačani vlaknima, proizvodnja i prerada kompozita

## SUMMARY

### COMPOSITE PRODUCTION PROCEDURES

The goal of this final thesis is to establish the differences offered by composite materials. Starting from the early combinations of natural materials when building homes, to the new innovative combinations that are constantly being improved and increased in production. New composite materials exhibit a multitude of useful characteristics; strength, low density or affordability compared to other materials. Composites generally consist of two or more different ingredients that form parts large enough to be considered as a whole. Through this paper, we will get acquainted with the divisions of composites, what their advantages and disadvantages are, and the methods of production and areas of application.

Keywords: composites, particle composites, fiber reinforced composites, composite production and processing

## 1.UVOD

Kompozitni materijali su imali važnu ulogu kroz povijest, od nastanka ranih civilizacija do omogućavanja budućih inovacija. Danas omogućuju brojne prednosti od kojih su među njima: ključna otpornost na koroziju, fleksibilnost dizajna, trajnost, mala težina i čvrstoća. Kompoziti su zauzeli naš svakodnevni život, kao što su proizvodi koji se koriste u konstrukcijama, medicini, nafti i plinu, transportu, sportu, zrakoplovstvu i ostalim. U ovom završnom radu obraditi ćemo kompozitne materijale, njihov razvoj, dizajn, proizvodnju i primjenu u različitim područjima. Svrha ovog završnog rada je ukazati na veliku mogućnost konstruiranja s kompozitnim materijalima, koje nam prednosti, a koje nedostatke pruža ovaj material.

Rad se sastoji od devet poglavlja, kako slijedi:

1. Uvod
2. Općenito o kompozitnim materijalima
3. Kompozitni materijali ojačani česticama
4. Kompozitni materijali ojačani vlaknima
5. Materijali kompozitnih komponenata
6. Proizvodnja i prerada
7. Proizvodnja aditiva
8. Slojevite kompozitne structure
9. Primjena kompozita.

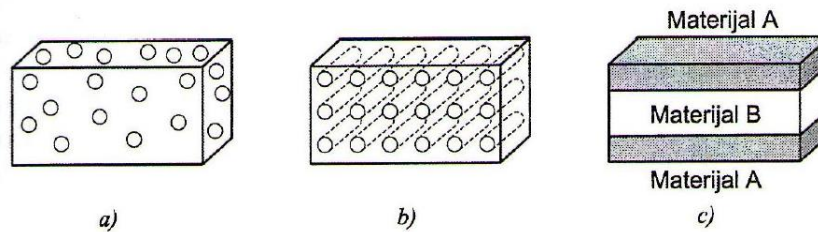
## 2. KOMPOZITNI MATERIJALI

### 2.1. Definicija i podijela

Kompozit je vrsta materijala koja nastaje umjetnim kombiniranjem dva ili više materijala, te imaju sasvim različita svojstva u svrhu dobivanja željenih karakteristika. Različiti materijali u kompozitu djeluju zajedno dajući mu jedinstvena svojstva poput krutosti, čvrstoće, težine, kemijske i temperaturne otpornosti te tvrdoću ili vodljivost.

Glavna podjela kompozita se dijeli na polimerne, metalne i keramičke. Ovim se smatra da su one matrica (baza) kojoj se pridodavaju različiti sastojci u cilju postizanja određenih željenih svojstava. Nadalje, kompoziti mogu biti sljedećih karakteristika: metalno-metalnih, metalno-keramičkih, metalno-polimernih, keramičko-polimernih, keramičko-keramičkih, polimerno-polimernih i polimerno-keramičkih.

U sljedećem vizualnom primjeru prikazana je različitost vrsta kompozita, u koje spadaju: čestični, vlaknasti i slojeviti kompoziti. [2,7]



**Slika 2.1.** Osnovne različitosti kompozita: a) kompoziti sa česticama, b) kompoziti s vlaknima, c) slojeviti kompoziti

Konačno, reakcija materijala će ovisiti o:

1. svojstvima matrice i ojačala
2. veličini i raspodijeli konstituenata
3. volumnom udjelu konstituenata
4. obliku konstituenata
5. prirodi i jakosti veze među konstituentima

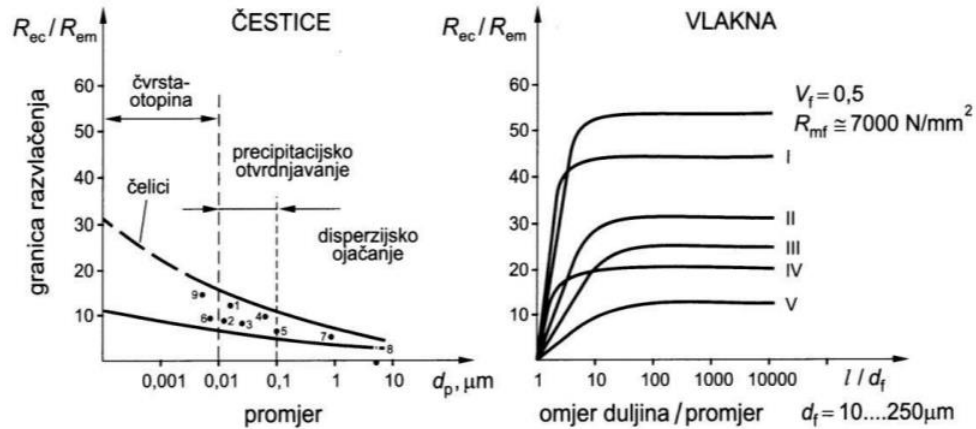
Skupina kompozita s česticama su ojačani velikim česticama i disperzijom. Kod kompozita s disperzijom, ukoliko želimo povećanu čvrstoću, postizemo ju dodavanjem ekstremno malih čestica disperzirane faze, koje otežavaju kretanje dislokacija. Ovim načinom postupka imamo očvršćivanje na razini atoma. Kada govorimo o kompozitima s velikim česticama, njihova mehanička svojstva su uvelike unaprijeđena djelovanjem samostalnih čestica. U skupini kompozita s velikim česticama imamo beton čiji se sastav sastoji od grupe čestica koje su zajedno povezane s cementom.

Kompoziti s vlaknima imaju najveću efikasnost ojačanja (vlaknima ojačani kompoziti). Opterećenja se kod ovih vrsta kompozita prenose i distribuiraju preko vlakana i putem matrice. Ukoliko želimo veća ojačanja ove vrste kompozita, tu mogućnost imamo ukoliko imamo jaku vezu između vlakna i matrice. Vlaknasta ojačanja dijelimo prema njihovom promjeru i to na: viskere, vlakna i žice. Viskeri su specifično tanke niti sastavljene od keramičkih monokristala koje imaju veliki udio čistoće. Kada su vlakna diskontinuirana, mogućnost ojačanja će biti ovisna o duljini vlakana. Prilikom kombinacija spajanja vlakno-matrica, imamo tzv. kritične duljine, dok duljine kontinuiranih vlakana mogu premašiti ove kritične vrijednosti. Svojstva vlaknastih kompozita će ovisi o rasporedu vlakana. Čvrstoća je maksimalna za vlakna u smjeru, dok je čvrstoća minimalna za vlakna u okomitom smjeru. Kompoziti ojačani kratkim vlaknima, mogu imati vlakna koja su usmjerena ili slučajno raspoređena. Postizanje čvrstoće i krutosti postizemo kada su vlakna postavljena u uzdužnom smjeru.

Kompoziti ojačani vlaknima se dijele prema vrsti matrice na: polimerne, metalne i keramičke kompozite. Kada govorimo o polimernoj matrici, koja je najčešće zastupljena, može se ojačavati još staklenim, ugljičnim i aramidnim vlaknima. Ostale značajke polimernih kompozita su visoka specifična čvrstoća i specifični modul elastičnosti. [1,2,3,7]

## 2.2 Svojstva kompozita

U svrhu prikaza prednosti kompozita pred ostalim materijalima grafički ćemo prikazati utjecaj čestica i vlakana na samu čvrstoću materijala.



**Slika 2.2.** Ovisnost omjera “granice tečenja kompozita-matrice”

Pojmovi:

- $R_{ec}$  - granica razvlačenja kompozita,  $N/mm^2$
- $R_{em}$  - granica razvlačenja matrice,  $N/mm^2$
- $R_{mf}$  - vlačna čvrstoća vlakna,  $N/mm^2$

- točka u dijagramu predstavlja se ispitivanjem na određenu vrijednost,

- krivulje u dijagramu odnose se na proračunom dobivene vrijednosti,

- pretpostavljeno je opterećenje paralelno s vlaknima.

**Tablica 2.1.** Prikaz kompozita sa česticama

Oznaka	Sustav	Volumni udio čestica, $V_p$
1.	$Ni - Al_2O_3$	0,10
2.	$Al - Al_2O_3$	0,13
3.	$Ag - Al_2O_3$	0,008
4.	$Ni - ThO_2$	0,09
5.	$Ni - Cr_2O_3$	0,08
6.	$Ni - ThO_2$	0,02
7.	$Ni - SiO_2$	0,21
8.	$Ni - TiC$	0,70
9.	$Al - Al_2O_3$	0,08

**Tablica 2.2** *Primjeri kompozita s vlaknima*

Oznaka	Sustav	Volumni udio vlakana, $V_f$	Čvrstoća Kompozita, $N/mm^2$
I	$Al - SiO_2$	0,50	3100
II	$Al - Al_2O_3$	0,35	3200
III	$Ag - Al_2O_3$	0,24	6700
IV	$Cu - W$	0,50	2500
V	Al-nehrđajući čelik	0,20	1550

Čvrstoća kompozita je identična s naprežanjem pri kojem dolazi do kidanja vlakana. [2]



### 3. KOMPOZITI S ČESTICAMA

Ponašaju se kao tvrd, ali krhak materijal, obavijen mekanom i duktilnom matricom. Obzirom na način utjecaja čestica na svojstva kompozita, možemo ih podijeliti kao: kompozite s disperzijom i kompozite s velikim česticama. Kompozit s česticama karakterističan je kao sastav od čestica suspendiranih u matrici. Čestice mogu imati gotovo bilo koji oblik, veličinu ili konfiguraciju. Primjeri dobro poznatih kompozita čestica je beton. Ovu vrstu kompozita još dijelimo na: ljuskaste i ispunjene.

- Ljuskasti kompozit obično se sastoji od ljusaka s velikim omjerima površine i debljine, suspendiranih u matičnom materijalu (primjer: iverica).
- Ispunjen kompozit sastoji se od kontinuiranog kosturnog matriksa ispunjenog drugim materijalom: primjer: jezgra saća ispunjena izolacijskim materijalom.

Reakcija može biti anizotropna ili ortotropna. Takvi kompoziti koriste se za područja u kojima čvrstoća nije bitna sastavnica dizajna. [7]

#### 3.1. Kompoziti s disperzijom

Čestice se dodaju matrici kako bi se poboljšala mehanička svojstva materijala. Uzevši u obzir da male čestice onemogućavaju kretanje dislokacija, nastaje efekt ojačavanja gdje je potrebna mala vrijednost disperziranog materijala – do 15 %. Čestice moraju biti tvrde (npr. oksidi metala), da bi se ometanje gibanja dislokacija izvršilo učinkovito. Osim o tvrdoći, učinak ojačanja će ovisiti i o veličini, obliku, raspodjeli i količini dispergiranih čestica. Matrice materijala se sa dispergiranim česticama ne smiju otapati, kao ni zajedno s njom kemijski reagirati, ali moraju biti čvrsto vezane s materijalom matrice.

Za određivanje učinkovitosti disperzije potrebne su nam sljedeće vrijednosti:

- veličina čestica,  $d$
- volumni udio,  $V_p$
- razmak između disperziranih čestica  $D_p$ .

Prikaz odnosa vrijednosti:

$$D_p = (1 - V_p)2d^2/V_p \quad (3.1.)$$

Gdje je:

- $D_p$  - razmak između disperznih čestica, mm
- $V_p$  - volumni udio, %
- $d$  - veličina čestica, mm

Ova vrsta kompozita, pri sobnoj temperaturi nije čvršća od dvofaznih metalnih legura. Obzirom da smekšavanje ne dolazi s pregrijavanjem, čvrstoća materijala postupno opada s povišavanjem temperature. [1,2,7]

### 3.2. Kompoziti s velikim česticama

Ova vrsta kompozita se proizvodi u svrhu postizanja kombinacija za koje nije primarno osiguravanje čvrstoće. Velike čestice se dodaju kako bi se smanjila cijena materijala. Prilikom opterećenja kompozita, događa se jednaka deformacija na matrici i dodanim česticama. Modul elastičnosti kompozita kreće se u granicama:

- gornja:  $E_{K,Max} = E_m \cdot \phi_m + E_c \cdot \phi_c$
- donja:  $E_{K,min} = \frac{E_m \cdot E_c}{E_m \cdot \phi_m + E_c \cdot \phi_c}$

Prema zakonu miješanja svojstava kompozita s česticama će ovisiti o određenim vrijednostima pojedinih konstituenata. Izračunavanje gustoće se izvršava sljedećim izrazom:

$$\rho_c = \sum V_i \cdot \rho_i \quad (3.2.)$$

Gdje je:

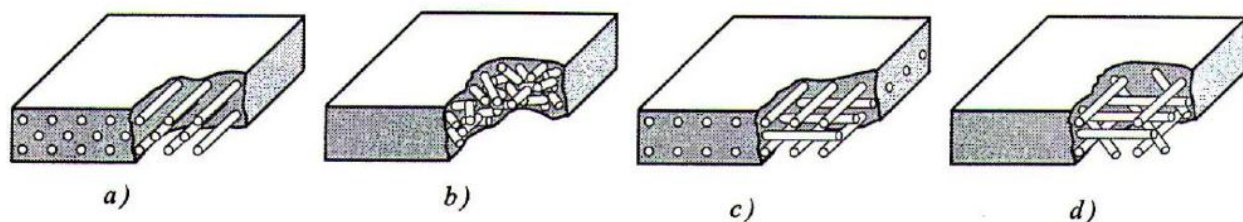
- $\rho_c$  - gustoća kompozita, kg/m<sup>3</sup>
- $\rho_i$  - gustoća konstituenata, kg/m<sup>3</sup>
- $V_i$  - volumni udio konstituenata, %

Vrijednosti poput čvrstoće i tvrdoće se ne mogu predvidjeti primjenom zakona miješanja. Ova vrsta kompozita može uključivati brojne kombinacije metala, keramike i polimera te ima široku primjenu: električni kontakti, brusne i rezne ploče, dijelovi kočnica, motora i mjenjača.. [1,2,7]

- Prednosti: niska cijena, brzo skrućivanje (čak pod vodom), velika  $R_{m,t}$ ,  $HV$  i  $E$ .
- Nedostaci: krhkost, velike  $\rho$  i  $\lambda$ , prskanje površinskih slojeva pri kvašenju i smrzavanju

## 4. KOMPOZITI OJAČANI VLAKNIMA

Kod ove vrste kompozita imamo izražajnu čvrstoću, žilavost, krutost, i povećan omjer “čvrstoće/gustoće“ sa ugradnjom čvrstih, krutih i krhkih vlakana u mekanu i žilaviju matricu. Prilikom prijenosa opterećenja na vlakna, omogućuje se duktilnost, obzirom da vlakna zadržavaju najveći dio opterećenja. Kroz povijest se za ojačanja glinenih opeka koristila slama, betonske konstrukcije su se ojačavale čeličnim šipkama. Na temelju ugrađenih staklenih vlakana u polimernu matricu dolazi se do rješenja da je kompozit upotrebljiv za transportne i zrakoplovne primjene. U vlaknima sastavljenim od bora, ugljika i polimera imamo osiguranu vrijednost ojačanja. [2,3,7]



Slika 4.1. Različitost rasporeda vlaknastih ojačavala

- jednosmjerna vlakna-sadržavaju odlična mehanička svojstva.
- slučajno usmjerena, diskontinuirana (kratka) vlakna, koriste se za proizvodnju tkanine ili trake (mogu biti različito usmjerene)
- ortogonalno raspoređena vlakna
- različito raspoređena vlakna

Vlaknasti polimerni kompoziti imaju svoje prednosti od kojih su:

- povećana specifična čvrstoća i krutost
- niske cijene proizvodnje i obrade
- odlično prigušenje vibracija – izolacija

Nedostaci materijala:

- nemogućnost raslojavanja, te mrvljenja
- širenje pukotina duž vlakana
- skupljanje matrice prilikom i nakon proizvodnje tvorevine te stvaranje napetosti

## 4.1. Svojstva

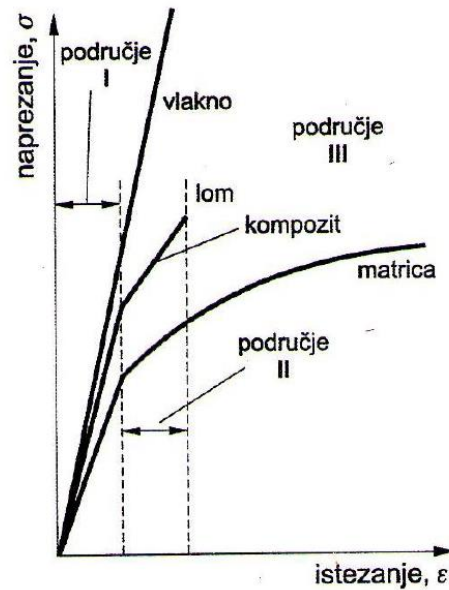
Primjenom zakona miješanja omogućuje se prikaz gornje i donje granice vrijednosti kao što su modul elastičnosti, gustoća, krajnja vlačna čvrstoća, toplinska i električna vodljivost.

$$E_c = fE_f + (1 - f) E_m$$

- $f = \frac{V_f}{V_f + V_m}$  volumni udio vlakana, %
- $E_c$  – modul elastičnosti kompozita, N/mm<sup>2</sup>
- $E_m$  – modul elastičnosti matrice, N/mm<sup>2</sup>
- $E_f$  – modul elastičnosti vlakna, N/mm<sup>2</sup>

### 4.1.1 Modul elastičnosti

Kao prethodno navedeno, zakonom miješanja se može točno predvidjeti modul elastičnosti, ukoliko opterećenje djeluje paralelno s kontinuiranim jednosmjernim vlaknima. Prilikom velikog naprezanja nastaju deformacije matrice, a samim tim više nemamo linearnost u dijagramu “naprezanje-istezanje”. [1,2]



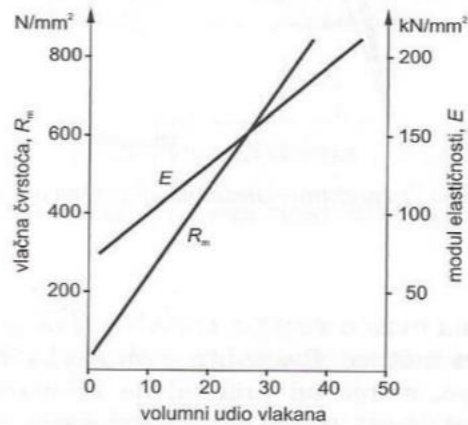
**Slika 4.2.** Prikaz dijagrama naprezanja za kompozit ojačan vlaknima

#### 4.1.2 Čvrstoća

Međusobne veze vlakana i matrice daju konačnu vrijednost čvrstoće materijala. Ovime se utvrđuje da je čvrstoća pretežno manja od predviđene zakonom miješanja. Vrijednosti poput duktilnosti, reakcija prilikom udara, reakcija uslijed dinamičkog opterećenja i dugotrajnog statičkog opterećenja (puzanje) predviđa se težim postupkom nego vlačna čvrstoća. [2]

#### 4.1.3 Diskontinuirana vlakna

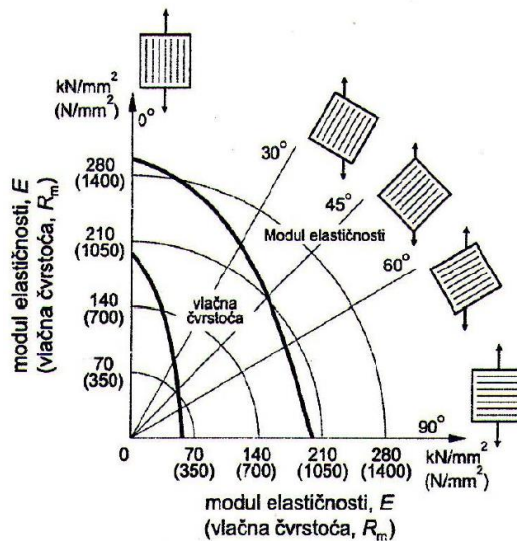
Ukoliko su vlakna diskontinuirana, svojstva vlaknastih kompozita će se znatno teže predviđati iz razloga što krajnji dijelovi vlakana prenose manje opterećenje nego li središnji dio. Time zaključno, čvrstoća koja je utvrđena ispitivanjem bi bila manja od one dobivene zakonom miješanja. Ukoliko je odnos duljine i promjera vlakna " $l/d$ " veći od kritičnog, tada imamo manja odstupanja. Bitno je napomenuti da taj omjer izuzetno utječe na svojstva materijala. Vlaknima većih duljina ( $l/d = 800$ ) postiže se čvrstoća od  $240 \text{ N/mm}^2$ . [2]



**Slika 4.3.** Prikaz utjecaja volumnog udjela vlakana bor-slicilij-karbida na svojstvima ojačanog aluminija

#### 4.1.4 Usmjerenost vlakana

Kada je opterećenje paralelno s vlaknima, jednosmjerna vlakna će imati optimalnu krutost i čvrstoću. Osim jednosmjerna, vlakna mogu biti položena ortogonalno ili pod kutem, čime nastaje rizik za najveću čvrstoću, međutim možemo postići bolja svojstva materijala. [2]

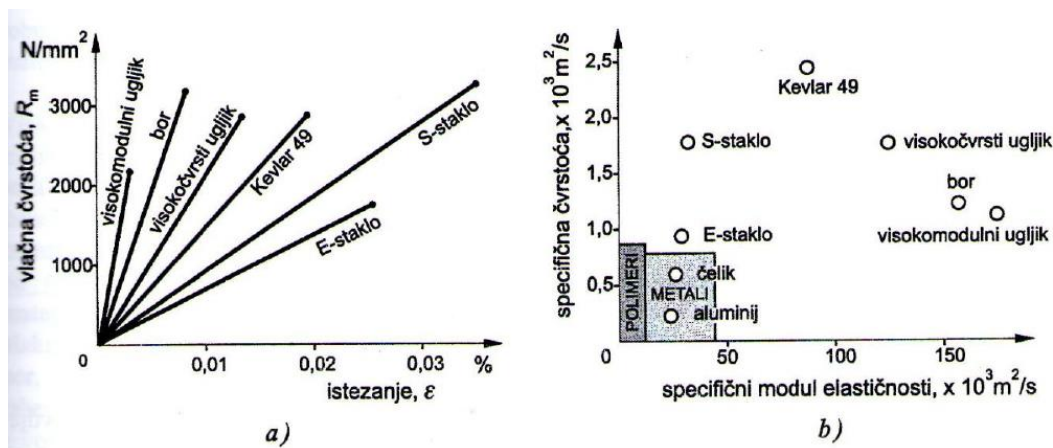


**Slika 4.4.** Prikaz usmjerenosti vlakana obzirom na naprezanje (Ti legura ojačana vlaknima bora)

Vlakna moraju imati visoko talište, imati čvrstoću, krutost, ali biti lagana. Materijali koji se preferiraju za vlakna su materijali visokog modula elastičnosti ili čvrstoće.

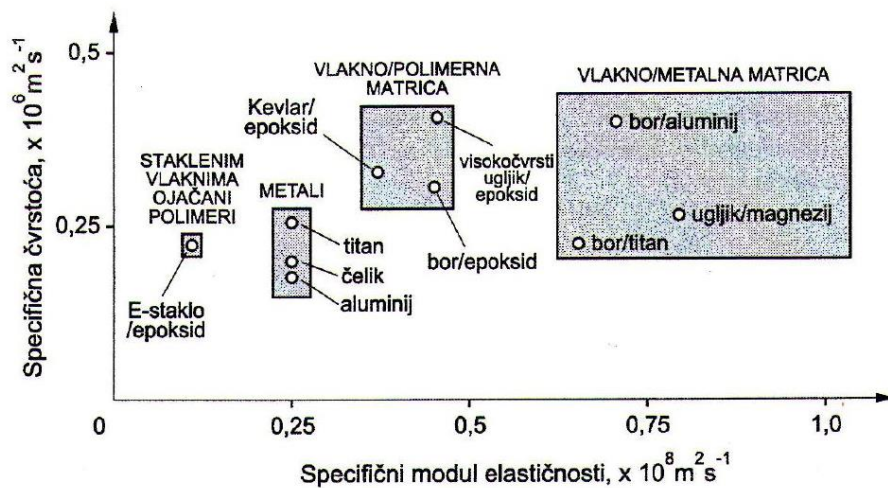
**Tablica 4.5. Vrijednosti materijala pogodnih za ojačanje vlaknima**

Materijal	Gustoća, kg/m <sup>3</sup>	Vlačna čvrstoća, N/mm <sup>2</sup>	Specifična čvrstoća, (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /s)	Modul elastičnosti, kN/mm <sup>2</sup>	Specifični modul, (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /s)
<b>Viskeri</b>					
Grafit	2200	20700	9,1	700	318
Silicij-nitrid (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	3200	5000...7000	1,56...2,2	350...380	109...118
Aluminij-oksidi (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4000	10000...20000	2,5...5,0	700...1500	175...375
Silicij-karbid (SiC)	3200	20000	6,25	480	150
<b>Vlakna</b>					
Aluminij-oksidi	3950	1380	0,35	379	96
Aramid (Kevlar 49)	1440	3600...4100	2,5...2,85	131	91
Ugljik <sup>a</sup>	1780...2150	1500...4800	0,70...2,70	228...724	106...407
E-staklo	2580	3450	1,34	72,5	28
Bor	2570	3600	1,40	400	156
Silicij-karbid	3000	3900	1,30	400	133
PE-UHMW (Spectra 900)	970	2600	2,68	117	121
<b>Metalne žice</b>					
Visokočvrsti čelik	7900	2390	0,30	210	26,6
Molibden	10200	2200	0,22	324	31,8
Volfram	19300	2890	0,15	407	21,1



**Slika 4.5.** Karakteristike vlakana: a) dijagram naprezanja b) usporedne vrijednosti specifične čvrstoće i modula elastičnosti metala i vlakana

Materijali matrice su žilavi te samim tim preuzimaju opterećenja na vlakna i sprječavaju pukotine rastavljenih vlakana da uznapreduju putem cijelog materijala. Da bi matrica pridonijela konačnoj čvrstoći kompozita treba biti čvrsta, a na prikladnost matrice uglavnom utječe talište. Metalne matrice dopuštaju više radne temperature. Temperature do kojih se polimeri mogu primjenjivati su od 80 °C za nezasićene poliesterske smole, do 315 °C za poliamide. [2,3]



**Slika 4.6.** Prikaz usporedbe modula elastičnosti i čvrstoće (metal-kompozit)



## 5. MATERIJALI KOMPOZITNIH KOMPONENATA

### 5.1. Materijali matrice

Baza kompozita s vlaknima može biti metal, polimer ili keramika. Osnovno se metali i polimeri koriste kao baza materijala iz zahtjeva određene duktilnosti. Značajna prednost kompozita je što omogućavaju rad pri izrazito visokim temperaturama (preko 700 °C). Cijena proizvodnje je uvjetovana iznimno kompliciranim postupcima izrade, i s tim razlogom je uporaba uglavnom ograničena. Materijali baze mogu biti metali poput superlegura na bazi nikla i kobalta, titanovih legura, te lakih magnezijских i aluminijskih legura. Ukoliko je izloženost visokim temperaturama mala, upotreba ugljičnih vlakana je uvelike ograničena, pretežno na aluminijske i magnezijeve matrice. [1,2,7]

Kompoziti sa metalnom matricom imaju prednosti od kojih su:

- visoka čvrstoća
- visoka krutost uz nisku gustoću
- visoka toplinska i električna vodljivost
- niska toplinska rastezljivost
- dobra otpornost na trošenje
- dobra svojstva s visokim temperaturama.

Nedostaci:

- komplicirana proizvodnja
- visoka cijena - cijena pada sa većom primjenom
- nedovoljno smjernica za konstruiranje s tom vrstom materijala
- nemogućnost recikliranja

#### 5.1.1. Kompoziti s keramičkom matricom

Keramički matrični kompoziti su podskupina kompozitnih materijala kao i podskupina keramike. Radi se o vrsti kompozita koji sadrži keramičku bazu koja je dodatno ojačana česticama ili viskerima. I matrica i vlakna mogu se sastojati od bilo kojeg keramičkog materijala, pri čemu se ugljikova i ugljična vlakna također mogu smatrati keramičkim materijalom. Svojstva koja opisuju ovu vrstu kompozita je visoka otpornost prema koroziji, visoka tvrdoća, te mala masa.

Iz razloga niske lomne žilavosti u usporedbi na metal, glavni nedostatak ovog materijala je sklonost krhkom lomu. Danas se taj problem još uvijek pokušava riješiti razvojem unaprijeđenih keramičkih kompozita.

Matrice su podijeljene u sljedeće skupine:

- oksidna keramika;
- neoksidna keramika;

Ugradnjom keramičkog materijala čestice ili viskera u bazu druge vrste keramike, lomna žilavost se može povećati do čak 10 puta. To se postiže međudjelovanjem pukotine i ojačala pri čemu čestice ili viskeri sprečavaju napredovanje pukotine. Kod kompozita ojačanih keramičkim viskerima usporavanje se osigurava na zaobljavanju vrha pukotine, premošćivanju, apsorpiranju energije prilikom razvlačenja pri čemu se viskeri odvajaju od matrice gdje dolazi do preraspodjele naprezanja u rubnim područjima pukotine. Sa viskerima imamo prednosti (u odnosu na neojačane keramičke materijale) uveliko manje rasipanje čvrstoće materijala. Tako ojačani kompoziti izuzetno su otporni na pojavu puzanja i toplinske šokove uzrokovane naglim promjenama temperature. Proizvodnja kompozita s keramičkom matricom izvodi se postupkom vrućeg prešanja (HP), vrućeg izostatičkog prešanja (HIP) i sinteriranja. Ovu vrstu kompozita se najviše koristi kod mehanički opterećenih dijelova koji su izloženi visokim radnim temperaturama ( $> 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) poput pojedinih dijelova motora. [1,2]

### 5.1.2. Kompoziti s polimernom matricom

Polimerni kompozitni materijali su lagani, nude visoki omjer čvrstoće i težine te povećanu otpornost na toplinu. Kompoziti imaju vrlo različita svojstva i primjene, ovisno o vrsti matrice, ojačanja, omjeru između njih, formulacijama, obradi itd. Čvrstoća vezivanja vlakana i polimerne matrice u kompozitu smatra se jednim od glavnih čimbenika kako bi se dobila vrhunska ojačana vlakna svojstva polimernih kompozita. Ova vrsta kompozita je danas najzastupljenija. Koriste se u raznim granama industrijske proizvodnje poput automobilske industrije, u brodogradnji, građevinarstvu, elektrotehnici, zrakoplovstvu, vojnoj industriji, te u svemirskim programima. Sastoje se od polimerne smole (epoksidne ili nezasićene smole) kao matrice i punila i/ili ojačavala. [2,4]

Reakcija polimernog kompozita će ovisiti o:

- svojstvu materijala i ojačanja,
- veličinama i rasporedu konstituenata,
- volumnom udjelu konstituenata,
- jakosti veza između konstituentima

Istovremeno se može postići:

- visoka čvrstoća
- visoka krutost - mala masa
- postojanost na različite medije

### 5.1.3. Kompoziti s metalnom matricom

Svojstva koja opisuju ovu vrstu kompozita su iznimno dobra mehanička svojstva. Ojačavamo metalnu matricu česticama, kontinuiranih i diskontinuiranih vlakana, modificiramo vrijednosti matrice te joj tako povisujemo specifičnu čvrstoću i specifičnu krutost, te poboljšavamo otpornost na puzanje materijala. Njihova proizvodnja je ograničena usljed iznimno kompliciranih postupaka izrade i visoke cijene. Materijali matrice mogu biti metali poput superlegura na bazi nikla i kobalta, titan legura, te lakih magnezijjskih i aluminijskih legura. [1,2,3] U dva koraka se izvršava postupak prerade kompozita s metalnom matricom:

- Sjedinjenje
- Oblikovanje

Kompoziti s metalnom matricom imaju svoje prednosti, a one su:

- visoka čvrstoća i krutost
- visoka toplinska i električna vodljivost
- niska toplinska rastezljivost
- dobra otpornost na trošenje
- odlična svojstva s visokim temperaturama

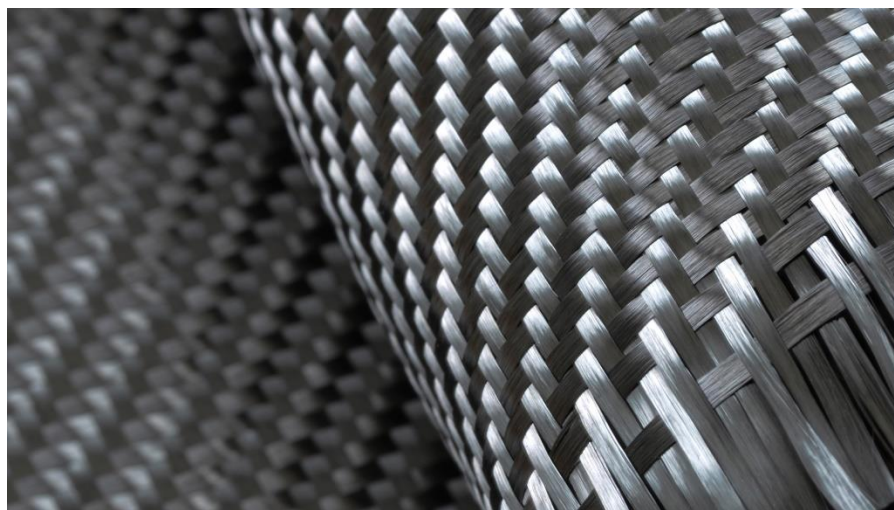
Međutim, imaju i svoje nedostatke:

- komplicirana izrada
- visoki troškovi proizvodnje
- nedovoljno smjernica za konstruiranje
- nemogućnost recikliranja

## 6. PROIZVODNJA I PRERADA

### 6.1. Proizvodnja vlakana

Želimo li postići optimalna svojstva, vlakna trebamo u matricu postavljati na odgovarajuće položaje (raspored, razmak). Ukoliko imamo diskontinuirana vlakna možemo ih miješati s materijalom baze kako bi postigli nasumično ili određeno pozicioniranje. Kontinuirana vlakna se raspoređuju jednosmjerno (npr. trake), ortogonalno (npr. tkanine) i namotavanjem. Bor i ugljik su previše krhki da bi ih mogli proizvesti tipičnim postupkom vučenja. Vlakna bora se proizvode postupkom neparivanja gdje se filament volframa neparuje spojem bora koji se raspada. Tim postupkom dolazi do taloženja bora na volframovu žicu. Ugljična vlakna se proizvode postupkom karbonizacije ili pređenjem. Organski filament (prethodnik) može biti poliamid, poliakrilnitril ili katran. Organski polimer se raspada gdje se oslobađaju svi elementi osim ugljika. Ukoliko se temperature povisi sa 1000 °C na 3000 °C, u tom slučaju će se vlačna čvrstoća smanjiti a modul elastičnosti povećati. Izvlačenjem ugljičnog filameta tijekom karbonizacije može se izazvati željena preferirana orijentacija. Filament može biti labavo isprepleten u pređu ili konac koji može sadržavati stotine ili tisuće filamenata. [5,6]



**Slika 6.1.** Proizvodnja ugljičnih vlakana

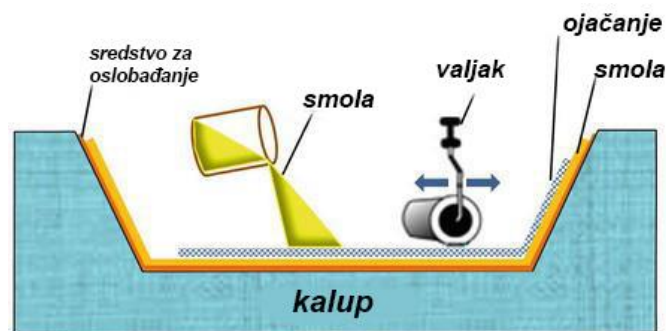
## 6.2. Proizvodnja kompozita

Postoji nekoliko metoda za izradu složenih materijala. Odabir proizvodne metode će ovisiti o materijalima, dizajnu, izvedbi i krajnjoj upotrebi ili primjeni.

### 6.2.1. Ručno postavljanje

Ovo je ujedno najstariji postupak proizvodnje kompozita, posebno prikladan za male proizvodne serije, srednjih do vrlo velikih izradaka. Stlačivanje i preoblikovanje obavlja se ručno.

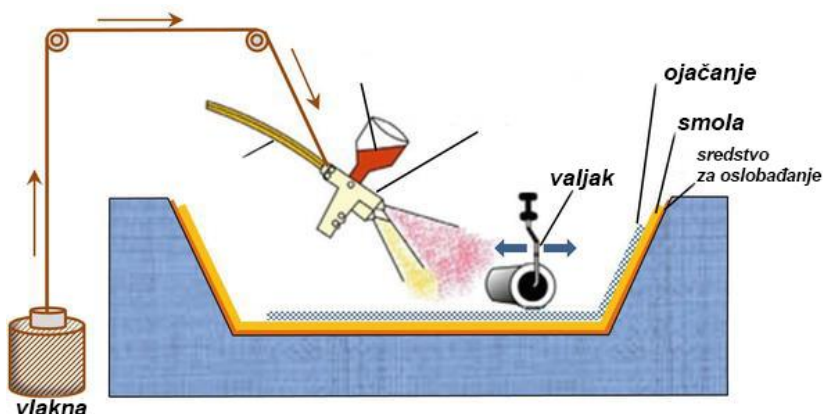
Na kalup premazan s tvari za lakše odvajanje, najprije se kistom nanosi sloj smole spremne za polireakciju uz umreživanje, ali bez ojačavala i punila. Zatim se redom nanose slojevi staklenog mata ili tkanine natopljeni hladno umrežujućom smolom, a valjkom se istiskuje zrak zadržan između slojeva. Smola bez ojačavala i punila čini i završni sloj u debljini dovoljnoj da pokrije stakleno ojačanje. Tako se dobije slojevit izradak, laminat. Smole su rukom impregnirane u vlakna koja su u obliku pletenih, ušivenih ili vezanih tkanina. U ovoj se tehnici kalup prvo tretira otpuštanjem plijesni. Suha vlakna ili suhe tkanine se polažu na kalup, a tekuće smole se izlijevaju i šire na vlaknaste slojeve, što se postiže valjcima ili četkicama. Valjak ili četka koristi se za vlaženje vlakana i uklanjanje zraka zarobljenog u površinama. Nekoliko slojeva vlakana se navlaži, a laminati se ostave da očvrstnu u standardnim atmosferskim uvjetima. Nakon stvrdnjavanja ovih slojeva dodaje se više slojeva. [6]



Slika 6.2. Postupak proizvodnje ručnim postavljanjem smole

### 6.2.2. Proizvodnja kompozita metodom raspršivanja

Ako se koristi gel premaz, on se raspršuje u kalup određene debljine. Kada se gel premaz stvrdne, kalup je spreman za postupak. Vlakna i katalizirana smola viskoznosti od 0,5 do 1 Pa ulijevaju se u kalup pomoću pištolja za raspršivanje. Pištolj usitnjava kontinuirana vlakna u duljine snopa kratkih vlakana, i zatim ih raspršuje kratka izravno u raspršeni tok smole tako da se oba materijala istodobno primjenjuju na površini kalupa. U posljednjim koracima postupkom raspršivanja, radnici ručno kompaktiraju laminat s valjcima. Zatim se složeni dio očvršćuje, hladi i uklanja iz kalupa. [6]

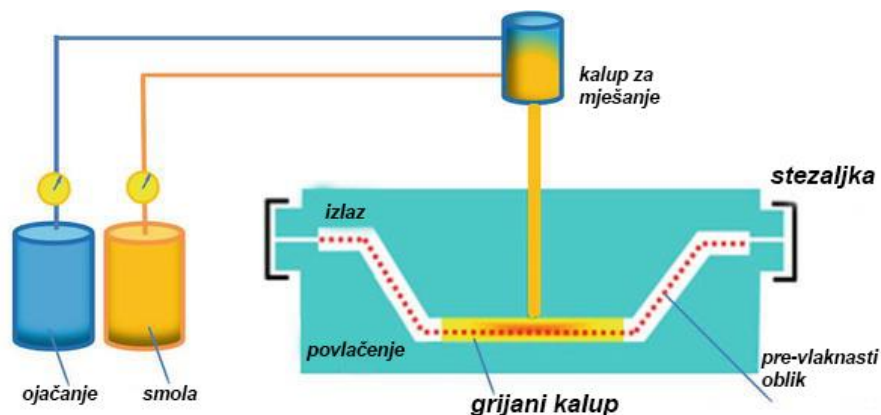


Slika 6.3. Prikaz proizvodnje metodom raspršivanja

### 6.2.3. Proizvodnja metodom tekućeg oblikovanja

Uz sve veću potražnju proizvodnje, industrija je koristila alternativne postupke izrade za zamjenu radničkih ruku, kao i ohrabrene proizvođače za automatizaciju tih procesa kad god je to moguće.

Proizvodnja postupkom prelijevanja smole (RTM), koje se ponekad naziva i tekuće oblikovanje, prilično je jednostavan postupak. Imamo suhu armaturu, koju stavimo u kalup i kalup zatvorimo. Smola niske viskoznosti koristi se u RTM tehnici kako bi se osiguralo da smola brzo i temeljito prodire kroz predoblik prije gela i stvrdnjavanja, posebno s debelim sastavljenim dijelovima. Reakcijsko injekcijsko lijevanje (RIM) ubrizgava smolu brzog očvršćivanja u kalup u dva odvojena toka. Miješanje i kemijska reakcija odvijaju se u kalupu umjesto u glavi za raspršivanje. [6]



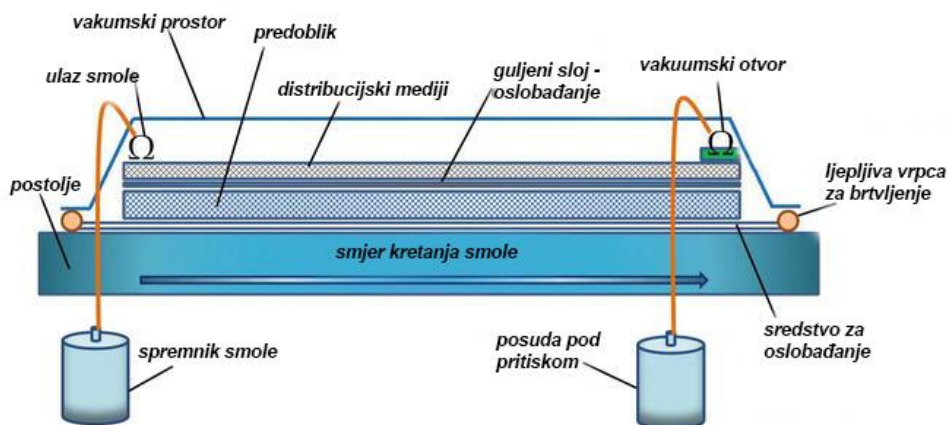
**Slika 6.4.** Prikaz proizvodnje metodom tekućeg oblikovanja

Dobavljači automobilske industrije kombinirali su konstrukcijski RIM (SRIM) s postupcima brze predoblikovanja kako bi proizveli konstrukcijske dijelove koji ne zahtijevaju završnu obradu.

#### 6.2.4. Proizvodnja vakumskim prešanjem smole

(eng. vacuum-assisted resin transfer moulding)

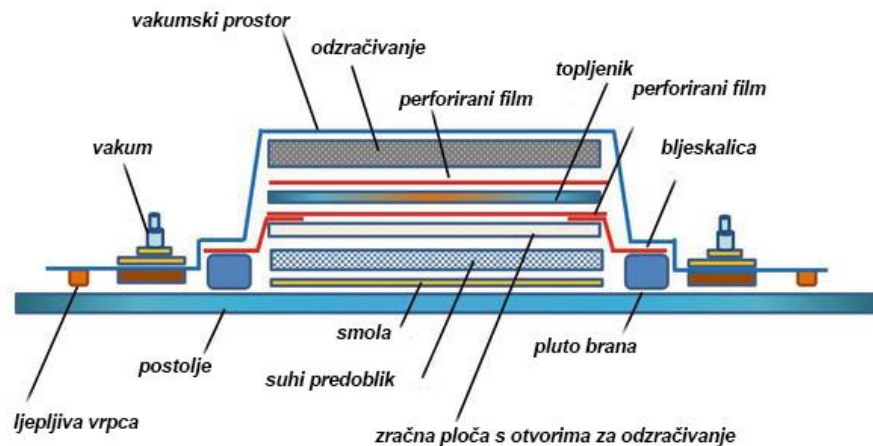
Predstavlja najbrže rastuću tehnologiju oblikovanja. Razlika između VARTM i RTM je ta što se u VARTM smola uvlači u predoblik samo pomoću vakuuma, umjesto da se pumpa u pod pritiskom kao RTM. VARTM tehnika ne zahtijeva visoku toplinu ili pritisak. VARTM obično djeluje s jeftinim alatima koji omogućuju jeftinu proizvodnju velikih, složenih dijelova u jednom kadru. [6]



**Slika 6.5.** Prikaz vakumskog prešanja smole

### 6.2.5. Proizvodnja infuzijskim postupkom

Infuzija smolastog filma (RFI) hibridni je postupak u kojem se suha predsklopa postavi u kalup na vrhu sloja ili isprepletenog s više slojeva filma visoke smolne viskoznosti. Pod primijenjenom toplinom, vakuumom i pritiskom, smola se ukapljuje i uvlači u predobliku, što rezultira ujednačenom raspodjelom smole, čak i ako su očvrstnute smole visoke viskoznosti zbog kratkog udaljenosti protoka. Korištenjem tehnika infuzije smole, volumen vlakana može biti i do 70%, a automatizirane kontrole osiguravaju male praznine i dosljednu reprodukciju predoblika, bez potrebe za obrezivanjem. Infuzija smole našla je značajnu primjenu u gradnji brodova. Ovu su metodu također primijenili The Boeing Co. (Chicago, IL, USA) i NASA, kao i male tvrtke za proizvodnju. [6]

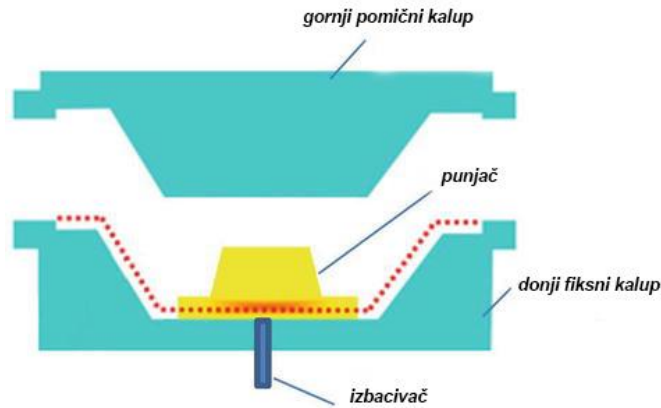


Slika 6.6. Prikaz infuzijskog postupka proizvodnje

### 6.2.6. Proizvodnja kompresijskim oblikovanjem

Kompresijsko oblikovanje precizan je i potencijalno brz postupak proizvodnje visokokvalitetnih kompozitnih dijelova u širokom rasponu volumena. Materijal se ručno ili robotski stavlja u kalup. Polovine kalupa su zatvorene, a pritisak se vrši pomoću hidrauličkih preša. Vrijeme ciklusa varira ovisno o veličini i debljini dijela. Ovim se postupkom dobivaju složeni dijelovi visoke čvrstoće u širokoj veličini. Kompoziti se obično obrađuju kompresijskim lijevanjem i uključuju termoreaktivne preprege, termoplastiku ojačanu vlaknima, masivne spojeve (BMC) i sječene termoplastične vrpce. [6]

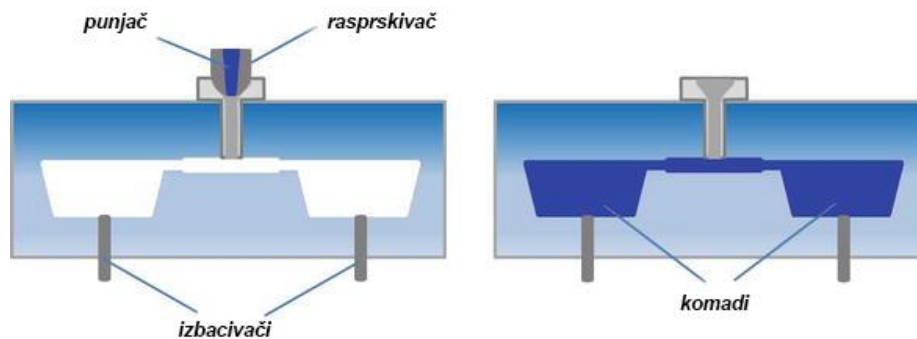




**Slika 6.7.** Prikaz kompresijskog postupka proizvodnje

### 6.2.7. Proizvodnja postupkom injekcijskog lijevanja

Strojevi za injekcijsko lijevanje s povratnim vijkom uvedeni su u 1960-ima i danas se koriste. Brzine ubrizgavanja obično su jedna do nekoliko sekundi, a mnogi dijelovi se mogu proizvesti na sat u nekim kalupovima s više šupljina. [6]

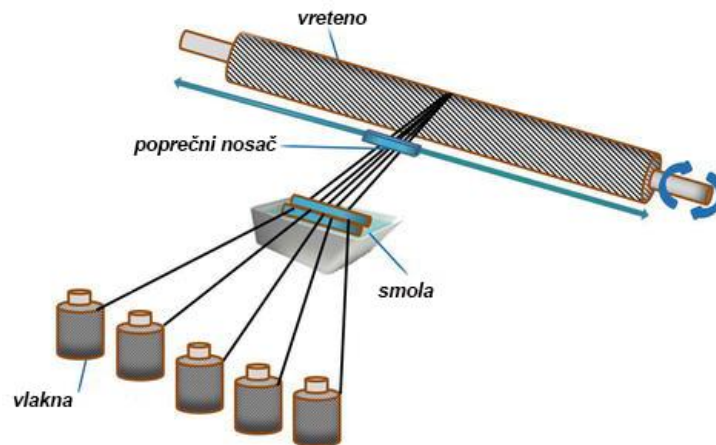


**Slika 6.8.** Prikaz injekcijskog lijevanja

### 6.2.8. Proizvodnja postupkom navijanja niti

Namotavanje niti je kontinuirana metoda izrade koja može biti visoko automatizirana i ponovljiva, s relativno niskim materijalnim troškovima. Dugi cilindrični alat nazvan vreteno visi vodoravno između krajnjih nosača. Suha vlakna prolaze kroz kupku od smole koju treba navlažiti. Instrument za nanošenje vlakana pomiče se naprijed-natrag duž duljine okretnog reznja

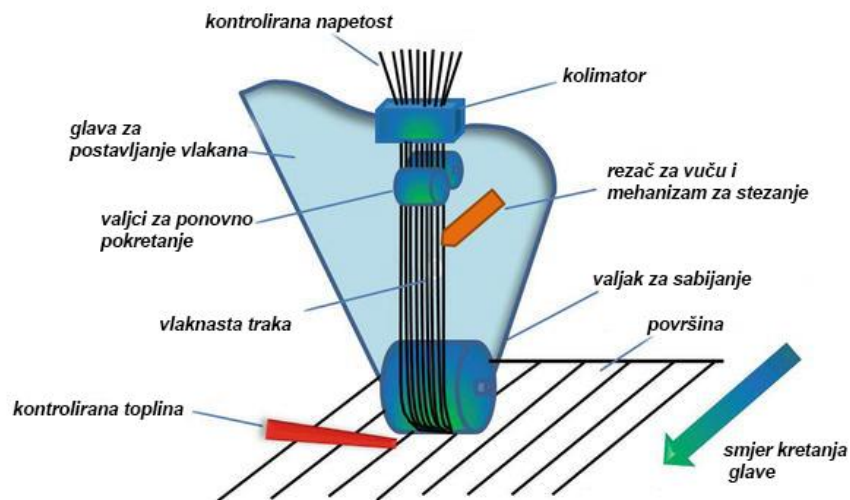
s poprečnim nosačem, postavljajući vlakna na alat u unaprijed određenoj konfiguraciji. Računalno upravljani strojevi za namatanje filamenata koriste se za raspoređivanje osi kretanja.



**Slika 6.9.** Prikaz postupka proizvodnje navijanjem niti

### 6.2.9. Automatizirano postavljanje vlakana

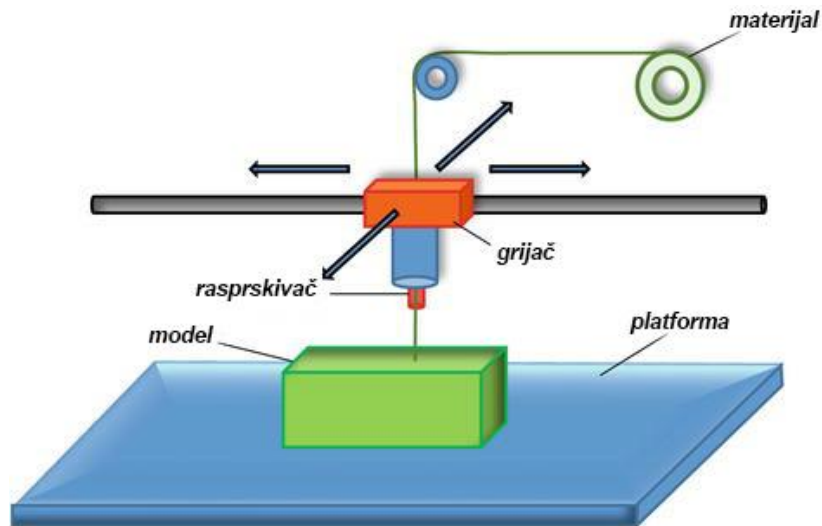
Automatizirano postavljanje vlakana (AFP) jedna je od najnaprednijih metoda za proizvodnju. Ova se metoda koristi za kontinuiranu traku ojačanom vlaknima. Robot se koristi za postavljanje vrpce ojačane vlaknima i izgradnju jednog sloja. Upotreba robotike daje operateru aktivnu kontrolu nad svim procesnim kritičnim varijablama, što čini proces vrlo kontroliranim i ponovljivim. Ova metoda omogućuje izradu visoko prilagođenih dijelova, jer se svaki sloj može postaviti pod različitim kutima kako bi se najbolje prenijele potrebne opterećenja. [6]



**Slika 6.10.** Prikaz automatiziranog postavljanja vlakana

## 7.PROIZVODNJA ADITIVA

Proizvodnja aditiva poznata je i kao tehnika 3D ispisa. Proizvodnja aditiva korak je u razvoju konceptata brzog prototipiranja koji su uvedeni prije više od 20 godina. To je postupak izrade čvrstog predmeta iz trodimenzionalnog digitalnog modela, obično polaganjem mnogih uzastopnih tankih slojeva materijala. Izrada kompozitne strukture s jednom mlaznicom koristi polimerno kompozitno vlakno, te sadrži polimer i aditive poput gumene mikrosfere, čestice staklenog ili ugljičnog vlakna. Ovaj noviji oblik proizvodnje kompozitnih dijelova prerastao je napor da se smanje troškovi u fazi dizajniranja do prototipa razvoja proizvoda, posebno usmjeravajući se na materijalno, radno i vremenski intenzivno područje izrade alata. [6]



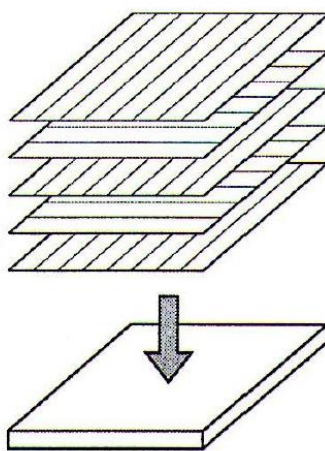
Slika 7. Prikaz proizvodnje aditiva

## 8. SLOJEVITE KOMPOZITNE STRUKTURE

Slojevite kompozitne materijale i sendvič konstrukcije moglo bi se zajedno nazvati “strukturni kompoziti”. Sastavljeni su od homogenog i kompozitnog materijala čija svojstva ne ovise samo o svojstvima konstitutivnih materijala, već o geometrijskom rasporedu elemenata. Glavni predstavnici strukturnih kompozita su laminatne (slojevite) konstrukcije i sendvič konstrukcije. [2]

### 8.1. Laminati – slojeviti kompoziti

Laminatne konstrukcije su sastavljeni od dvodimenzionalnih slojeva ili “panela“ s određenim smjerom čvrstoće. Svojstva će varirati obzirom na orijentiranje vlakana u pojedinim slojevima, a slojevi su složeni i dodatno međusobno čvrsto povezani. [2]

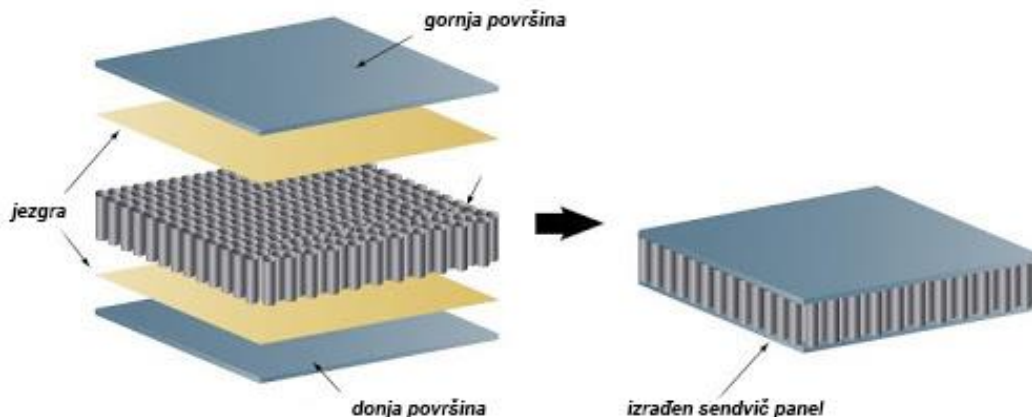


**Slika 8.1.** Slaganje kod laminatnih konstrukcija

### 8.2. Sendvič konstrukcije

Sendvič strukturiran kompozit posebna je vrsta složenog materijala koja se izrađuje pričvršćivanjem dvije tanke, ali čvrste površine na laganu, ali gustu jezgru. Najbolji primjer ove vrste konstrukcije je valoviti karton gdje je jezgra sa svake strane vezana za slojeve debelog papira. Površinski slojevi i sama jezgra nisu čvrsti, međutim njihovom kombinacijom dobijamo

kruti spoj. Ostali značajni primjeri su strukture u obliku pčelinjeg saća koje se primjenjuju u zrakoplovstvu. [2]



**Slika 8.2.** Prikaz sendvič strukture

Vanjski slojevi su uglavnom proizvedeni od materijala više čvrstoće i krutosti. Površinske komponente prenose opterećenja prema smjeru ravnine, ali i poprečna naprezanja uslijed savijanja. Kao površinski slojevi rabe se legure aluminija, vlaknima ojačani polimerni materijali, titan, čelik i šperploče. Za izradu jezgre rabe se različiti materijali: pjenasti polimeri, sintetički kaučuk i drvo. [2]

### 8.3. Stanična kruta tijela (pjene)

Stanični materijali omogućuju optimizaciju krutosti, čvrstoće ili apsorpcije energije obzirom na masu materijala. Proizvodnja pjene je jednostavna, postiže se upuhivanjem i mehaničkim pobuđivanjem nekog plina pod tlakom u rastaljeni polimer. Uglavnom se primjenjuje metoda mješanja kemijskog sredstva sa zrnima polimera prije procesa. Tijekom ugrijavanja oslobađa se CO<sub>2</sub>, posljedica čega je stvaranje plinskih mjehurića u kraju procesa. Slična sredstva mogu biti umješana u plastomere tako da se tijekom prerade oslobađa plin koji ekspandira oblikujući polimernu pjenu. Ukoliko se postupak izvršava u zatvorenom kalupu, dobija se proizvod glatke, kompaktne površine dok je unutrašnjost porozna. [2]

## 9. PRIMJENA KOMPOZITA

Kompoziti nude brojne prednosti kao što su otpornost na koroziju, mala težina, čvrstoća, niži troškovi materijala, poboljšana produktivnost, fleksibilnost dizajna i trajnost. Stoga širok raspon industrija koristi kompozitne materijale i neke od njihovih uobičajenih primjena. Rast tržišta kompozita može se pripisati povećanom korištenju u zrakoplovnoj, obrambenoj i transportnoj primjeni. Očekuje se da će globalno tržište kompozitnih materijala dostići procijenjenih 40,2 milijarde dolara do 2024. godine. [6]

### 9.1 Zračno-Kosmički prostor

Glavni proizvođači originalne opreme (OEM), poput Airbusa i Boeinga, pokazali su potencijal korištenja kompozitnih materijala za velike primjene u zrakoplovstvu. NASA kontinuirano traži kompozitne proizvođače za inovativne pristupe i svemirska rješenja za rakete i druge svemirske letjelice. Kompoziti s termosetom određuju se za pregrade, trupce, krila i ostale primjene u komercijalnim, civilnim i vojnim zrakoplovnim područjima. Postoji nekoliko drugih primjena kompozita na područjima kao što su zračne folije, antenske strukture, rotor kompresora, vrata ležišta motora, ventilatori, zamašnjaci, konstrukcije za prijenos helikoptera, mlazni motori, radar, raketni motori, solarni reflektori, satelitske strukture, turbine, osovine turbine, osovine rotora u helikopterima, konstrukcije kutija krila, itd.

### 9.2. Arhitektura

Kompozitni materijali omogućuju arhitektima izradu dizajna koji su nepraktični ili nemogući s tradicionalnim materijalima, poboljšavaju toplinske performanse i energetske učinkovitost građevinskih materijala, te udovoljavaju zahtjevima građevinskog zakona. Kompozitni materijali također nude fleksibilnost dizajna i mogućnost oblikovanja složenih oblika. Oni mogu biti valoviti, zakrivljeni, rebrasti ili konstruirani na različite načine s različitom debljinom. Nadalje, tradicionalni izgled poput bakra, kroma ili zlata, mramora i kamena može se postići s dijelom troškova korištenjem kompozitnih materijala. Stoga arhitektonska zajednica bilježi znatan rast u razumijevanju i uporabi kompozita u poslovnim i stambenim zgradama.

### 9.3. Automobilizam

Ovo je jedno od najvećih tržišta kompozitnih materijala. Smanjenje težine je najveća prednost upotrebe kompozitnih materijala. Vozilo ili kamion manje težine ekonomičnije je jer zahtijeva manje goriva da bi se kretalo naprijed. Osim što omogućuju revolucionarne dizajne vozila, kompoziti pomažu u lakšim i ekonomičnijim vozilima. Kompozitni materijali koriste se u ležajima, motorima, felgama, karoserija, dodaci itd. Iako polimeri ojačani vlaknima poput CFRP-a u automobilima dobivaju najviše pažnje, kompoziti također igraju veliku ulogu u povećanju učinkovitosti goriva u kamionima i transportnim sustavima.

### 9.4. Izgradnja i infrastruktura

Termoset kompoziti zamjenjuju mnoge tradicionalne materijale za arhitektonske komponente kuće i ureda, uključujući vrata, učvršćenja, oblikovanje, krov, tuš kabine, bazene, sudopere, zidne ploče i okvire prozora. Kompoziti se koriste u cijelom svijetu kako bi se pomoglo izgraditi i popraviti široki raspon infrastrukturnih aplikacija, od zgrada i mostova do cesta, željeznica i stupova.

### 9.5. Korozivna okruženja

Proizvodi izrađeni od kompozitnih materijala pružaju dugoročnu otpornost na teška kemijska stanja i temperaturnu okolinu. Kompoziti su često izborni materijal za primjene u kemijskim područjima za rukovanje, korozivnim okruženjima, izloženosti na otvorenom i drugim teškim okruženjima kao što su postrojenja za kemijsku preradu, rafinerije nafte i plina, pretvaranje celuloze i papira i postrojenja za obradu vode. Uobičajene primjene uključuju ormare, kanale, ventilatore, rešetke, pumpe i spremnike. Polimerno kompozitne cijevi ojačane vlaknima koriste se za sve od nadogradnje kanalizacije i projekata otpadnih voda do primjene desalinizacije, nafte i plina. Kad korozija postane problem kod cijevi izrađenih od tradicionalnih materijala, polimer ojačan vlaknima je rješenje.

## 9.6. Energija

Kompoziti pomažu omogućiti korištenje energije vjetra i sunca i poboljšati učinkovitost tradicionalnih dobavljača energije. Kompozitni materijali nude proizvođačima vjetra snagu i fleksibilnost u obradi uz dodatnu korist od laganih komponenti i proizvoda. Vjetroelektrana je postavila rekordne instalacije u posljednjih nekoliko godina. Prema Globalnom vijeću za energiju vjetra, trend ove industrije može se nastaviti s globalnim kapacitetom vjetra za koji se predviđa da će se udvostručiti u narednih nekoliko godina. Kompoziti igraju vitalnu ulogu u proizvodnji struktura poput vjetrenjača.

## 9.7. Brodogradnja

Baš kao i u ostalim inženjerskim područjima, glavna borba brodogradnje je postići što je moguće lakšu strukturu. Industrija mora koristiti kompozite kako bi trup bio lakši i otporniji na oštećenja. Sa svojstvima otpornosti na koroziju i laganim atributima, brodske kompozitne primjene uključuju trup brodova, pregrade, palube, jarbole, propelere i druge komponente za vojne, trgovačke i rekreacijske brodove. Kompoziti se mogu naći u mnogim drugim područjima pomorskog broda, uključujući unutarnje lajsne i namještaj na luksuznim jahtama.



## ZAKLJUČAK

Zaključno sa svim, kompoziti imaju mnoge prednosti; u kompozitima se može koristiti širok raspon kombinacija materijala, što omogućava fleksibilnost dizajna. Kompoziti nam također omogućuju oblikovanja kompliciranih oblika. Materijali se mogu prilagoditi jedinstvenim specifikacijama. Kompoziti imaju malu težinu u odnosu na većinu metala i niže gustoće u usporedbi s mnogim metalima. Jači su od nekih drugih materijala. Materijali pružaju otpor štetnim vremenskim utjecajima i oštrim kemikalijama. Kompoziti imaju dug radni vijek i zahtijevaju malo održavanja. Zbog velikog broja dostupnih armature i proizvodnih procesa, mogućnosti dizajniranja kompozitnih proizvoda su brojne. Stoga se može odabrati kompozit i njegov postupak proizvodnje koji najbolje odgovaraju ruralnim društvima u razvoju u kojima će se proizvodi izrađivati i primjenjivati. Da bi se olakšale prednosti kompozita, potrebno je uzeti u obzir nekoliko aspekata:

- (a) razvoj koncepta
- (b) odabir i formulacija materijala
- (c) dizajn materijala
- (d) proizvodnja proizvoda
- (e) tržište
- (f) propisi

## LITERATURA

- [1] Z. Kolumbić, M. Dunder Materijali, Materijali, Sveučilište u Rijeci, Alfa Zagreb, 2013.
- [2] Filetin, T., Kovačićek, F., Indof, J.: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [3] T. Filetin: Materijali i tehnologijski razvoj, Zagreb, 2002.
- [4] B.Andričić : Priručnik, Prirodni polimerni materijali, Sveučilište u Splitu, 2008.
- [5] F. Kovačićek, I. Žmak: Metalni kompoziti, Vela Luka 2004.  
<http://biblio.irb.hr/datoteka/189027.metalni.pdf> pregledano,08.05.2020
- [6] „, Intoduction to Composite Materials“, From Knowledge to Industrial Applications  
<https://www.intechopen.com/online-first/introduction-to-composite-materials>  
pregledano,08.05.2020
- [7] “Particulate Composite”,Polymer Green Flame Retardants, 2014  
<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/particulate-composite>  
pregledano, 03.05.2020