

# Primjena ispitne opreme kod utvrđivanja svojstava kompozita

---

**Pavlić, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:829332>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**STROJARSKI ODJEL**

**PROIZVODNO STROJARSTVO**

**JOSIP PAVLIĆ**

**PRIMJENA ISPITNE OPREME KOD UTVRĐIVANJA  
SVOJSTAVA KOMPOZITA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Karlovac, 2016.**

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**STROJARSKI ODJEL**

**PROIZVODNO STROJARSTVO**

**JOSIP PAVLIĆ**

**PRIMJENA ISPITNE OPREME KOD UTVRĐIVANJA  
SVOJSTAVA KOMPOZITA**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Tihana Kostadin, mag.ing.str.

**Karlovac, 2016.**



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J. J. Strossmayera 9

HR • 47000 Karlovac • Croatia

tel. +385 (0)47 843-510

fax. +385 (0)47 843-579

e-mail: [referada@vuka.hr](mailto:referada@vuka.hr)



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

**Stručni / specijalistički studij:**.....STROJARSTVO.....  
(označiti)

Usmjerenje:.....PROIZVODNO STROJARSTVO.....Karlovac, 24.11.2015.....

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....JOSIP PAVLIĆ..... Matični broj: 0110612081

Naslov: **PRIMJENA ISPITNE OPREME KOD UTVRĐIVANJA SVOJSTAVA KOMPOZITA**

Opis zadatka:

U završnom radu nakon kratkog uvoda, potrebno je u teorijskom dijelu rada obraditi osnove o kompozitnim materijalima, vrste, svojstva i primjenu. Nakon postavke zadatka, u eksperimentalnom dijelu napraviti ispitivanja mehaničkih svojstava za određene materijale, opisati ispitnu opremu, te napraviti analizu rezultata. Na kraju napisati odgovarajući zaključak. Eksperimentalni dio rada odraditi u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu.

Završni rad urediti prema pravilima o pisanju završnih radova Veleučilišta u Karlovcu.

Zadatak zadan:  
24.11.2015.

Rok predaje rada:  
08.03.2015.

Predviđeni datum obrane:  
22.03.2016.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ja – student Josip Pavlić, OIB: 37682285919, matični broj: 0110612081, radio ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Tihane Kostadin, mag.ing.stroj., i kod eksperimentalnog dijela u laboratoriju Ane Fudurić, bacc.ing.mech., kojima se ovim putem zahvaljujem.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na svojoj pruženoj potpori i pomoći tijekom studija.

Josip Pavlić

Karlovac,07.03.2016.

---

## **SAŽETAK:**

U ovom završnom radu nakon kratkog uvoda , opisane su osnove o kompozitnim materijalima. Dalje su navedeni neki primjeri kompozita. Navedene su i opisane četiri osnovne vrste kompozita. U slijedećem dijelu opisana je podjela kompozita prema materijalu matrice. Detaljno su razrađena svojstva kompozitnih materijala. Na kraju teoretskog dijela pokazani su neki primjeri primjene kompozita.

U eksperimentalnom dijelu rada opisana je oprema i način provedbe statičkog vlačnog pokusa na kraljici SHIMADZU . Na petnaest ispitnih uzoraka od različitih materijala : akrila,astonea i akrila ojačanog staklenim vlaknima napravljen je statički vlačni pokus.

Napravljena je usporedba i analiza rezultata .

## **KLJUČNE RIJEČI :**

kompozitni materijali, vlakna, mehanička svojstva, ispitna oprema

## **SUMMARY:**

In this final thesis The application of testing equipment in determination of properties of composites basics of composite materials have been described after a brief introduction. Further, some composite examples have been given. Four basic sorts of composites have been given and described. Furthermore, the division of composites depending on matrix material has been described. Properties of composite materials have been elaborated in detail. Some examples of composite application have been shown at the end of the theoretical part.

The equipment and the implementation mode of a static tensile strength experiment on a SHIMADZU tearing machine have been described in the experimental part of the thesis. The experiment has been made on fifteen test samples of composite materials acrylic, astone and acrylic reinforced with glass fibres.

A comparison as well as an analysis of the results have been made.

## **KEYWORDS :**

composite materials, fibers, mechanical properties, test equipment

## SADRŽAJ:

POPIS SLIKA  
POPIS TABLICA  
POPIS OZNAKA  
POPIS PRILOGA

1. UVOD .....	14
2. KOMPOZITNI MATERIJALI .....	15
2.1. Osnove o kompozitnim materijalima i njihova podjela.....	15
2.2. Primjeri kompozita .....	16
3. VRSTE KOMPOZITA .....	17
3.1. Kompoziti s česticama.....	17
3.2. Vlaknima ojačani kompoziti.....	18
3.3. Slojeviti kompoziti.....	19
3.4. Sendvič konstrukcije .....	20
4. PODJELA KOMPOZITA PREMA MATERIJALU MATRICE.....	21
4.1. Kompoziti s polimernom matricom.....	21
4.1.1. Staklenim vlaknima ojačani polimerni kompoziti.....	23
4.1.2. Ugljičnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti.....	23
4.1.3. Aramidnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti.....	23
4.2. Kompoziti s metalnom matricom. ....	23
4.3. Kompozit s keramičkom matricom.....	24
5. SVOJSTVA KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	25
5.1. Matrice.....	25
5.1.1. Mehanička svojstva matrice.....	25
5.1.2. Adhezijska svojstva matrice.....	27
5.1.3. Svojstva žilavosti matrice.....	27
5.1.4. Eksploatacijska svojstva matrice.....	27
5.1.5. Epoksidne smole.....	27
5.1.6. Usporedba svojstava materijala matrice.....	28
5.1.7. Adhezijska svojstva.....	28
5.1.8. Mehanička svojstva.....	28
5.1.9. Otpornost na stvaranje mikro pukotina.....	29
5.1.10. Otpornost na umor materijala.....	30
5.1.11. Otpornost na prodiranje medija.....	30
5.2. Vlakna.....	31
5.2.1. Svojstva staklenih vlakana.....	31
5.2.2. Svojstva ugljičnih vlakana.....	32
5.2.3. Svojstva aramidnih vlakana.....	32
6. PRIMJENA KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	34
6.1. Stomatologija.....	34
6.2. Kirurgija.....	34
6.3. Automobilska industrija.....	35
6.4. Brodogradnja.....	36
6.5. Zrakoplovstvo.....	37
6.6. Građevina.....	38
6.7. Elektrotehnika.....	39



7.POSTAVKA ZADATKA.....	41
8.EKSPERIMENTALNI DIO.....	42
8.1.Opis opreme.....	42
8.2.Oblik i dimenzija epruvete.....	43
8.3.Ispitivanje statičke vlačne čvrstoće.....	45
8.4.Rezultati ispitivanja.....	50
8.5.Analiza i usporedba rezultata.....	53
9.ZAKLJUČAK.....	56
LITERATURA.....	57
PRILOZI.....	58

## POPIS SLIKA:

Slika 1. Beton.....	16
Slika 2. Fiberglass.....	16
Slika 3. Šperploča.....	16
Slika 4. Tvrdi metali.....	17
Slika 5. Vulkanizerska guma.....	17
Slika 6. Raspored vlaknastih ojačala.....	18
Slika 7. Dijagram naprezanje-istezanje vlaknima ojačanih kompozita.....	19
Slika 8. Laminati.....	20
Slika 9. Sendvič konstrukcija.....	20
Slika 10. Prikaz poboljšanih svojstava polimernih kompozita.....	21
Slika 11. Rešetke od polimernog kompozita.....	22
Slika 12. Trup glisera od polimernog kompozita.....	22
Slika 13. Klipnjača motora.....	24
Slika 14. Glodalo.....	24
Slika 15. Keramički nož.....	24
Slika 16. Keramička kočiona klješta.....	24
Slika 17. Dijagram svojstva materijala.....	26
Slika 18. Dijagram svojstva materijala vlakana i matrice.....	27
Slika 19. Usporedba vlačne čvrstoće.....	28
Slika 20. Usporedba vlačnog modula.....	28
Slika 21. Dijagram vlačno opterećenje kompozita.....	29
Slika 22. Dijagram usporedbe svojstava materijala matrice.....	30
Slika 23. Dijagram svojstva kompozitnih laminata nakon uranjanja u vodu.....	31
Slika 24. Stakleno vlakno.....	31
Slika 25. Ugljično vlakno.....	32
Slika 26. Aramidno vlakno.....	33
Slika 27. Dentalni amalgam.....	34
Slika 28. Umjetni kuk.....	35
Slika 29. Umjetno proizvedena krvna žila.....	35
Slika 30. Klipnjača od Al. legure.....	35
Slika 31. Ventili motora.....	35
Slika 32. Unutrašnjost automobila od karbonskih vlakana.....	36
Slika 33. Izrada trupa broda od fibreglassa.....	36
Slika 34. Izrada trupa broda od fibreglassa.....	36
Slika 35. Materijali korišteni na zrakoplovu Boeing 787 Dreamliner.....	37
Slika 36. Izrada kuće od kompozitnih materijala.....	38
Slika 37. Beton.....	38
Slika 38. Električni kablovi.....	39
Slika 39. Tiskane pločice.....	39
Slika 40. Kompozitne plinske boce.....	40
Slika 41. Kaciga.....	40
Slika 42. Vatrootporno odijelo.....	40
Slika 43. Sportski bicikl.....	40
Slika 44. Kidalica SHIMADZU AG-X.....	42

Slika 45. Epruveta izrađena standardom DIN 50 125.....	43
Slika 46 .Dimenzije epruvete astonea.....	44
Slika 47. Dimenzije epruvete akrila ojačanog staklenim vlaknima.....	44
Slika 48. Dimenzije epruvete akrila.....	44
Slika 49. Računalni program Trapezium x.....	45
Slika 50. Astone na bazi poliesterske smole.....	46
Slika 51. Akril ojačan staklenim vlaknima.....	46
Slika 52. Akril.....	46
Slika 53. Odabir sila .....	47
Slika 54. Odabir brzine.....	47
Slika 55. Odabir dimenzije epruvete.....	48
Slika 56. Odabir parametara.....	48
Slika 57. Pravilno postavljanje epruvete.....	49
Slika 58. Astone nakon puknuća.....	50
Slika 59. Akril ojačan vlaknima nakon puknuća.....	51
Slika 60. Akril nakon puknuća.....	52
Slika 60. Dijagram astona 1_3.....	54
Slika 61. Dijagram akrila ojačanog vlaknima 2_2.....	54
Slika 62. Dijagram akrila 3_2.....	55

## POPIS TABLICA :

Tablica 1. Rezultati ispitivanja astona.....	50
Tablica 2. Rezultati ispitivanja akrila ojačanog staklenim vlaknima.....	51
Tablica 3. Rezultati ispitivanja akrila.....	52
Tablica 4. Maksimalne vrijednosti sve tri vrste epruveta.....	53

## POPIS OZNAKA:

$d_0$	mm	promjer epruvete
$L_c$	mm	ispitna duljina epruvete
$L_t$	mm	ukupna duljina epruvete
$R_m$	$N/mm^2$	vlačna čvrstoća
$R_e$	$N/mm^2$	granica razvlačenja
$A$	%	istezanje
$Z$	%	kontrakcija
$l_0$	mm	početna duljina epruvete
$F_e$	N	sila tečenja
$F_m$	N	maksimalna sila
$S_0$	$mm^2$	poprečni presjek

## POPIS PRILOGA:

Prilog 1. Izvješće o ispitanom materijalu 1-1.....	58
Prilog 2. Izvješće o ispitanom materijalu 1-2.....	59
Prilog 3. Izvješće o ispitanom materijalu 1-3.....	60
Prilog 4. Izvješće o ispitanom materijalu 1-4.....	61
Prilog 5. Izvješće o ispitanom materijalu 1-5.....	62
Prilog 6. Izvješće o ispitanom materijalu 2-1.....	63
Prilog 7. Izvješće o ispitanom materijalu 2-2.....	64
Prilog 8. Izvješće o ispitanom materijalu 2-3.....	65
Prilog 9. Izvješće o ispitanom materijalu 2-4.....	66
Prilog 10. Izvješće o ispitanom materijalu 2-5.....	67
Prilog 11. Izvješće o ispitanom materijalu 3-1.....	68
Prilog 12. Izvješće o ispitanom materijalu 3-2.....	69
Prilog 13. Izvješće o ispitanom materijalu 3-3.....	70
Prilog 14. Izvješće o ispitanom materijalu 3-4.....	71
Prilog 15. Izvješće o ispitanom materijalu 3-5.....	72

## 1. UVOD

Kompozitni materijali su materijali sastavljeni od najmanje dva bitno različita materijala koji zajedničkim djelovanjem daju kompozitu takva svojstva kakva nije moguće postići zasebnim djelovanjem njegovih pojedinih komponenti, što im daje puno bolja svojstva kao što su otpornost na koroziju, veća krutost, duži vijek trajanja, manji troškovi održavanja.

Kompozitni materijali sastoje se od matrice i ojačala. Uloga matrice je da povezuje vlakna, prenosi opterećenja na vlakna i štiti vlakna od okolnih utjecaja i oštećenja, dok je uloga ojačala da osigura čvrstoću, tvrdoću, krutost i otpornost na trošenje.

Značajnija uporaba kompozita započela je nakon drugog svjetskog rata, ali puni potencijal te vrste materijala ostvaren je tek nakon razvoja posebne vrste ojačane plastike – suvremenih kompozita, koji uključuju visokomodulna vlakna, poput grafitnih i borovih vlakana, ili nižemodulna vlakna u kombinaciji sa matricama dobrih svojstava, kao što su epoksidne smole, vinil esterske smole, itd. Kombinacijom tih svojstava postižu se jedinstvena svojstva superiornija onima mnogih tradicionalnih materijala, uključujući aluminij i čelik. Primjerice, kompoziti imaju više specifične čvrstoće i specifične module elastičnosti u odnosu na tradicionalne materijale, što omogućuje smanjenje težine. To pak rezultira s porastom efikasnosti strukture, smanjenjem troškova energije i materijala. Dodatne prednosti kompozita su i otpornost na umor i koroziju, niski troškovi proizvodnje, mogućnost podešavanja toplinskih karakteristika (toplinska izvedljivost i vodljivost), prigušivanje vibracija, te fleksibilnost konstrukcije.

Prva uporaba suvremenih kompozita ostvarena je sa sendvič konstrukcijom koja je imala jezgru od drveta i ploče poliesterske smole ojačane staklenim vlaknima, a koristila se za izradu trupa aviona. Uskoro se ta tehnologija proširila u mnogim disciplinama, ali moderno doba suvremenih kompozita započelo je oko 1960. s razvojem borovih vlakana, koja su osim visoke specifične čvrstoće nudila i visoku specifičnu krutost. Daljnji razvitak raznih vrsta vlakana bio je popraćen i razvojem tehnologije matričnih smola.

Svojstva kompozita mogu se podesiti tako da zadovoljavaju široki spektar zahtijevanih karakteristika, te se zato koriste u raznim područjima, kao što su zrakoplovstvo, svemirska i automobilska industrija, elektronika.

## 2.KOMPOZITNI MATERIJALI

### 2.1. Osnove o kompozitnim materijalima i njihova podjela

Kompozitni materijali ili kompoziti materijali su dobiveni umjetnim spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava s ciljem dobivanja materijala takvih svojstava kakva ne posjeduje niti jedna komponenta sama za sebe.

Kompoziti mogu biti :

- metalno – metalni,
- metalno – keramički,
- metalno – polimerni,
- keramičko- polimerni,
- keramičko –keramički,
- polimerno – polimerni,
- polimerno – metalni.

Temeljna podijela kompozita :

- metalni,
- keramički,
- polimerni.

Kod toga se pretpostavlja da su osnova tj. matrica:metali,keramika,polimeri,kojoj se pridodaju različiti dodaci u cilju modificiranja svojstva matrice , odnosno dobivanja materijala takvih svojstava kakva ne posjeduje niti jedna komponenta sama za sebe. Kompozite nazivamo i višefaznim materijalima.

Obično,jedna faza (matrica) je kontinuirana i okružuje ostale (disperzne faze). [1]

Kompozite možemo razvrstati kao:

- kompoziti s česticama,
- vlaknima ojačani kompoziti,
- slojeviti kompoziti,
- sendvič konstrukcije.

Ponašanje kompozita ovisi o:

- svojstvima matrice i ojačala,
- veličini i raspodjeli konstituenata,
- volumnom udjelu konstituenata,
- obliku konstituenta,
- prirodi i jakosti veza među konstituentima.



## 2.2. Primjeri kompozita

- Beton (slika1.) - kompozit s česticama-sastoji se od skupine čestica međusobno spojenih cementom. Čestice su pijesak i šljunak, dok je veza posljedica kemijske reakcije cementa i vode.



Slika 1. Beton [2]

- Polimer ojačan staklenim vlaknima –fiberglass (slika 2.)- vlaknima ojačan kompozit-sastoji se od staklenih vlakana ograđenih u neki polimer.



Slika 2. Fiberglass [2]

-Ukočeno drvo (šperploča)-slojevit kompozit- sastoji se od naizmjeničnih slojeva furnira drva, prikazan na slici 3.



Slika 3. Šperploča [2]

### 3.VRSTE KOMPOZITA

#### 3.1.Kompoziti s česticama

S obzirom na veličinu čestice i način na koji čestice utječu na svojstvo kompozita ,čestice promjera do 0,1 μm rabe se kod kompozita s disperzijom, a čestice promjera većeg od 1,0 μm rabe se kod kompozita s velikim česticama. Kod kompozita s disperzijom male čestice spriječavaju gibanje dislokacija što dovodi do efekta ojačanja. Kompoziti s velikim česticama proizvode se u cilju postizanja takvih kombinacija svojstava kojima nije prvenstvena svrha osiguranje čvrstoće.

Zakon miješanja

Ovim zakonom svojstva kompozita s česticama ovise o relativnim udjelima pojedinih konstituenata. Gustoća takvog kompozita može se izračunati pomoću formule :

$$\rho_c = \sum V_i \cdot \rho_i ,$$

gdje su:

$\rho_c$  – gustoća kompozita,  
 $\rho_i$  – gustoća konstituenata,  
 $V_i$  – volumni udio konstituenata.

Zakon miješanja ima i neke svoje nedostatke , a to su tvrdoća i čvrstoća,koji se ne mogu izračunati.

Kompoziti s česticama mogu se primjeniti na tvrdim metalima, abrazivima, električnim kontaktima, polimerima, ljevačkim kalupima i jezgrama, te za lijevanje u poluskrućenom stanju.[1]

Primjeri: TVRDI METALI -metalna matrica+keramičke čestice(slika4.)  
- kobalt + volframovi karbidi

VULKANIZERSKA GUMA- polimerna matrica+čađa(slika5.)



Slika 4. Tvrdi metali [2]



Slika 5. Vulkanizerska guma [2]

### 3.2. Vlanknima ojačani kompoziti

Kod ovih kompozita dolazi do izražaja poboljšanje čvrstoće, žilavosti, krutosti, te povećanje omjera čvrstoće-gustoće uslijed ugradnje čvrstih i krutih vlakana u mekaniju, duktilniju matricu.

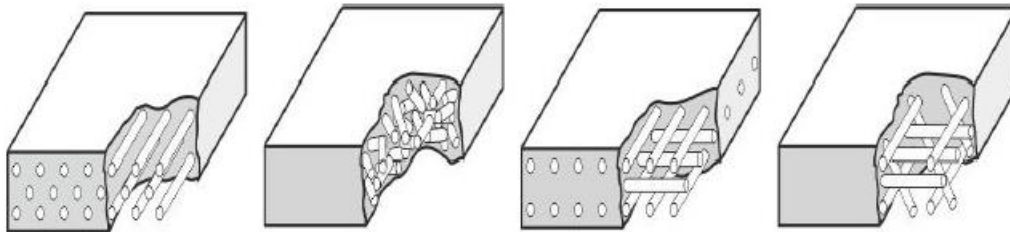
Vrste vlakana: npr.

- slama- za ojačanje glinenih opeka( u prošlosti),
- čelične šipke- za ojačanje betonskih konstrukcija,
- staklena vlakna- ugrađena u polimernu matricu-fiberglass,
- vlakna načinjena od bora i ugljika- za izrazito ojačanje.

Prema promjeru VLAJNA djelimo na: 

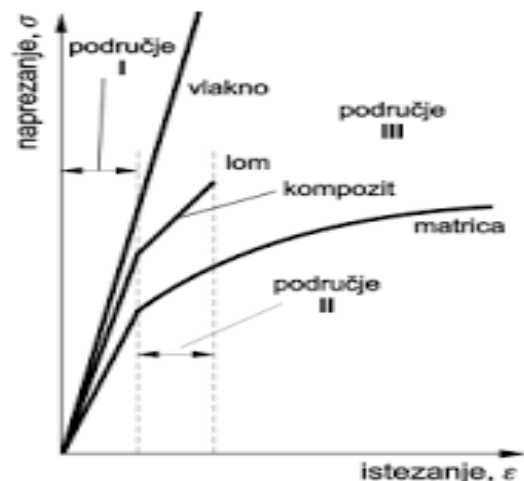
- viskere,
- vlakna,
- žice.

Viskeri su vrlo tanke niti keramičkih monokristala, visoke čvrstoće koji imaju ekstremno veliki omjer duljina-promjer. Raspored vlakana bitno utječe na svojstva vlaknastih kompozita. Mehanička svojstva kompozita ojačanih kontinuirano usmjerenim vlaknima su vrlo anizotropna. U smjeru vlakana čvrstoća je maksimalna dok je u smjeru okomito na vlakna minimalna. Slika 6. prikazuje različite rasporede vlaknastih ojačala.[1]



Slika 6. Raspored vlaknastih ojačala [2]

Kod visokog naprezanja započinje deformiranje matrice i dijagram "naprezanje – istežanje" više nije linearan što je prikazano slikom 7..



Slika 7. Dijagram naprezanje-istezanje vlaknima ojačan kompozit [13]

Ako opterećenje djeluje paralelno s kontinuiranim jednosmjernim vlaknima, zakonom miješanja može se točno predvidjeti modul elastičnosti:

$$E_c = V \cdot E_m + V_f \cdot E_f, m$$

gdje je:

- $E_c$  – modul elastičnosti kompozita,
- $E_m$  – modul elastičnosti matrice,
- $E_f$  – modul elastičnosti vlakna.

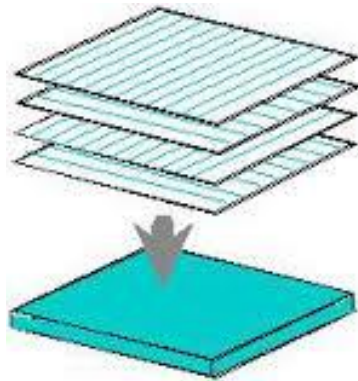
Pri visokim naprezanjima započinje deformiranje matrice te veza između naprezanja i iztezanja više nije linearna. U slučaju kada opterećenje djeluje okomito na smjer vlakana, komponente djeluju neovisno jedna o drugoj. Modul elastičnosti može se predvidjeti izrazom:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_v}{E_v}$$

### 3.3. Slojeviti kompoziti (tzv. laminati)

Laminati (slika 8.) su izrađeni od slojeva različitih vrsta, karakteristika i debljina. Proizvodi izrađeni od laminata mogu biti jednostavni kao što je kompaktni disk, a mogu biti i vrlo komplicirani kao što su skije za snijeg. Najčešće se površinskim slojevima osiguravaju željena svojstva površine kao što su tvrdoća, otpornost na trošenje, otpornost na koroziju i lijepši izgled. Površinski slojevi se nanose sol-gel, CVD i drugim postupcima prskanja. Izrada laminata od nezasićene poliesterske smole ojačane staklenim vlaknima.[3] Izrađuju se postupkom slaganja slojeva i to tako da se

kontinuirano vlaknasto ojačalo natopljeno smolom polaže na kalupnu površinu te se izlaže povišenoj temperaturi i tlaku. Paralelno s time može se odvijati umrežavanje matrice.[1]



Slika 8. Laminati [2]

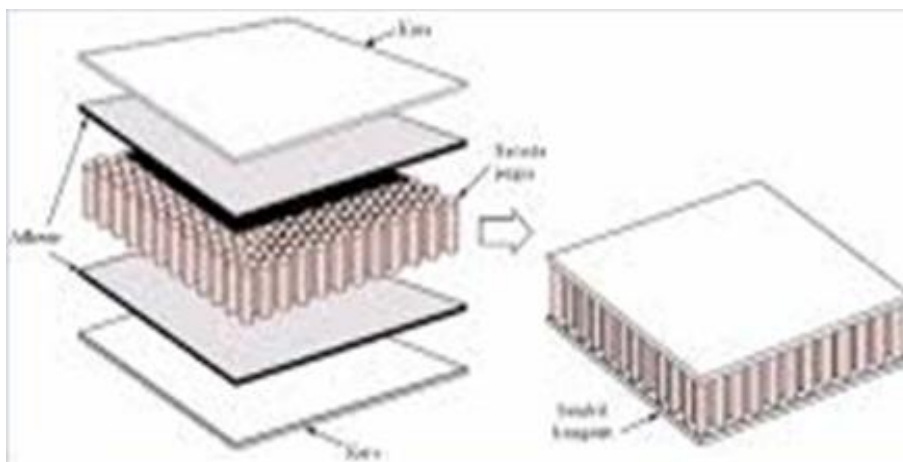
### 3.4. Sendvič konstrukcije

Sastoje se od dva čvrsta i kruta sloja laminata između kojih se u pravilu nalazi porozna jezgra.

Na taj se način postiže:

- relativno visoka čvrstoća i krutost,
- uz relativno nisku gustoću (lagani).

Sendvič konstrukcije uključuju složene trodimenzionalne dodatke, jezgre, namijenjene prije svega povećanju čvrstoće i krutosti pri savojnom i smičnom opterećenju, te lokalnom tlačnom opterećenju. Jezgre su sa obje strane vezane za oblogu. Sendvič konstrukcije koriste se za izradu dijelova zgrada kao što su krovovi, zidovi, podovi i vrata. Također se koriste u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji.[3] Slika 9. prikazuje sendvič konstrukciju.



Slika 9. Sendvič konstrukcija [2]

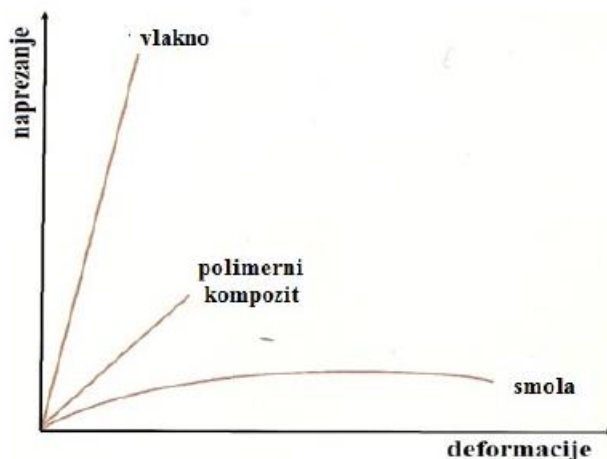
## 4. PODJELA KOMPOZITA PREMA MATERIJALU MATRICE

### 4.1. Kompoziti s polimernom matricom

Polimerni kompoziti (PMC) – najčešće se koriste ,također su poznati pod nazivom „FRP“ (Fibre Reinforced Polymers). Polimerni kompoziti su najproširenija vrsta kompozita. Zastupljeni su u raznim granama industrijske proizvodnje (automobilskoj industriji, brodogradnji, građevinarstvu, elektrotehnici i elektronicu, zrakoplovstvu, vojnoj industriji, te u svemirskim programima) gdje vrlo uspješno zamjenjuju klasične konstrukcijske materijale. Sastoje se od polimerne matrice i punila i/ili ojačavala. Polimerne matrice mogu biti napravljene na temelju duromernih smola (npr. epoksidne, ili nezasićene smole), kaučukovih smjesa, te plastomera.

Polimerni se kompoziti zbog svojih svojstava sve više primjenjuju u brodogradnji, zrakoplovstvu, građevini i automobilskoj industriji. Važna temeljna svojstva polimernih materijala su čvrstoća, žilavost, krutost, a nezaobilazna su i neka specifična svojstva kao npr. međuslojna čvrstoća i sadržaj šupljina. [4]

Kako se polimerni kompoziti sastoje od smole ojačane vlaknima, svojstva polimernih kompozita ovise o svojstvima vlakna, svojstvima smole, volumnom omjeru vlakana naspram smole te geometriji i orijentaciji vlakana u kompozitu. Na slici 10. je prikazano kako polimerni kompozit sadrži svojstva koja nema niti jedna njegova komponenta pojedinačno. Najvažnija karakteristika kompozitnih materijala je da se njihova svojstva mogu oblikovati prema željama i potrebama gotovog proizvoda (izdržljivost kompozita na tlak, vlak, smik i savijanje). [5]



Slika 10. Prikaz poboljšanih svojstava polimernih kompozita [13]

Prednosti kompozitnih polimernih materijala u odnosu na druge konstrukcijske materijale su: povoljne vrijednosti specifične čvrstoće i specifične krutosti, mala gustoća, dobra kemijska postojanost, dobro prigušenje vibracija, relativno laka i ne suviše skupa proizvodnja konstrukcijskih dijelova. Naravno postoje i nedostaci, a to su: krutost (nedeformabilnost), mogućnost raslojavanja i mrvljenja, anizotropnost svojstava, skupe komponente.

Kemijski sastav polimerne matrice bitno određuje svojstva polimernih kompozita. U primjeni prevladavaju duromerne matrice, prvenstveno one poliesterskog i epoksidnog tipa. Različiti tipovi

poliesterske matrice uz isto ojačavalo mogu pokazati različita svojstva. Za svojstva kompozita važna je ne samo vrsta ojačavala nego i njegova usmjerenost i raspodjela u matrici.

Zbog heterogene strukture polimernih kompozita sposobnost povezivanja matrica i ojačavala bitno utječe na svojstva. Za homogenizaciju kompozita važna je kompatibilnost matrice i ojačavala, a često se koriste organske matrice s anorganskim ojačavala (staklom).

Kompoziti gotovo uvijek sadrže šupljine raznih oblika i veličina koje nastaju zbog neuklopljenih mjehurića zraka u viskoznoj fazi smole tijekom izrade ili su posljedica lošeg kvašenja vlakna (npr. uslijed neodgovarajuće viskoznosti matrice). Te šupljine smanjuju svojstva i bitno utječu na djelovanje medija. [5]

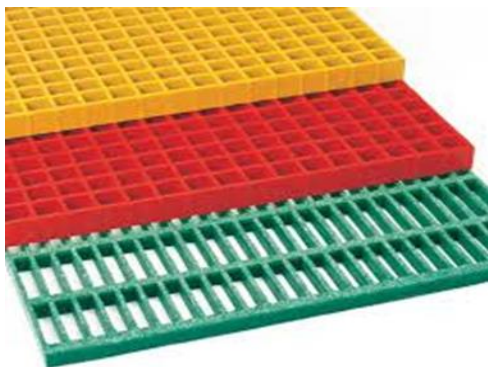
Materijali polimernih matrica:

- Koriste se polimerne smole.
- poliesteri,
  - vinil – esteri,
  - epoksidne smole.

Poliesteri i vinil esteri su najjeftinije i najraširenije smole, a epoksidne smole su vrlo skupe i neprikladne za komercijalnu primjenu, ali se primjenjuju u većoj mjeri kod polimernih kompozita u zrakoplovstvu. S obzirom da imaju prevladavajuću ulogu vlakana kako dodataka, odnosno ojačala kod polimernih kompozita razlikuju se:

- staklenim vlaknima ojačani polimerni kompoziti,
- ugljičnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti,
- aramidnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti,
- ostali vlaknasti materijali za ojačanje.

Na slici 11. i 12. prikazani su primjeri kompozita sa polimernom matricom.



Slika 11. Rešetke od polimernog kompozita [2]



Slika 12. Trup glisera od polimernog kompozita [2]

#### **4.1.1. Staklenim vlaknima ojačani polimerni kompoziti**

Staklenim vlaknima ojačan polimerni kompozit sastoji se od staklenih vlakana i to kontinuiranih ili diskontinuiranih, te se ovaj tip kompozita proizvodi u najvećim količinama. Staklo je vrlo popularan materijal zbog toga što se vrlo lako iz rastaljenog stanja izvlači u obliku visokočvrstih vlakana, vrlo lako ga se dobavlja, kada se ugradi u polimernu matricu dobiva se kompozit visoke specifične čvrstoće, kombinacijom različitih polimera postiže se kemijska inertnost.

Primjeri primjene staklenim vlaknima ojačanih polimernih kompozita su kućišta vozila, trupovi plovila, cijevi, spremnici, industrijski podovi.[3]

#### **4.1.2. Ugljičnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti**

Ugljik je visoko učinkovit vlaknasti materijal koji se primjenjuje za ojačanje suvremenih kompozita s polimernom matricom. Prednosti ugljičnih vlakana su da imaju najveći specifični modul i najveću specifičnu čvrstoću, visoki vlačni modul i visoku čvrstoću zadržavaju i pri povišenim temperaturama, te su postupci proizvodnje vlakana i kompozita su relativno jeftini. Promjeri vlakana kreću se između 4 i 10  $\mu\text{m}$ .

Primjeri primjene ugljičnim vlaknima ojačanih polimernih kompozita su sportska i rekreacijska oprema, spremnici pod tlakom, konstrukcijske dijelove vojnih i komercijalnih letjelica.[3]

#### **4.1.3. Aramidnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti**

Aramidna vlakna su visoko čvrsti materijali i u primjenu su uvedeni rane 1970. godine. Imaju veliki omjer čvrstoća-gustoća. Komercijalna imena dva najuobičajenijih su "Kevlar" i "Nomex". Aramidna vlakna poznata su po svojoj krutosti i žilavosti, otpornost na udar, otpornost na puzanje i otpornost na umor materijala. Najčešće se koriste kod kompozita s polimernom matricom i uobičajeni materijali matrica su epoksidi i poliesteri.[3]

### **4.2. Kompoziti s metalnom matricom**

Metalni kompozitni MMC (slika 13. i 14.) – sve više se mogu pronaći u automobilske industriji, ovi materijali koriste metal kao matricu (npr. aluminij) s vlaknima proizvedenim od npr. SiC (silicijev karbid) kao ojačalima.[3]

Materijali metalnih matrica: •superlegure,  
• legure aluminija, magnezija, titana i bakra.

Ojačani su česticama i vlaknima.[1]





Slika 13. Klipnjača motora [2]



Slika 14. Glodalo [2]

### 4.3. Kompoziti s keramičkom matricom

Keramički kompoziti (CMC) – koriste se u visokotemperaturnim okolinama, ovi kompoziti koriste keramičke materijale kao matricu te vrlo kratka vlakna kao ojačala proizvedena od npr. SiC i BN (borov nitrid).[3]

Materijali keramičkih matrica: •  $Al_2O_3, ZrO_2$ -oksidna keramika.  
• SiC,  $Si_3N_4$ -neoksidna keramika.

Keramički materijali su općenito otporni prema slabljenju svojstava pri povišenim temperaturama. Da nisu skloni lomu, ovi materijali bi bili idealni za uporabu pri visokim temperaturama. To negativno svojstvo suzbija se ugrađivanjem čestica, vlakana ili viskera jednog keramičkog materijala u matricu koja je od druge vrste keramike. Na ovaj se način lomna žilavost matrice povećava za oko deset puta.[1]

Slikom 15. i 16. prikazani su primjeri kompozita sa keramičkom matricom.



Slika 15. Keramički nož [2]



Slika 16. Koćiona klješta od keramike [2]

## 5.SVOJSTVA KOMPOZITNIH MATERIJALA

### 5.1. Matrice

Materijal koji se najviše rabi pri izradi matrice kompozita je duromerni materijal, koji mora posjedovati sljedeća svojstva:

- dobra mehanička svojstva,
- dobra adhezijska svojstva,
- dobra svojstva čvrstoće,
- dobru otpornost na degradaciju uslijed eksploatacije .

Osnovne funkcije matrice jesu:

- prenošenje opterećenja na vlakno,
- odvajanje vlakana jednih od drugih u svrhu sprečavanja širenja pukotina u materijalu,
- formiranje vanjskog oblika kompozitne konstrukcije,
- zaštita kompozita od utjecaja okoline.

#### 5.1.1. Mehanička svojstva matrica

Svojstva matrice izrazito su važna za određivanje uzdužne tlačne čvrstoće, poprečne vlačne čvrstoće kao i međuslojne posmične čvrstoće i obično se kaže da su ova svojstva uvjetovana matricom. U zrakoplovnim konstrukcijama, matrica mora biti otporna i na pogonsko gorivo, hidrauličke fluide kao i različite kemikalije koje se koriste pri održavanju (npr. sredstva za skidanje boje). Za kompozite se traži da dobro podnose temperature do 150°C, iznimno i do 200°C. Svojstva matrice najčešće određuju i svojstva kompozita, kao i ograničenja u primjeni. U slučaju izloženosti kompozita kemijskim ili utjecajima okoline, matrica je ona koja je prva izložena smanjenju mehaničkih svojstava, te njena svojstva značajno određuju ponašanje kompozita. Vrlo je bitno fizikalno svojstvo temperatura prelaska u kruto stanje (engl. glass transition temperature - GTT) koja definira točku prelaska iz viskoznog u kruto stanje matrice.

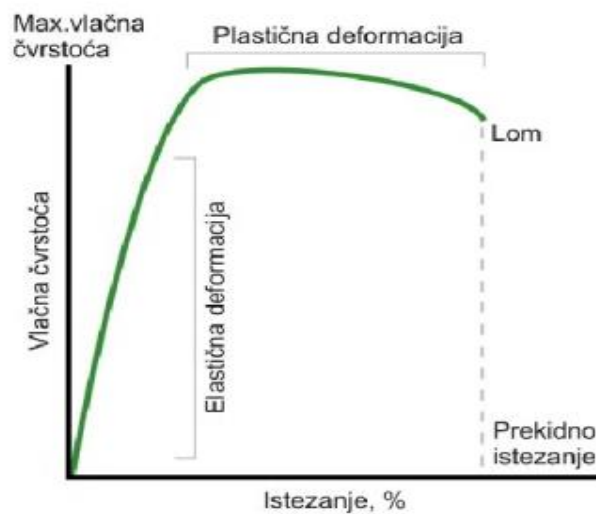
Ova temperatura bitno definira konačna svojstva matrice. Naime, pri upotrebi iznad GTT, svojstva matrice znatno se snižavaju. Vлага u kompozitu (ponajviše matrici) znatno snižava GTT . Tehnologija izrade kompozita znatno utječe na njegova svojstva, jer mora osigurati dobru vezu vlakna i matrice kao i minimalan udjel šupljina ili pukotina u kompozitu.

Duromeri su polimeri koji se najčešće koriste u proizvodnji kompozita zbog relativno niske cijene, niskih proizvodnih temperatura, niske viskoznosti pri proizvodnji te dobrog oplakivanja vlakna. Od njih, za kompozite visokih mehaničkih svojstava, u zrakoplovnim konstrukcijama najčešće su korištene epoksidne smole zbog lakog korištenja, niske cijene, zbog svojih izvrsnih mehaničkih svojstava, dobre kemijske postojanosti, te zadržavanja dobrih mehaničkih svojstava i dimenzija pri povišenoj temperaturi i vlazi. Nadalje, dobro reagiraju (ostvaruju dobru adheziju) s većinom vrsta vlakana. Budući da pri proizvodnji prolaze kroz period vrlo niske viskoznosti, to im omogućava vrlo široke tehnike proizvodnje.

U procesu nastajanja svakog kompozita dolazi do stvaranja šupljina, koje negativno utječu na mehanička svojstva, tj. međuslojnu čvrstoću, uzdužnu i poprečnu čvrstoću i module, te otpornost na zamor. Od svih ovih svojstava ipak najviše utječu na međuslojnu čvrstoću. U sklopu ovog podatka potrebno je definirati međusloj i međupovršinu, čimbenike s vrlo velikim utjecajem na

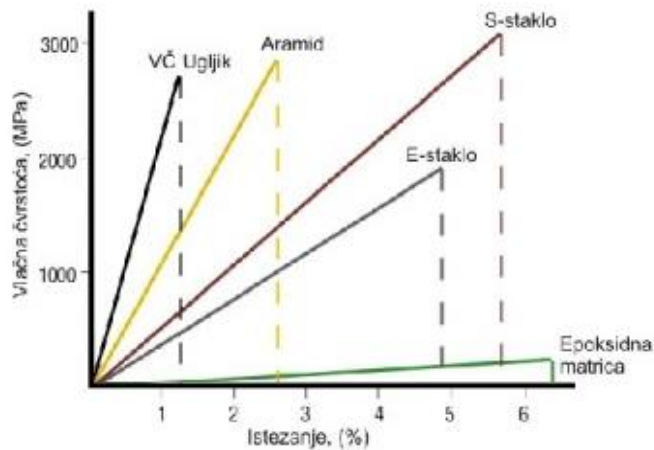
svojstva kompozita, tj. na tlačnu čvrstoću i trajnost materijala. Oni nastaju međudjelovanjem (adhezijom) između matrice i ojačala, između kojih nastaju veze, i to u jednoj ravnini (čime nastaje međupovršina) ili se veze protežu i u matricu (nastaje međusloj). U tim su područjima svojstva matrice i ojačala promijenjena. Što je jača međupovršina ili međusloj, to su kompoziti čvršći i krući, ali također i krhkiji. Porast udjela šupljina ima negativan utjecaj na međuslojnu čvrstoću jer se u njima, zbog nedostatka veze matrica-vlakno, ne prenose naprezanja. Postoje dva bitna uzroka za nastajanje šupljina. Jedan od njih su mjehurići zraka koji u početnoj fazi izrade kompozita ostaju zarobljeni u materijalu. Drugi razlog je oslobađanje lako hlapivih produkata tijekom očvršnuća kompozita pri visokim temperaturama.[6]

Slika 17. prikazuje dijagram odnos vlačne čvrstoće - istezanje za idealnu matricu. Krivulja za takvu matricu prikazuje maksimalne vrijednosti vlačne čvrstoće, krutosti te prekidne čvrstoće (deformacija pojave loma matrice).[3]



Slika 17. Dijagram svojstva materijala [13]

Treba naglasiti kada je kompozit opterećen vlačno, da bi se iskoristila najbolja svojstva vlakna, matrica se mora deformirati najmanje iste ili veće vrijednosti istezljivosti vlakna. Slika 18. Prikazuje dijagram odnos vlačna čvrstoća/istezanje za E-staklo, S-staklo, aramid te ugljik visoke čvrstoće. Ovdje se može uočiti, za primjer, da će S-staklo, sa istezljivosti 5,3%, zahtijevati matricu istezljivosti najmanje iste vrijednosti da bi se postigla maksimalna vlačna svojstva kompozita.[3]



Slika 18 .Dijagram svojstva materijala vlakana i matrice [13]

### 5.1.2. Adhezijska svojstva matrice

Visoka adhezijska svojstva između matrice i vlakana prijeko su potrebna da bi se osigurao prijenos napreznja s matrice na vlakna te time spriječile pukotine između matrice i vlakana koje bi rezultiralo odvajanjem vlakana od matrice prilikom opterećenja.[3]

### 5.1.3. Svojstva žilavosti matrice

Žilavost je svojstvo materijala da se odupire stvaranju pukotine, no kod kompozita to svojstvo teško je odrediti. Generalno, što veću deformaciju materijal matrice može podnijeti prije pojave pukotine to će ona biti žilavija i otpornija na pucanje. Obratno, što je materijal matrice manje žilav, kompozit proizveden od istog, biti će krhkiji i skloniji pucanju. Važno je ova svojstva povezati sa svojstvima vlakana impregniranih u materijal matrice.[3]

### 5.1.4. Eksploatacijska svojstva matrice

Dobra otpornost na okolišne uvijete u eksploataciji, vodu i ostale agresivne medije, uz sposobnost izdržavanja cikličkog opterećenja, svojstva su koja matrica kompozitnog materijala mora zadovoljavati. Ova svojstva vrlo su važna u uvjetima eksploatacije u brodogradnji i sličnoj industriji.[3]

### 5.1.5. Epoksidne smole

Unatoč postojanju različitih tipova smola koje se koriste u industriji kompozita, većina konstrukcija i njihovih strukturnih elemenata izrađeni su od tri osnovne vrste kao što su poliesterske, vinilesterske i epoksidne.

Epoksidne smole uglavnom su svojim mehaničkim svojstvima, otpornošću na degradaciju u eksploataciji bolje od ostalih tipova smola. To ih čini gotovo izuzetnim za uporabu u zrakoplovnim konstrukcijama. Svojstvo lakog laminiranja uz odlična adhezijska svojstva te otpornost na upijanje

i zadržavanje vlage čine ovu vrstu smole idealnu za primjenu u brodograđevnoj industriji. Ovdje su epoksidne smole u širokoj upotrebi kao primarni konstrukcijski materijal u izradi brodova visokih performansi (jedrilice, čamci i sl.), kao sekundarni koriste se kao obloga trupa ili zamjena materijala sklonih degradaciji uslijed djelovanja vlage i vlažnog okoliša. Epoksidne smole uglavnom se isporučuju tekuće, kao dvokomponentne, gdje se zamješavanjem ostvaruje kemijska reakcija koja nakon određenog vremena rezultira skrućivanjem.[3]

### 5.1.6. Usporedba svojstava materijala matrice

Izbor materijala matrice tj. smole za upotrebu u izradi kompozitnih laminata ovisi o nekoliko stavki koje su karakteristične za sve kompozitne konstrukcije:

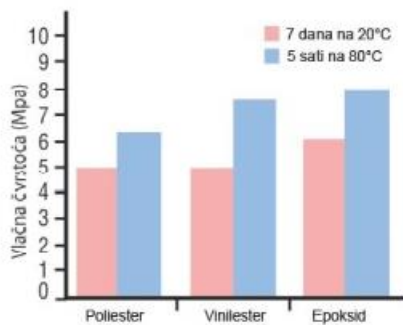
- adhezijska svojstva,
- mehanička svojstva,
- otpornost stvaranju mikropukotina,
- otpornost na umor materijala,
- otpornost na prodiranje medija.

### 5.1.7. Adhezijska svojstva

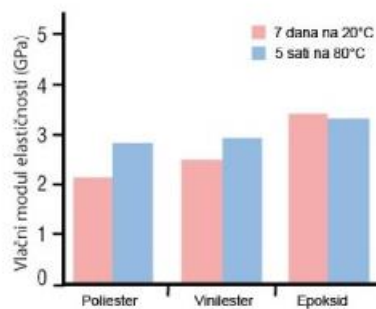
Adhezijska svojstva matrice značajna su za definiranje mehaničkih svojstava kompozita. Generalno, poliesterske matrice imaju najlošija adhezijska svojstva od spomenutih najznačajnijih tri vrste matrica. Vinilesterske matrice pokazuju bolja svojstva naspram poliesterskih, međutim, epoksidne matrice pokazuju najznačajnija adhezijska svojstva te ih se može naći u različitim namjenama kao visoko čvrsti adhezivi. Čvrstoća veze između matrice i vlakana ne ovisi samo o adhezijskim svojstvima matrice već i stanju površine vlakana.[3]

### 5.1.8. Mehanička svojstva

Dva osnovna mehanička svojstva matrica su vlačna čvrstoća i krutost. Slika 19. i slika 20. prikazuju rezultate ispitivanja poliesterskih, vinilesterskih i epoksidnih smola skrućenih u matricu pri temperaturama od 20°C i 80°C.



Slika 19. Usporedba vlačne čvrstoće [13]



Slika 20. Usporedba vlačnog modula [13]

Nakon perioda skrućivanja u trajanju od 7 dana na sobnoj temperaturi, može se uočiti da epoksidna matrica ima mnogo bolja svojstva od poliesterskih i vinilesterskih matrica u oba slučaja. Jednako važno za konstruktore je i iznos skupljanja prilikom skrućivanja smole u matricu.

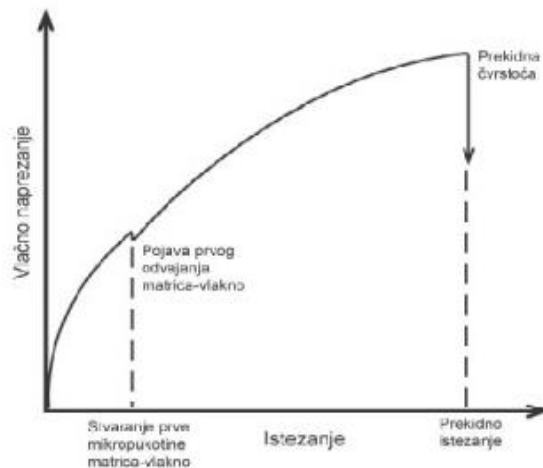
To je pojava preraspodjele molekula u procesu skrućivanja kada smola ima svojstva tekuće faze i gela.

Poliesterske i vinilesterske smole tako se skupljaju prilikom skrućivanja u matricu u iznosima do 8%, dok se epoksidne smole skupljaju samo do 2%. Stoga epoksidne matrice imaju bolja mehanička svojstva od ostalih dviju vrsta, te također manju pojavu zaostalih napreznja prilikom skrućivanja koja se u eksploataciji mogu aktivirati.[3]

### 5.1.9. Otpornost stvaranju mikro-pukotina

Pod terminom čvrstoće kompozitnog laminata podrazumijeva se koliko opterećenja laminat može podnijeti prije negoli pretrpi potpun lom. Granica razvlačenja kompozitnog laminata je točka kada dolazi do pucanja matrice i vlakana. Dakako, prije negoli dođe do postizanja prekidne čvrstoće kompozitnog laminata, laminat će pretrpjeti opterećenje kod kojeg dolazi do pojave prve mikro-pukotine u matrici, slika 21. Razumljivo je da će prije doći do loma matrice nego loma vlakana zbog svojstva čvrstoće materijala.

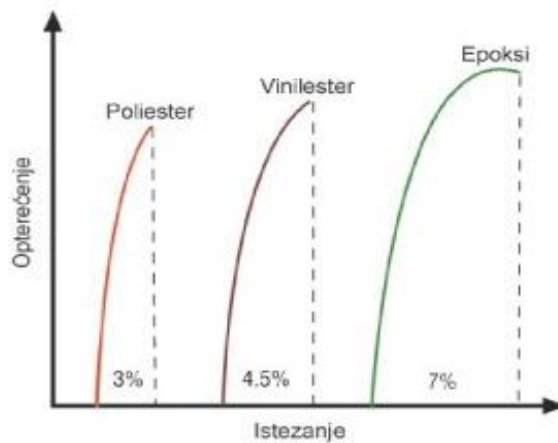
Zaključak je dakle, inženjer projektant, koji želi trajnu i izdržljivu konstrukciju, mora osigurati da opterećenja na laminat ne prelaze granicu prethodno utvrđenih vrijednosti na koja je projektiran.



Slika 21. Dijagram vlačno opterećenje kompozita [13]

Istezanje koje laminat može postići prije pojave prve pukotine ovisi o žilavosti i adhezijskim svojstvima matrice. Dobro poznata adhezijska svojstva matrice pomažu laminatu ostvariti veću otpornost na pojavu mikropukotina. [3]

Na slici 22.dana je usporedba svojstava materijala poliesterskih, vinilesterskih i epoksidnih matrica.



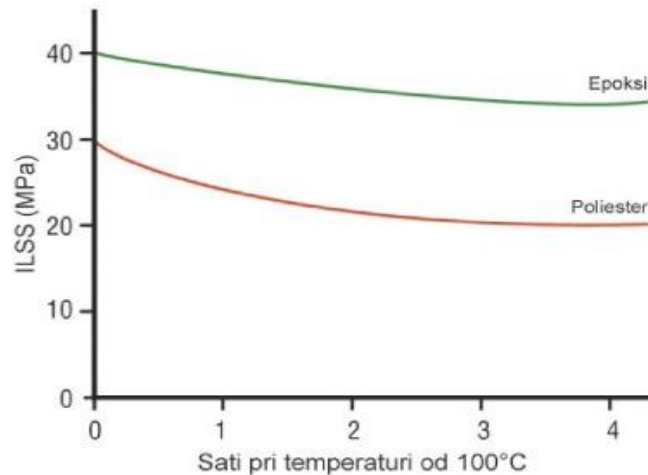
Slika 22. Dijagram usporedba svojstva materijala matrice [2]

### 5.1.10. Otpornost na umor materijala

Kompozitni materijali pokazuju dobru otpornost na umor materijala u usporedbi s metalima. Kako je umor materijala rezultat postupnog nakupljanja malog broja oštećenja, umor kompozitnog materijala uvjetovan je žilavošću matrice, otpornosti na pojavu mikropukotine, te količini praznina ili uključaka koji se javljaju tijekom procesa proizvodnje kompozitnih struktura ili konstrukcija. Kompozitni laminati bazirani na epoksidnim matricama teže jako dobroj otpornosti na umor materijala u usporedbi s laminatima baziranim na poliesterskim i vinilesterskim matricama. Ovo je jedan od ključnih razloga zašto se ovakve vrste kompozitnih laminata koriste u zrakoplovnoj industriji.[3]

### 5.1.11. Otpornost na prodiranje medija

Važno svojstvo svake matrice, pogotovo u eksploataciji u brodogradnji, je svojstvo otpornosti na degradaciju uslijed prodiranja medija (vlaga, voda...). Svaki materijal matrice upiti će nešto vlage/vode te time povećati masu kompozitne konstrukcije, no ono što je značajnije je kako ta vlaga/voda utječe na čvrstoću matrica-vlakno i da li će dugotrajno razmatrajući narušiti interlaminarna svojstva. Za poliesterske matrice može se očekivati da će u tom slučaju uspjeti zadržati 65% interlaminarne smične čvrstoće (ILSS) dok će za isto vrijeme, epoksidne matrice zadržati 90%. [3]



Slika 23. Dijagram svojstva kompozitnih laminata nakon uranjanja u vodu pri 100°C [13]

Slika 23. prikazuje svojstva poliesterskih i epoksidnih smola ojačanih staklenim vlaknima nakon određenog perioda uronjenih u vodu pri temperaturi od 100°C. Ova povišena temperatura ima za svojstvo ubrzavanja procesa degradacije za uronjene laminatne.[3]

## 5.2. Vlakna

### 5.2.1. Svojstva staklenih vlakana

Staklena vlakna najkorištenija su ojačala današnjice (slika 24). Jednostavno se izrađuju iz sirovina koje su lako dostupne, a imaju svojstva kao što su tvrdoća, kemijska otpornost, stabilnost, čvrstoću, fleksibilnost i krutost. Staklena vlakna koriste se kao ojačala za kompozite i za druge specijalne izratke.



Slika 24. Staklena vlakna [2]

Specijalna staklena vlakna uključuju staklena vlakna s visokom korozivskom otpornošću ( ECR stakla ), s visokom čvrstoćom ( S, R, T stakla ), sa slabom dielektričnom konstantom (D-stakla), vlakna visoke čvrstoće i silikatna ili kvarcna vlakna koja imaju visoku temperaturnu primjenu. Ostala specijalna staklena vlakna su A-stakla i C-stakla. Korozivska postojanost staklenih vlakana



ovisi o njihovoj kemijskoj strukturi. ECR staklena vlakna imaju visoku otpornost na kiseline. Dodaci ZnO i TiO<sub>2</sub> E-staklu bez sadržaja bora dodatno poboljšavaju otpornost na koroziju ECR staklenih vlakana. Staklena vlakana (S, R, T) imaju od 10% do 15% višu čvrstoću od E-staklenih vlakana. Također imaju višu temperaturu oblikovanja, više talište pa je potrebno uložiti više energije za njihovu izradu. Ova stakla koriste se u vojne svrhe.

### 5.2.2. Svojstva ugljičnih vlakana

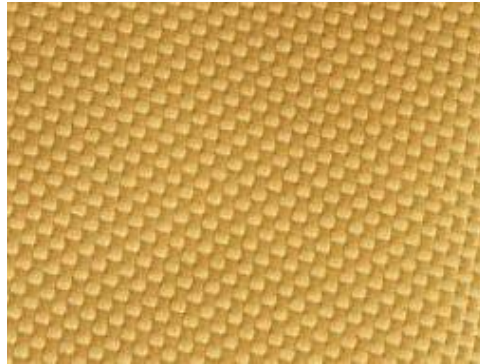
Uporaba ugljičnih vlakana ubrzano raste zbog smanjenja cijena i povećanja mogućnosti nabave tijekom devedesetih godina prošloga stoljeća. Zbog poboljšanja omjera svojstava i cijene, kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima danas imaju primjenu u automobilske, naftne, građevinske industriji. Na slici 25. su prikazana ugljična vlakna. Kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima su pet puta čvršći od nekih konstrukcijskih čelika i pet puta lakši. U usporedbi s aluminijem ugljična vlakna sedam puta su čvršća, dva puta kruća i lakša. Kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima imaju otpornost na umor bolje od većine poznatih metala, a kad se spoje sa odgovarajućom smolom, kompoziti ojačani ugljičnim vlaknima posjeduju izvanrednu otpornost na koroziju. Vlakna na osnovi PAN-a i na osnovi katrana ne omekšavaju pri povišenoj temperaturi. Primjenjuju se za dijelove koji rade pri visokim temperaturama kao što su mlaznice raketa i kočnice zrakoplova. Njihova čvrstoća povisuje se s porastom temperature u atmosferi bez kisika. Ova svojstva su rezultat mikrostrukture vlakana u uzdužnom i poprečnom smjeru.



Slika 25. Ugljično vlakno [2]

### 5.2.3. Svojstva aramidnih vlakana

Aramidno vlakno (slika 26.) je aromatski poliamid, poli(p-fenilen-tereftalamid), koji ima bolji omjer čvrstoće i težine od bilo kojeg drugog vlakna za ojačavanje. Prva aramidna vlakna pod trgovačkim nazivom Kevlar su se upotrebljavala za ojačavanje automobilskih guma i polimera. Zbog male mase, visoke čvrstoće i žilavosti danas se upotrebljavaju za protubalističke dijelove, užadi, kablove, automobilske gume.



Slika 26. Aramidno vlakno [2]

Zbog kemijskog sastava aramidna vlakna imaju visoku toplinsku stabilnost, a također imaju i nisku toplinsku vodljivost. Aramidna vlakna otporna su na umor. Aramidna vlakna pod trgovačkim nazivom Kevlar 49. najvažniji su oblik tih vlakana koji se danas upotrebljava za ojačanje kompozita zbog njihovog visokog modula elastičnosti. Kevlar 29. upotrebljava se za kompozite s visokom žilavosti ili protubalističkim svojstvima.

## 6. PRIMJENA KOMPOZITNIH MATERIJALA

### 6.1. Stomatologija

Kompozitni materijali primjenu su našli i u restaurativnoj stomatologiji. To je grana stomatologije koja se bavi složenim intervencijama na oboljeloj ili traumatski oštećenoj pulpi zuba (najčešće je riječ o karijesu). Laički, restaurativna stomatologija bavi se nadogradnjom zubi radi obnavljanja funkcije žvakanja ili u estetske svrhe. Prvi materijali koji su se upotrebljavali u restaurativnoj stomatologiji bili su dentalni amalgami, a danas su to kompozitni materijali. Kompozitni materijali koji se koriste u restaurativnoj stomatologiji pripadaju skupini materijala s polimernom matricom, a kao punilo se rabe anorganske čestice. Kompoziti koji se koriste moraju zadovoljavati mnoga svojstva koja ne ovise samo o sastavu i međusobnom odnosu pojedinih sastojaka u kompozitnome materijalu nego i o odnosu toga materijala prema promjenjivim uvjetima u usnoj šupljini. Slika 27. prikazuje primjenu kompozita u stomatologiji.[7]



Slika 27. Dentalni amalgam [2]

### 6.2. Kirurgija

Tijekom razvoja ortopedije i kirurgije, zbog cijene i manjka znanja o ljudskom organizmu, velik su problem bili materijali korišteni pri rekonstrukciji ljudskih kostiju, zglobova, kože i ostalih organa. Metali su kruti i korozivni, polimeri previše savitljivi i slabi da bi ispunili mehaničke zahtjeve materijala za tu upotrebu, a biokeramika je lomljiva i neprikladna za nošenje velikih masa. Kompozitni materijali činili su zlatnu sredinu svojstava navedenih materijala pa su optimalni i za upotrebu u ljudskom organizmu. Neke od prednosti kompozitnih materijala pred konvencionalnima su: mogućnost izrade vrlo složenih oblika, manji troškovi naknadne obrade dijelova, mogućnost spajanja dijelova tijekom postupka proizvodnje, dimenzijska postojanost pri ekstremnim uvjetima rada i otpornost na koroziju.

Za zamjenu ili popravak oštećenoga ili degeneriranog tkiva i organa koriste se implantati izrađeni od polimera (polietilena (PE), poliuretana (PUR), poli(tetrafluoretilena) (PTFE), poli(metilmetakrilata) (PMMA), poli(etilen-tereftalata) (PET), poli(eter-eter-ketona) (PEEK), polisulfona (PSU)), metala (nehrđajući čelik, kobalt-kromove i titanijeve legure) i keramike (temeljene na aluminijevu ili cirkonijevu oksidu).

Polimerni kompoziti imaju dodatnu prednost zbog potpune kompatibilnosti s modernim dijagnostičkim metodama kao što su CT (kompjutoriziranatomografija) ili MRI (magnetska rezonancija) jer nisu magnetični i ne uzrokuju smetnje, što nije slučaj kod metala i keramike.

Polimerni kompoziti imaju širok spektar primjene u biomedicini; koriste se za umjetne zglobove, implantate i uređaje za popravke lomova kostiju, zamjenu kostiju, popravke i obnove u dentalnoj medicini, instrumente za ispravljanje i stabilizaciju deformacija kralježnice, vaskularne

transplantate, operacijekile, proteze tetiva i ligamenata, umjetnu kožu, proteze za zamjenu i popravke hrskavica, umjetne udove i drugo. Slika 28. i 29. prikazuju primjenu kompozitnih materijala u kirurgiji.[8]



Slika 28. Umjetni kuk [2]



Slika 29. Umjetno proizvedena krvna žila [2]

### 6.3. Automobilska industrija

Kompoziti se u automobilskoj industriji upotrebljavaju još od 1950-ih. Već su tada bile jasne prednosti takve proizvodnje automobilskih dijelova: mala masa, niske investicije u proizvodnju, sniženje troškova ujedinjavanjem dijelova, zadovoljavajuća mehanička svojstva, antikoroziivnost itd. Prednosti su tijekom godina prevagnule nad nedostacima kao što su viša cijena potrebnih sastojaka, izbjegavanje novih i nedokazanih materijala te teškoće u veliko serijskoj proizvodnji. Za proizvodnju velikih serija automobilskih dijelova danas se rabi injekcijsko i izravno prešanje te slaganje preprega za skupe dijelove koji se proizvode u manjim serijama. Kompoziti koji se koriste za jeftinije primjene sastoje se od plastomerne ili duromerne matrice punjene staklenim vlaknima. Često takvi kompoziti radi niže cijene sadržavaju i čestice mineralnih punila. Danas se staklena vlakna polako zamjenjuju jeftinijim vlaknima biljnog podrijetla. Skuplje primjene uključuju osmoljene listove od ugljikovih vlakana i epoksidne smole. U posljednjih 50 godina znatno je porasla upotreba polimernih kompozita u automobilskoj industriji, sukladno poboljšanju njihovih svojstava. Zbog svoje male mase koja znači manju potrošnju goriva te nižih investicijskih troškova koji olakšavaju prelazak na ovakvu proizvodnju polimerni kompoziti vrlo su perspektivni u automobilskoj industriji.

Rade se : dijelovi karoserije, kompletne karoserije, volani, branici, rešetke hladnjaka, vratila transmisije, opruge, ogibljenja, spremnici za plin, šasijske, zglobovi ogibljenja, navlake, kabine, sjedišta, hladnjače, prikolice.[9] Klipnjača napravljena od Al-legure ojačane s Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> česticama (slika30.). Ona ima puno bolja mehanička svojstva i otpornost na umor od čelične klipnjače, a uz sve to ima i 42 % manju masu. Ventili automobilskog motora napravljeni od kompozita s Ti-matricom koja je ojačana SiC česticama ,prikazani na slici 31.



Slika 30. Klipnjača od Al legure [2]



Slika 31. Ventili motora [2]

Djelovi unutrašnjosti automobila (slika 32.) napremljena od karbonskih vlakana daje puno veću čvrstoću uz puno manju masu automobila.



Slika 32. Unutrašnjost automobila od karbonskih vlakana [ 2]

#### 6.4. Brodogradnja

Polimerni kompozitni materijali upotrebljavaju se u brodogradnji zbog niske cijene, brze i automatizirane izrade, mogućnosti oblikovanja i bojenja. Prednosti brodova izrađenih od polimernih kompozita su: jednostavnije izrade, zadovoljavajuće čvrstoće i relativno malih troškova održavanja.

Najviše se upotrebljavaju duromerne kompozitne tvorevine, i to poliesteri, epoksidi i vinil-esteri. Poliesteri imaju dobra mehanička svojstva i lako se prerađuje (pri sobnoj temperaturi), te najprihvatljivije cijene. Epoksidi imaju veću kemijsku postojanost, manju kontrakciju volumena i bolja električna svojstva. Vinil-esteri se lako prerađuju kao poliesteri a kemijski su postojani skoro kao epoksidi.

Duromerne kompozitne tvorevine mogu se proizvoditi tradicionalnim postupcima u otvorenim kalupima (ručni dodirni postupak, štrcanje), ali i automatiziranim kao npr. namotavanje, pultrudiranje. Veliku važnost ima i tzv. „čišća“ proizvodnja kompozitnih tvorevina u zatvorenim kalupima.

Slika 33. i 34. prikazuju izradu trupa broda od fibreglassa.



Slika 33 i 34. Izrada trupa broda od fibreglassa

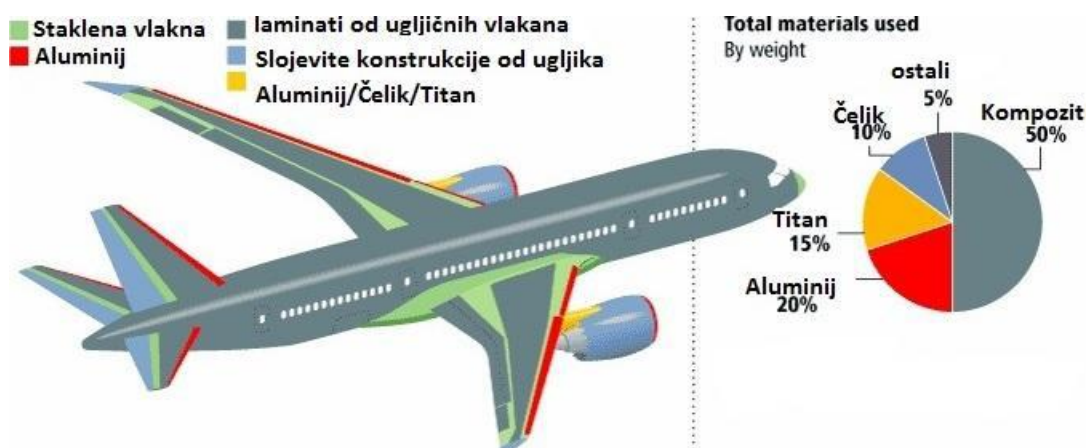
Posebno mjesto zauzimaju sendvič konstrukcije na osnovi polimernih materijala. Sendvič konstrukcije susreću se u brodogradnji pri izradi nosivih konstrukcija, ali i pri izradi konstrukcija kod kojih zahtjevi u pogledu mehaničkih svojstava nisu prioritet. Posebno maloj brodogradnji, za

brze brodove kao i u nekim posebnim slučajevima. Zbog svoje velike raznolikosti (po sastavu, svojstvima, mogućnostima izrade itd.), primjena sendvič materijala u brodogradnji je raznovrsna. Sendvič materijali se ponajprije upotrebljavaju pri proizvodnji brzih brodova i to za tzv. "strukturne" i "nestrukturne" dijelove." [10]

## 6.5. Zrakoplovstvo

Njihova primjena u zrakoplovstvu prvenstveno je uvjetovana niskom gustoćom, visokom čvrstoćom i krutošću s obzirom na gustoću kao i odličnim fizikalnim svojstvima. Uporabom kompozitnih materijala u izradi zrakoplovnih konstrukcija značajno se može smanjiti težina zrakoplova i time ostvariti manja potrošnja goriva ili je moguće povećati korisnu nosivost na račun manje težine što opet povoljno utječe na troškovnu isplativost. Sljedeća je prednost kompozita mogućnost njihova oblikovanja u izratke složenog oblika čime se smanjuje ne samo broj pozicija nekog sklopa, već i potreba za pričvršćivanjem i spajanjem. Prednosti su dvostruke: uz manji broj pozicija skraćuje se vrijeme potrebno za montažu, ali se smanjuje i broj potencijalno opasnih mjesta iniciranja pukotine budući da elementi kao što su vijci i različiti provrti djeluju kao koncentratori naprezanja. U odnosu na konvencionalne konstrukcijske materijale kompoziti su manje osjetljivi na pojavu različitih oblika oštećenja što doprinosi njihovoj trajnosti. I napokon treba istaknuti da su to materijali koji se mogu dizajnirati (projektirati) u cilju postizanja upravo onakvih svojstava kakva se traže kod određene primjene, a koja nisu ostvariva kod materijala komponenata. Zbog svega toga kompoziti predstavljaju uspješnu alternativu konvencionalnim metalnim materijalima u izradi konstrukcijskih elemenata kao što su oplata krila i trupa te brojni drugi elementi zrakoplova. Kompozitni dijelovi u pravilu su 20 % do 30 % lakši u odnosu na istovrsne metalne dijelove.

Airbus A380 primjer je široke upotrebe kompozitnih materijala od kojih je načinjena kompletna gornja i donja oplata zrakoplova, ojačanja krila, konstrukcija poda gornje palube, repne i upravljačke površine, poklopci stajnog trapa i još mnogo konstrukcijskih elemenata. Osim polimernih kompozita, ugrađeni su laminirani elementi koji su izgrađeni od aluminijskih limova dodatno ojačanih staklenim vlaknima. Sa tehnološkog aspekta najveću prednost ističe Boeing 787 Dreamliner (slika 35). Prvi putnički zrakoplov koji se sastoji od 50% dijelova izgrađenih od kompozitnih materijala.[11]



Slika 35 . Materijali korišteni na zrakoplovu Boeing 787 Dreamliner [2]

## 6.6. Građevinarstvo

Polimerni materijali ojačani vlaknima (FRP – engl. Fibre Reinforced Polymers) nalaze danas posebno mjesto unutar kompozitnih materijala zbog svojih izuzetno kvalitetnih svojstava. Donedavno su se ti materijali gotovo većinom koristili u tehnici na poljima strojarstva i elektrotehnike. Tek zadnjih nekoliko desetljeća počinju intenzivna istraživanja i razvoj na polju građevinarstva. Najviše se koriste za nosive konstrukcijske elemente kao što su vlačni elementi (žice, trake, šipke, kablovi), zatim za savojne, savojno prisutne i pretežito pritisnute elemente (ploče, grede, profile, sendvič-konstrukcije, stupove) te za elemente za spajanje konstrukcijskih elemenata. Svoju primjenu nalaze u visokogradnji i niskogradnji, i to posebno u gradnji novih i sanacijama već izvedenih konstrukcija.

Neki načini korištenja ovih materijala već su ustaljeni, a neki načini su tek u vazi pilot-projekta. Od 1996. godine taj broj raste iz godine u godinu. Npr. u SAD-u 42% od ukupno 575 000 mostova koji povezuju glavne prometnice treba popraviti uglavnom zbog korozije ili je potrebno ojačanje na kolniku zbog povećanog opterećenja. Kako bi se postigla optimalna obnova starih i izgradnja novih mostova, izrađen je program CONMAT (engl. CONstruction MATerials) koji je počeo s radom 1995. godine i u koji je uloženo dvije milijarde američkih dolara za razvoj infrastrukture i njezin popravak. Od tog iznosa 40% je utrošeno na razvoj polimera ojačanih vlaknima kako bi se razvila nova generacija mostova povećane trajnosti i produžena vijeka trajanja. 1996. godine izgrađen je prvi most od polimera ojačanih vlaknima, a do kraja 2000. godine bila su dovršena 32 mosta. Nadalje, u Japanu se uporaba polimera ojačanih vlaknima naglo povećala 1996. godine. Uzrok je bio jak potres 1995. godine u Kobeu koji je razorio velik broj mostova. Primjena polimera ojačanih vlaknima usko je povezana sa stanjem razvoja centara u kojima se provode istraživanja ovih materijala. Početkom 80-ih godina prošlog stoljeća bilo je svega tridesetak istraživačkih centara koji su se bavili istraživanjem ovih materijala s obzirom na njihovu primjenu u građevinskim konstrukcijama, a danas ih ima više od 300. Ove činjenice upućuju na potrebu da se i u Hrvatskoj veća pozornost pokloni ovim materijalima te razvoju kompozitnih materijala i konstrukciju općenito.

Njihove odlične mehaničke karakteristike i otpornost na vlagu čine ih pogodnim za vanjsku i unutrašnju upotrebu.[11]

Slika 36. prikazuje izradu kuće od kompozitnog materijala. Osnovni i najrašireniji kompozit je beton, kojeg možemo pronaći u svakoj građevini(slika37.).



Slika 36. Izrada kuće od kompozitnih ploča [2]



Slika 37. Beton [2]

## 6.7. Elektrotehnika

Široka primjena je i u elektrotehnici, za sljedeće namjene : električna izolacija dijelova, izolacija od utjecaja elektromagnetnih valova, podloge sklopki, podloge tiskanih krugova, oklopi, kućišta, poklopci, satelitske antene, radarske antene, kupole, vrhovi TV tornjeva, kanali za kablove, vjetrenjače. Slika 38. i 39. prikazuju primjere primjene kompozita u elektrotehnici.



Slika 38 . El. kablovi [2]



Slika 39. Tiskane pločice [2]



Svojstva kompozita mogu se podesiti tako da zadovoljavaju široki spektar zahtijevanih karakteristika, te se zato koriste u raznim područjima, kao što su zrakoplovstvo, svemirska i automobilska industrija, elektronika, stomatologija, građevina, u kućanstvu, zaštiti na radu...

Kompozitni materijali su svuda oko nas. Slike 40, 41, 42 i 43 prikazuju neke primjere uporebe kompozita.



Slika 40. Kompozitne pinske boce



Slika 41. Kaciga



Slika 42. Vatrootporno odijelo



Slika 43. Sportski bicikl

## 7.POSTAVKA ZADATKA

U ovom završnom radu opisani su kompozitni materijali , te njihova svojstva i primjena. Stavljen je naglasak na mehanička svojstva kompozitnih materijala.

Nakon teorijskog dijela provest će se eksperimentalni dio koji će biti odrađen u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu. Bit će provedeno ispitivanje statičke vlačne čvrstoće na više ispitnih uzoraka materijala : astonea na bazi polisesterske smole, akrila ojačanog staklenim vlaknima i akrila.

Nakon ispitivanja slijedi prikaz, međusobna usporedba i analiza rezultata , te zaključak.

## 8.EKSPERIMENTALNI DIO

### 8.1. Opis opreme

U laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu odrađen je statički vlačni pokus. On se izvodio na kidalici Shimadzu AG-X. Kidalicom se upravlja putem računala, te programskim paketom Trapezium X, koji omogućava provođenje ispitivanja i zapisivanja rezultata u elektronskom obliku, kao i dobivanje Hookova-a dijagrama na temelju dobivenih rezultat ispitivanja materijala. Na kidalici je moguće vršiti ispitivanje na savijanje i statički vlačni pokus. Slika 44. prikazuje izgled kidalice SHIMADZU AG-X .

Specifikacije kidalice SHIMADZU AG-X:

- mjerno područje do 100 kN,
- ispitivanje na vlak, tlak i savijanje,
- mogućnost ispitivanja plosnih epruveta 0-21 mm (100/50 kN),
- mogućnost ispitivanja okruglih epruveta D4-D24 (100/50 kN).



Slika 44. Kidalica SHIMADZU AG-X

## 8.2. Oblik i dimenzija epruvete

Epruvete koje se koriste za standardni statički vlačni pokus te određivanje  $R_p 0,2$  mogu biti okruglog ili četvrtastog poprečnog presjeka.

Najčešće se koriste epruvete okruglog presjeka, a ako se žele utvrditi mehanička svojstva lima ili trake koriste se uzorci četvrtastog poprečnog presjeka.

Okrugle epruvete mogu s obzirom na veličinu promjera početnog presjeka biti:

- normalne ( $d_0 = 20 \text{ mm}$ ),
- proporcionalne ( $d_0 \neq 20 \text{ mm}$ ).

Obzirom na početnu mjernu duljinu  $L_0$  dijele se na:

- duge epruvete  $L_0 = 10 \cdot d_0$ ,
- kratke epruvete  $L_0 = 5 \cdot d_0$ .

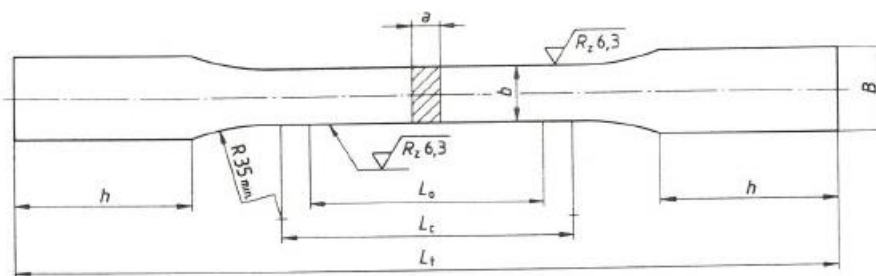
Budući da iznos istezljivosti  $A$  ovisi o tome da li je ta veličina određena na kratkoj epruveti ( $L_0 = 5 \cdot d_0$ ) ili dugoj epruveti ( $L_0 = 10 \cdot d_0$ ) obavezno označujemo indeksom uz slovo  $A$  :

- $A_5$  ( $L_0 = 5 \cdot d_0$ ),
- $A_{10}$  ( $L_0 = 10 \cdot d_0$ ).

Plosnate epruvete (četvrtastog poprečnog presjeka) također mogu obzirom na početnu mjernu duljinu biti kratke i duge:

- kratki ispitni uzorak:  $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ ,
- dugi ispitni uzorak:  $L_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$ ,
- $S_0 = a_0 \cdot b_0$ .

Na slici 45. Prikazana je epruveta izrađena standardom DIN 50 125.



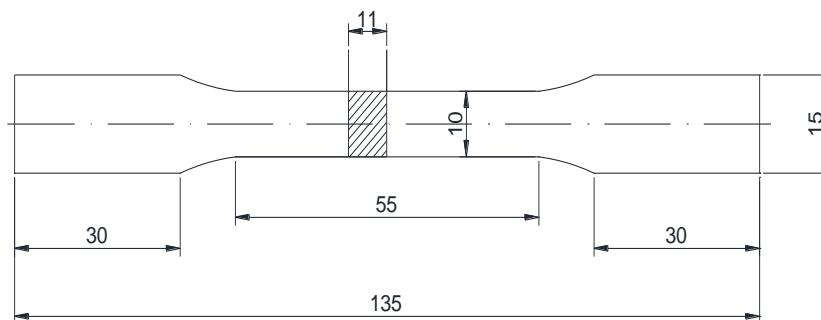
Slika 45. Epruveta izrađena standardom DIN 50 125

Oznake na epruveti:

- $a$  - Debljina epruvete, mm,
- $b$  – Širina epruvete, mm,
- $B$  – Širina glave epruvete ( $\approx 1,2 b + 3 \text{ mm}$ ),
- $h$  – Visina glave epruvete ( $\approx 2 b + 10 \text{ mm}$ ),
- $L_0$  – Početna mjerna duljina epruvete, mm,
- $L_c$  – Ispitna duljina epruvete ( $L_c \geq L_0 + 1,5 \sqrt{S_0}$ ), mm,
- $L_t$  – Ukupna duljina .

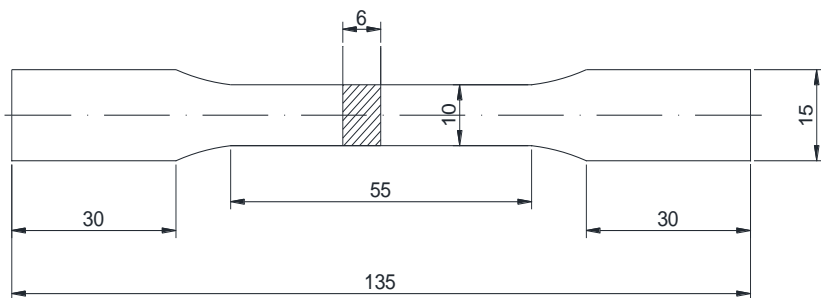
Kod epruveta izrađenih od astonea i akrila ojačanog vlaknima debljina epruvete a odstupa od standarda zbog nanesenog dodatnog sloja, dok je debljina epruvete akrila standardna.

Na slici 46. prikazane su dimenzije epruvete izrađene od astonea.



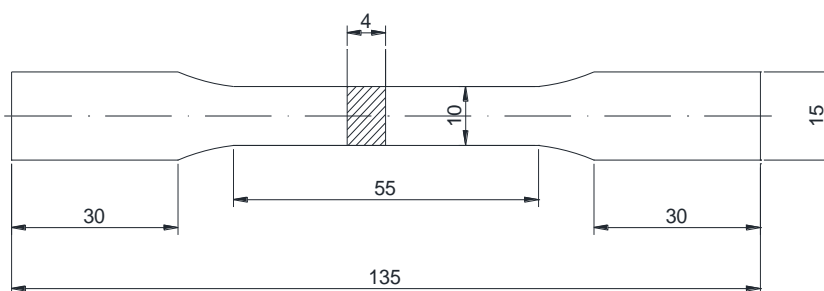
Slika 46. Epruveta od astonea

Slika 47. prikazuje dimenzije epruvete izrađene od akrila ojačanog staklenim vlaknima



Slika 47. Epruveta od akrila ojačanog staklenim vlaknima

Dimenzije epruvete od akrila prikazane su na slici 48.



Slika 48. Epruveta od akrila

### 8.3. Ispitivanje statičke vlačne čvrstoće

Ispitano je petnaest epruveta ,po pet od svake vrste materijala koje su podvrgnute vlačnom ispitivanju u istim uvjetima i testirane u istom programskom paketu Trapezium-x, koji je prikazan slikom 49.



Slika 49. Računalni program Trapezium-x

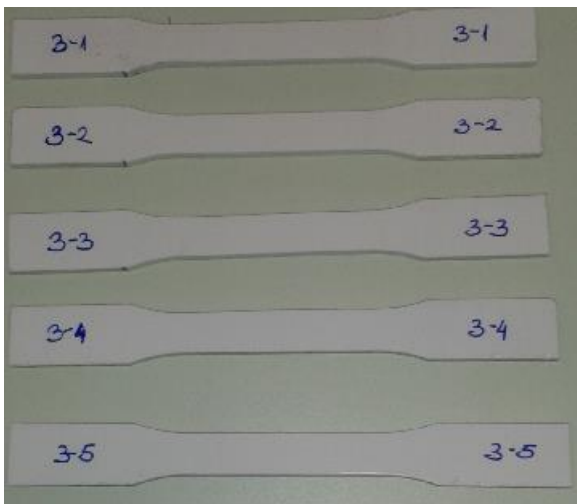
Slike 50,51 i 52 prikazuju epruveta koje su bile podvrgnute ispitivanju vlačne čvrstoće. Slika 50. prikazuje epruvete izrađene od astonea na bazi poliesterske smole. Astone je prirodni mineral aluminij-tri-hidrat u prahu povezan akrilno-modificiranom poliesterskom smolom i obojan prirodnim pigmentom, a to mu daje izvanredna tehnička svojstva i visoku razinu primjenjivosti i izdržljivosti. Slika 51. prikazuje epruvete izrađene od akrila ojačanog staklenim vlaknima. Akril s ojačanjem ima nanesen sloj kompozitnog materijala u svrhu ojačanja. Akril je jedan od često upotrebljivih polimernih materijala koji je našao široku primjenu u području izrade kupaonskih kada, medicini, autoindustriji, izradi bazena itd. Slika 52. prikazuje epruvete izrađene od akrila .



Slika 50. Astone na bazi poliesterske smole



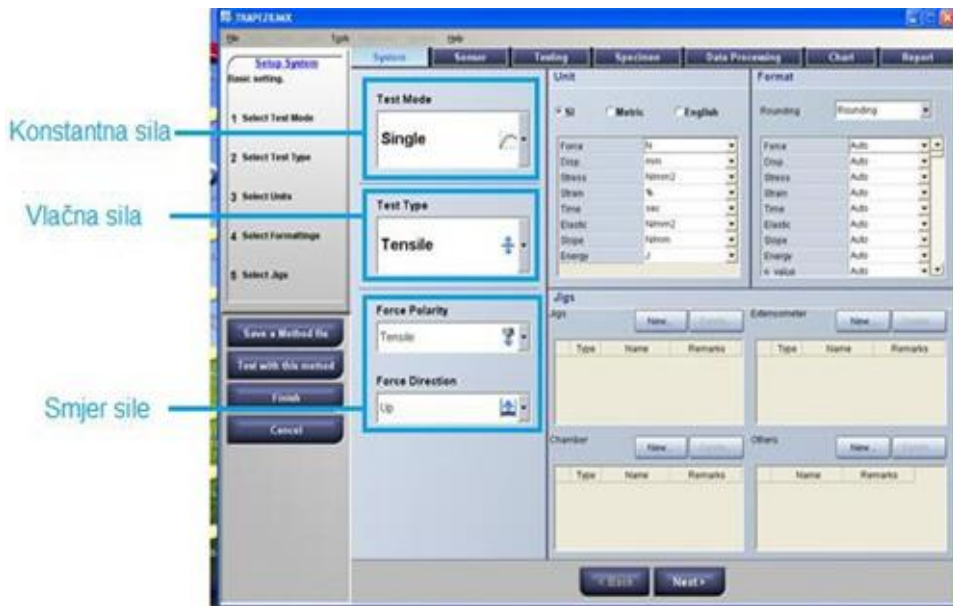
Slika 51. Akril ojačan staklenim vlaknima



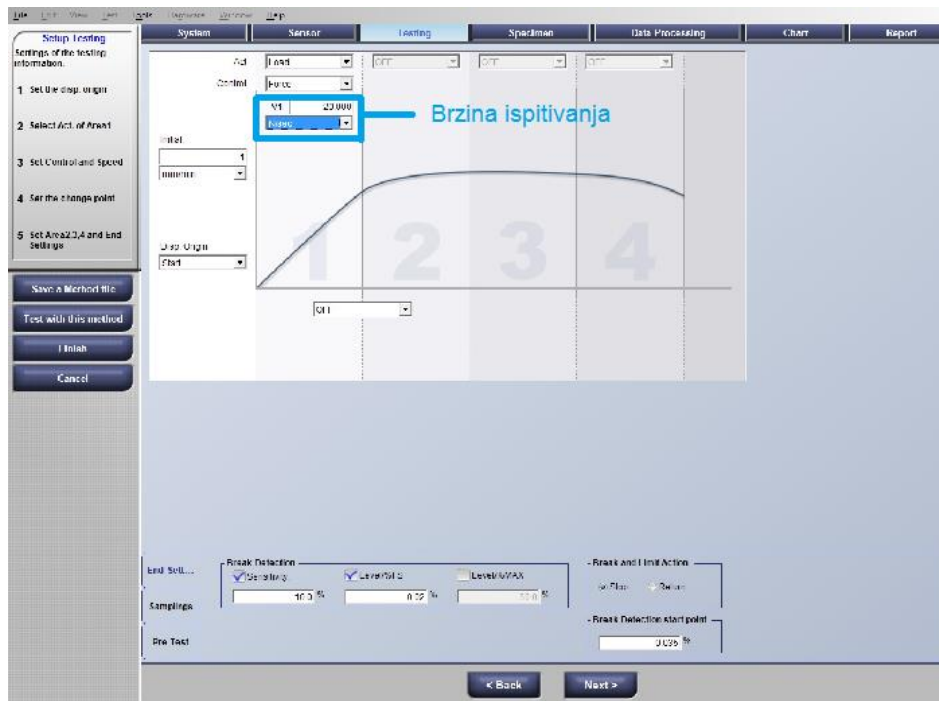
Slika 52. Akril

Prije samog početka ispitivanja potrebno je namjestiti program za odgovarajuću epruvetu. Prvo slijedi odabir vlačne sile, zatim brzine ispitivanja, nakon toga dimenzije ispitane epruvete, te na kraju odabir parametara koje želimo mjeriti.

Slika 53. prikazuje odabir sila potrebnih za statički vlačni pokus, slika 54. prikazuje koja je brzina odabrana za ispitivanje. U našem slučaju to je bilo 20 N/sec. Slika 55. prikazuje debljinu i širinu epruvete, a slika 56. prikazuje parametre koje želimo mjeriti prilikom ispitivanja.



Slika 53. Odabir sile

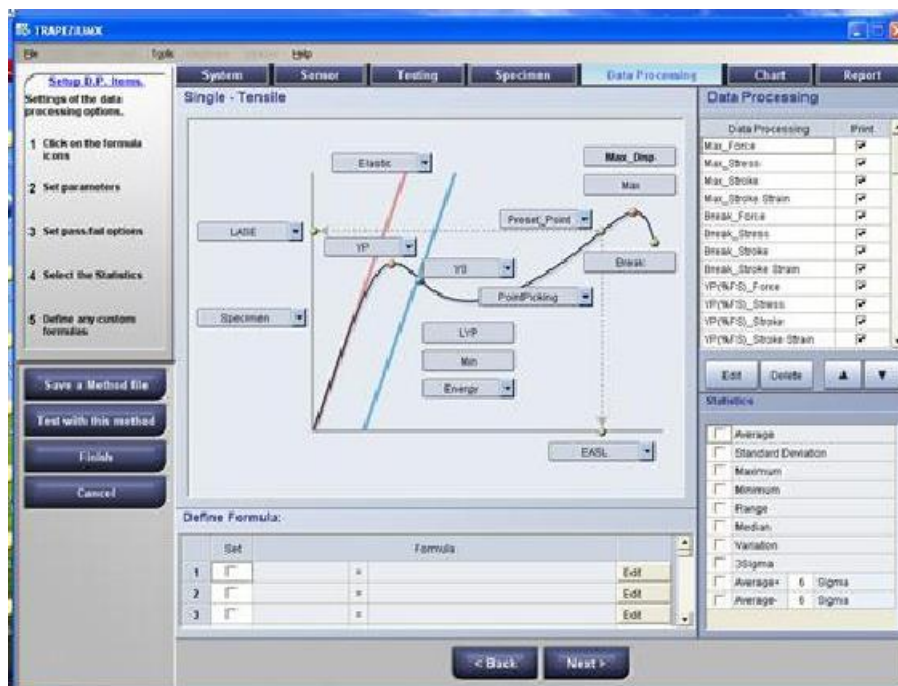


Slika 54. Odabir brzine ispitivanja





Slika 55. Odabir dimenzije epruvete



Slika 56. Odabir parametara

Nakon namještanja programa, potrebno je pravilno postaviti epruvetu. Slika 57. prikazuje kako epruveta mora biti pravilno učvršćena prije samog početka ispitivanja. Važno je epruvetu dovoljno zategnuti u pakne kako ne bi došlo do klizanje prilikom puštanja sile i time rezultati ne bi bili točni.



Slika 57. Pravilno postavljanje epruvete

Nakon što se epruveta dobro namjesti pokrene se odabrani program i krene se sa ispitivanjem.

## 8.4. Rezultati ispitivanja

Slike 58.prikazuje izgled epruveta napravljenih od astonea na bazi poliesterske smole nakon provedbe ispitivanja, odnosno nakon puknuća



Slika 58. Astone nakon puknuća

Tablica 1. Rezultati ispitivanja astona

Epruveta	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
Najveća sila (N)	2857,7	3363,91	4879,9	4125,52	3445,32
Najveće naprezanje (N/mm <sup>2</sup> )	25,9791	30,581	44,3628	37,5047	34,0483
Najveće istežanje (mm)	1,3655	1,43681	1,87258	1,81548	1,4924
Izduženje (%)	1,70688	1,79602	2,34073	2,26935	1,8655
Sila loma (N)	2856,29	3363,91	4879,9	4125,52	3745,32
Naprezanje kod loma (N/mm <sup>2</sup> )	25,9662	30,581	44,3628	37,5047	34,0483
Najveće istežanje kod loma (mm)	1,36556	1,43681	1,87258	1,81548	1,4924
Izduženje kod loma (%)	1,70695	1,79602	2,34073	2,26935	1,8655

Tablica 1. prikazuje rezultate svih pet ispitnih epruveta astona, iz tablice vidimo da epruveta pod brojem 1-3 ima najveće vrijednosti ispitivanja.Tablice 1,2 i 3. napravljene su prema izvješću o

ispitanom materijalu koji se nalazi u priložima. Rezultati svih pet ispitivanja uspoređivali smo prema najvećoj sili i izduženju. U nastavku su radi usporedbe rezultata ispitivanja.

Slika 59.prikazuje izgled epruveta napravljenih od akrila ojačanog staklenim vlaknima nakon provedbe ispitivanja. Iz slike vidimo da je dio sa matricom puknuo , dok se vlakna još drže.



Slika 59. Akril ojačan staklenim vlaknom nakon ispitivanja

Tablica 2. Rezultati ispitivanja akrila ojačanog staklenim vlaknima

Epruveta	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
Najveća sila (N)	1346,13	1830,64	1565,89	1601,98	1565,68
Najveće naprezanje (N/mm <sup>2</sup> )	22,4355	30,5107	26,0981	26,6997	26,0947
Najveće istezanje (mm)	1,13942	1,38988	1,19827	1,43396	1,3576
Izduženje (%)	1,42427	1,73734	1,49784	1,79245	1,69701

Tablica 2. prikazuje rezultate svih pet ispitnih epruveta akrila ojačanog staklenim vlaknima. Iz tablice se vidi da epruveta pod brojem 2-2 ima najveće vrijednosti ispitivanja.

Slika 60.prikazuje izgled epruveta napravljenih od akrila nakon provedbe ispitivanja.



Slika 60. Akril nakon puknuća

Tablica 3. Rezultati ispitivanja akrila

Epruveta	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
Najveća sila (N)	1848,63	2191,99	2007,66	1993,43	2038,03
Najveće naprezanje (N/mm <sup>2</sup> )	46,2159	54,7997	50,1915	49,8358	50,9508
Najveće istezanje (mm)	2,89444	3,3864	3,4145	3,94588	3,24812
Izduženje (%)	3,61805	4,233	4,26813	4,93234	4,06016
Sila loma (N)	1848,63	2191,99	2007,66	1993,43	2038,03
Naprezanje kod loma (N/mm <sup>2</sup> )	46,2159	54,7997	50,1915	49,8358	50,9508
Najveće istezanje kod loma (mm)	2,89444	3,3864	3,4145	3,94588	3,24812
Izduženje kod loma (%)	3,61805	4,233	4,26813	4,93234	4,06016

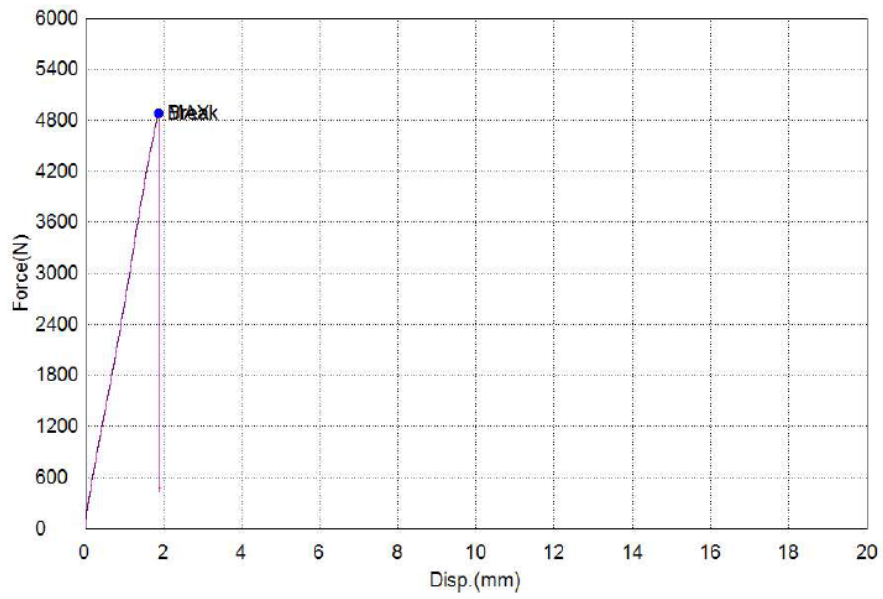
Tablica 3. prikazuje rezultate svih pet ispitnih epruveta akrila, iz tablice se vidi da epruveta pod brojem 3-2 ima najveće vrijednosti ispitivanja.

## 8.5. Analiza i usporedba rezultata

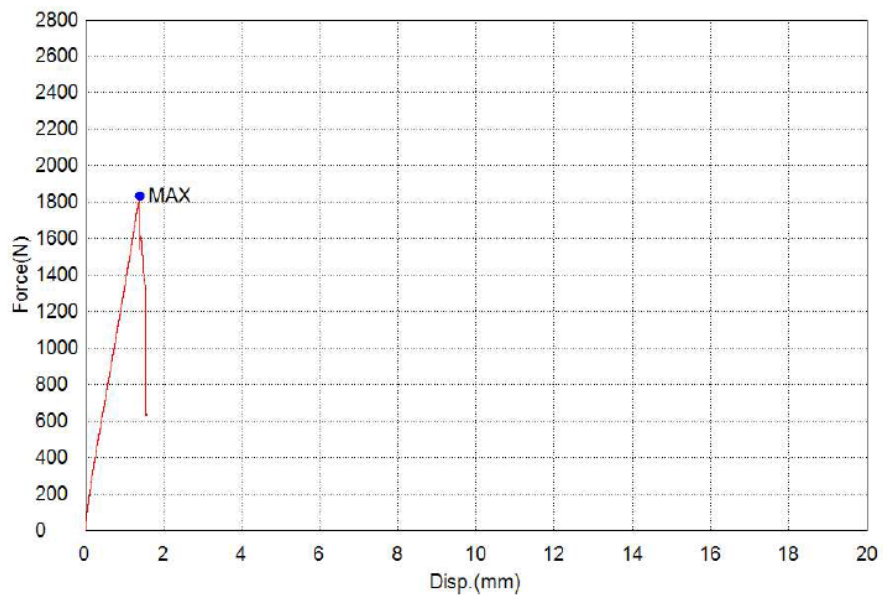
Radi usporedbe rezultata, u tablici 4. prikazane su maksimalne vrijednosti za sve tri vrste materijala, dok slike 61, 62 i 63 prikazuju dijagrame dobivene ispitivanjem. Iz prikaza se vidi da kod materijala 1 i 3 (astone i akril), najveća sila je jednaka sili loma, najveće naprezanje je jednako naprezanju kod loma, najveće istezanje jednako je istezanju kod loma i izduženje je jednako izduženju kod loma. Akril ojačan staklenim vlaknima nije puknuo do kraja, vlakna se na kraju ispitivanja još drže.

Tablica 4. Maksimalne vrijednosti sve tri vrste epruveta

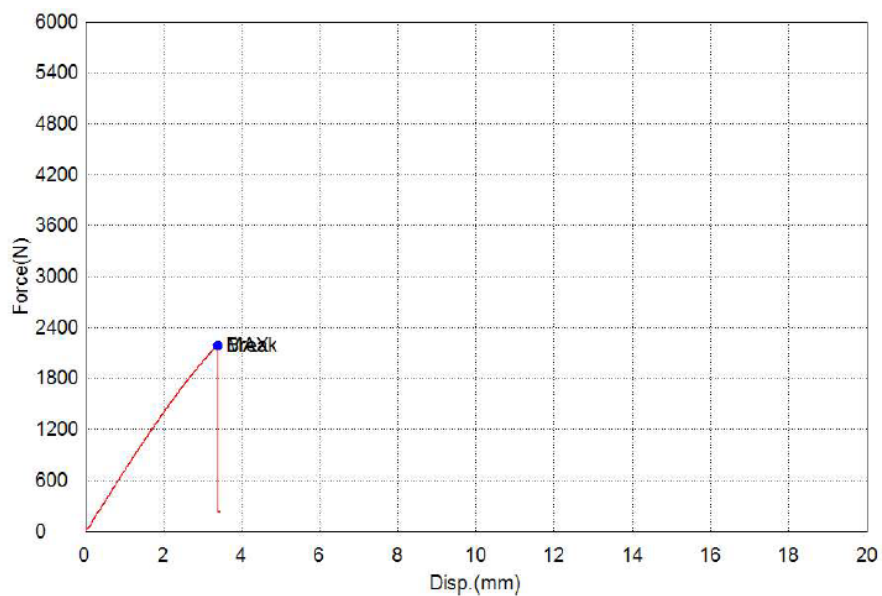
Epruveta	1_3	2_2	3_2
Najveća sila (N)	4879,9	1830,64	2191,99
Najveće naprezanje (N/mm <sup>2</sup> )	44,3628	30,5107	54,7997
Najveće istezanje (mm)	1,87258	1,38988	3,3864
Izduženje (%)	2,34073	1,73734	4,233
Sila loma (N)	4879,9		2191,99
Naprezanje kod loma (N/mm <sup>2</sup> )	44,3628		54,7997
Najveće istezanje kod loma (mm)	1,87258		3,3864
Izduženje kod loma (%)	2,34073		4,233



Slika 61. Dijagram vrijednosti ispitivanja astona 1\_3



Slika 62. Dijagram vrijednosti ispitivanja vlaknima ojačanog kompozita 2\_2



Slika 63. Dijagram vrijednosti ispitivanja akrila 3\_2

Ispitani materijali se koriste za izradu kupaonskih kada, bazena, trupa glisera i sl., imaju široku primjenu u medicini, automobilske industriji.

S obzirom da se u svakidašnjoj upotrebi ovi materijali više koriste pri djelovanju tlačnog opterećenja, u daljnjem istraživanju preporuča se provedba ispitivanja na tlak.



## 9. ZAKLJUČAK

Za eksperimentalni dio odabrane su tri vrste materijala. Ti materijali imaju različite vrijednosti ispitivanja, neki imaju veće sile dok drugi imaju veće izduženje.

Ipak, svaki materijal ima svoje specifičnosti, što je vidljivo iz analize rezultata. Kompozitni materijali zbog svojih dobrih fizičkih i mehaničkih svojstava imaju vrlo raširenu primjenu. Konačna svojstva ovise o velikom broju čimbenika pa tako i o vrsti i rasporedu ojačala.

S obzirom da se danas mogu postići različita željena svojstva zaključeno je da kompoziti postaju materijali budućnosti.

## LITERATURA:

- [1] Osobne zabilješke sa predavanja prof. Đ. Španiček, Z. Schaupel
- [2] <http://www.google.com>
- [3] Filetin T., Kovačiček F., Indof J., Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [4] Tomislav Filetin: Materijali i tehnologijski razvoj, Zagreb, 2002.
- [5] W. Kunej: Poliesterski kompoziti, 2. Prošireno izdanje, Zagreb, 2006.
- [6] Španiček Đ, Smolčić Žerdik Z, Husić Š: Odnos apsorpcije vode, udjela šupljina i međuslojne čvrstoće polimernih kompozita; Polimeri, 1998.
- [7] Ivan Štefanac, Kompozitni materijali u stomatologiji, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [8] Sanja Brkić, Primjena polimernih kompozita u kirurgiji, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [9] Goran Milardović, Kompozitni materijali u automobilskoj industriji, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [10] J. Indof i Đ. Španiček: Primjena sendvič konstrukcija na osnovi polimernih materijala u brodogradnji, FSB, Zagreb, 2004.
- [11] [http://www.compositestoday.com/tag/a350-xwb/\(srpanj, 2015.\)](http://www.compositestoday.com/tag/a350-xwb/(srpanj, 2015.))
- [12] <http://www.gradimo.hr/clanak/polimerni-materijali-ojacani-vlaknima/24555>
- [13] Miracle D.B., Donaldson S.L., ASM Handbook Volume 21: Composites, ASM International, Ohio, 2001

## PRILOZI

Prilog 1. Izvješće o ispitanom materijalu 1-1

### IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

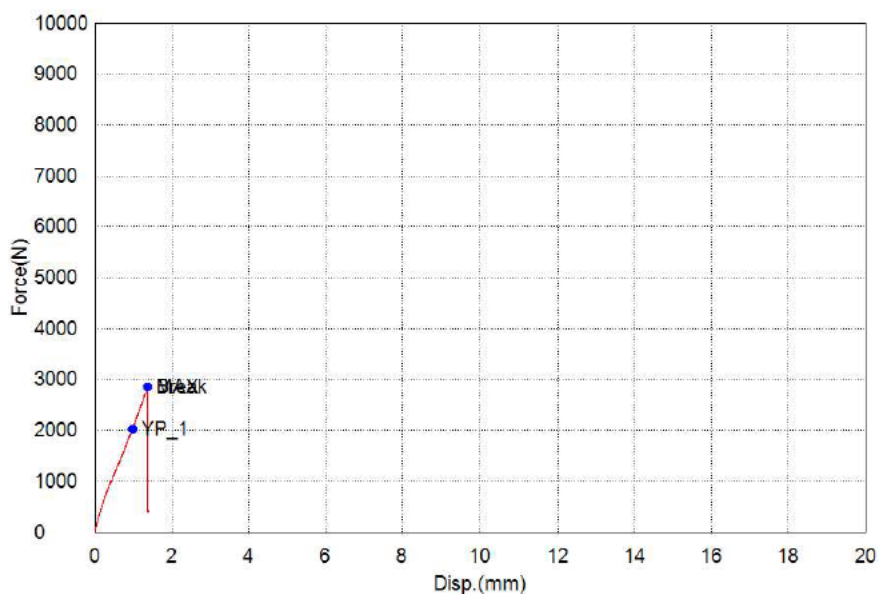
Radni nalog		Naručilj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Kompozit – astone	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke_Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	2857.70	25.9791	1.36550	1.70688

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke_Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	2856.29	25.9662	1.36556	1.70695

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke_Strain
Parameters	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	2028.53	18.4412	0.97194	1.21492

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke_Strain
Parameters	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_1	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

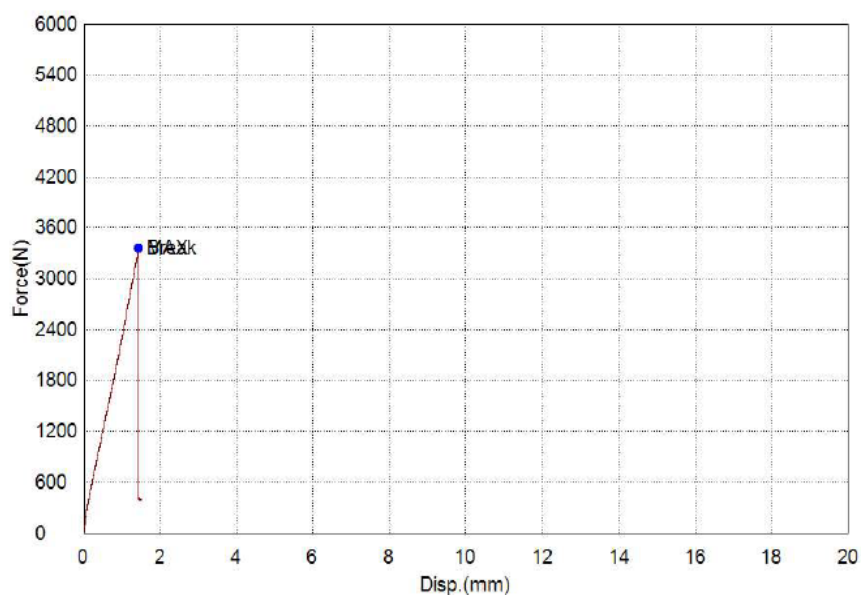
Radni nalog		Naručilj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naruđba br.	Završni rad
Materijal	Kompozit – astone	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1_2	3363.91 N	30.5810 N/mm2	1.43681 mm	1.79602 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
1_2	3363.91 N	30.5810 N/mm2	1.43681 mm	1.79602 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
1_2	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
1_2	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

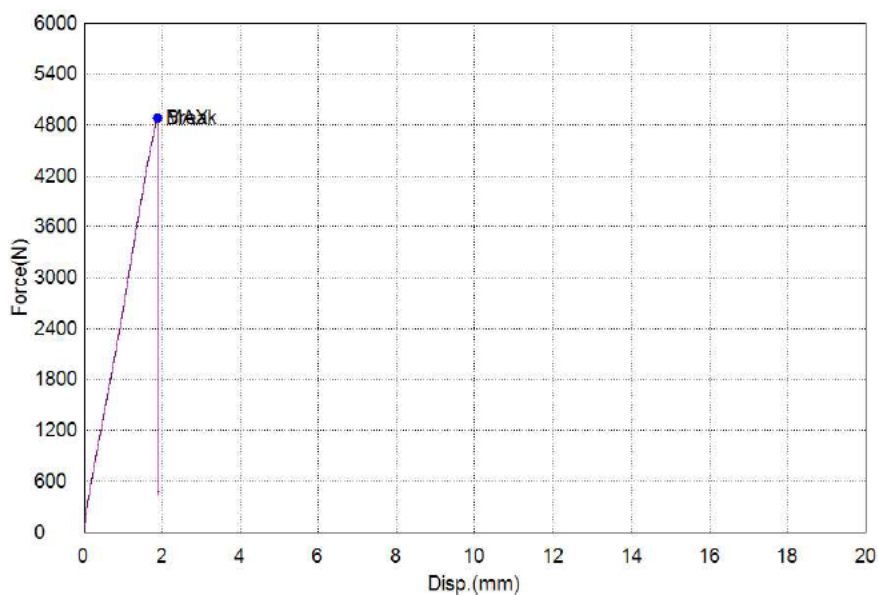
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Kompozit – astone	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke_Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_3	4879.90	44.3628	1.87258	2.34073

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke_Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_3	4879.90	44.3628	1.87258	2.34073

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke_Strain
Parameters	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_3	--	--	--	--

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke_Strain
Parameters	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
1_3	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

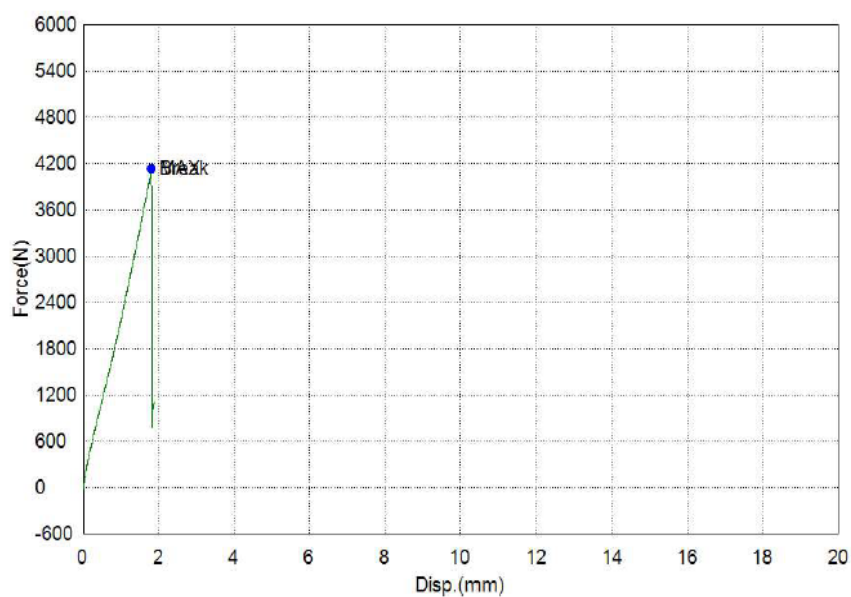
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Kompozit – astone	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1_4	4125.52 N	37.5047 N/mm <sup>2</sup>	1.81548 mm	2.26935 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
1_4	4125.52 N	37.5047 N/mm <sup>2</sup>	1.81548 mm	2.26935 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
1_4	0.1 % N	0.1 % N/mm <sup>2</sup>	0.1 % mm	0.1 % %

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
1_4	0.2 % N	0.2 % N/mm <sup>2</sup>	0.2 % mm	0.2 % %



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

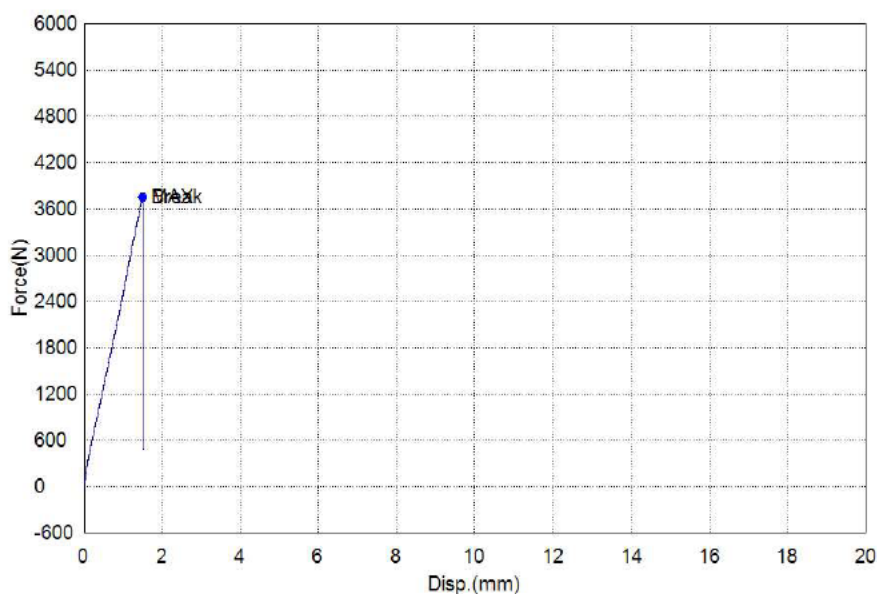
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Kompozit – astone	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
1_5	3745.32 N	34.0483 N/mm2	1.49240 mm	1.86550 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
1_5	3745.32 N	34.0483 N/mm2	1.49240 mm	1.86550 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
1_5	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %

Name Parameters	YS1_Force 0.2 % Unit	YS1_Stress 0.2 % Unit	YS1_Stroke 0.2 % Unit	YS1_Stroke_Strain 0.2 % Unit
1_5	-- N	-- N/mm2	-- mm	-- %



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

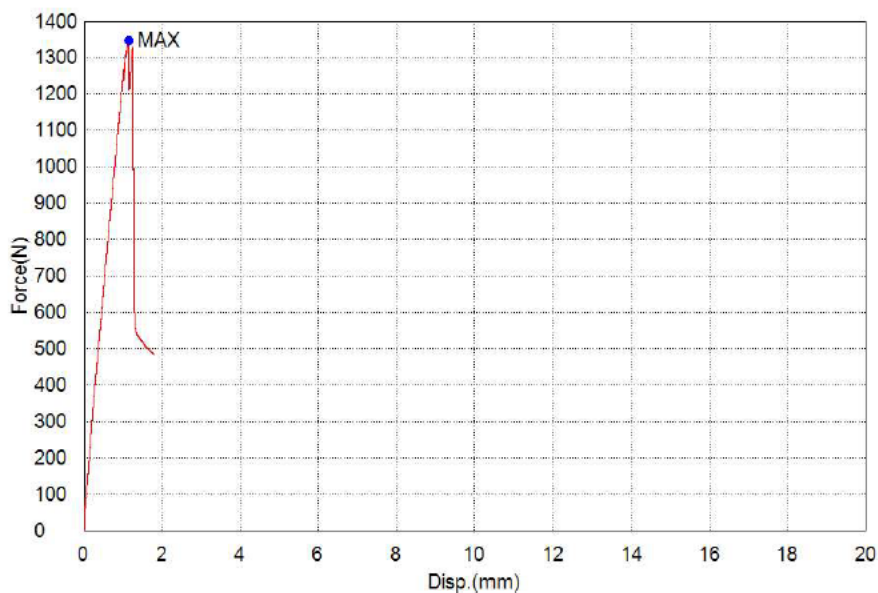
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Akril s ojačanjem	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.1	1346.13	22.4355	1.13942	1.42427

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10	Break_Stress Sensitivity: 10	Break_Stroke Sensitivity: 10	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.1	--	--	--	--

Name Parameters	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke_Strain
Unit	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.1	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke_Strain
Unit	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.1	--	--	--	--





## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

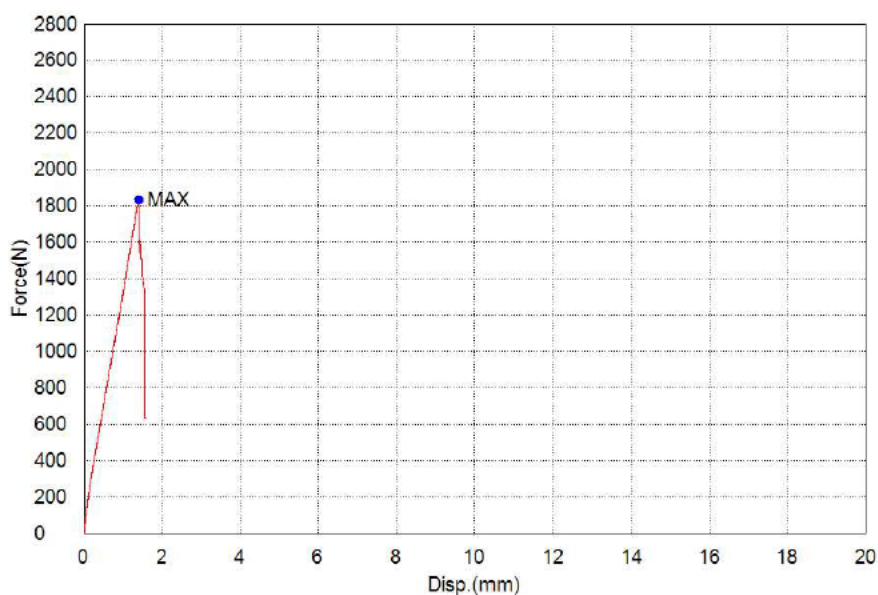
Radni nalog		Naručilatelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril s ojačanjem	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
2.2	1830.64 N	30.5107 N/mm2	1.38988 mm	1.73734 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
2.2	-- N	-- N/mm2	-- mm	-- %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
2.2	-- 0.1 % N	-- 0.1 % N/mm2	-- 0.1 % mm	-- 0.1 % %

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
2.2	-- 0.2 % N	-- 0.2 % N/mm2	-- 0.2 % mm	-- 0.2 % %



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

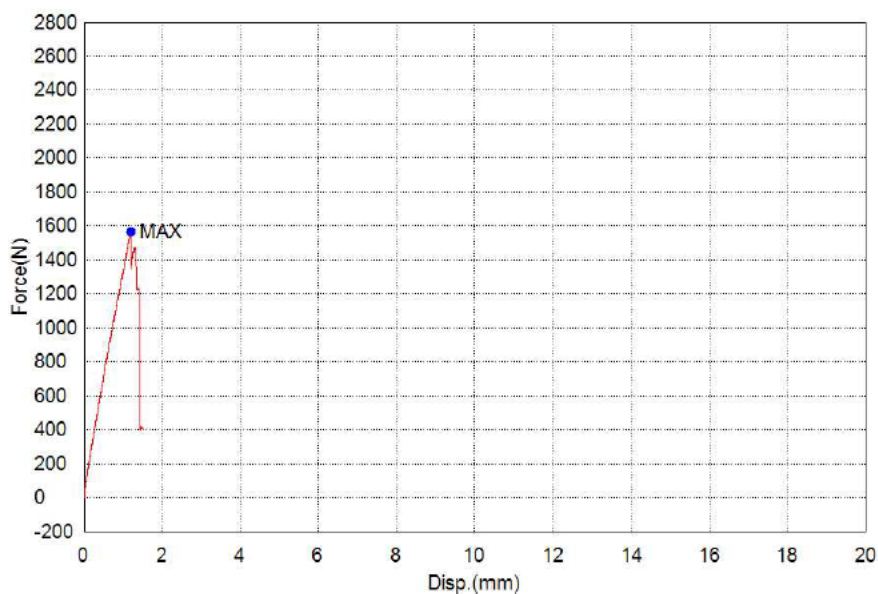
Radni nalog		Naručilac	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril s ojačanjem	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
2,3	1565.89 N	26.0981 N/mm2	1.19827 mm	1.49784 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
2,3	-- N	-- N/mm2	-- mm	-- %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
2,3	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
2,3	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

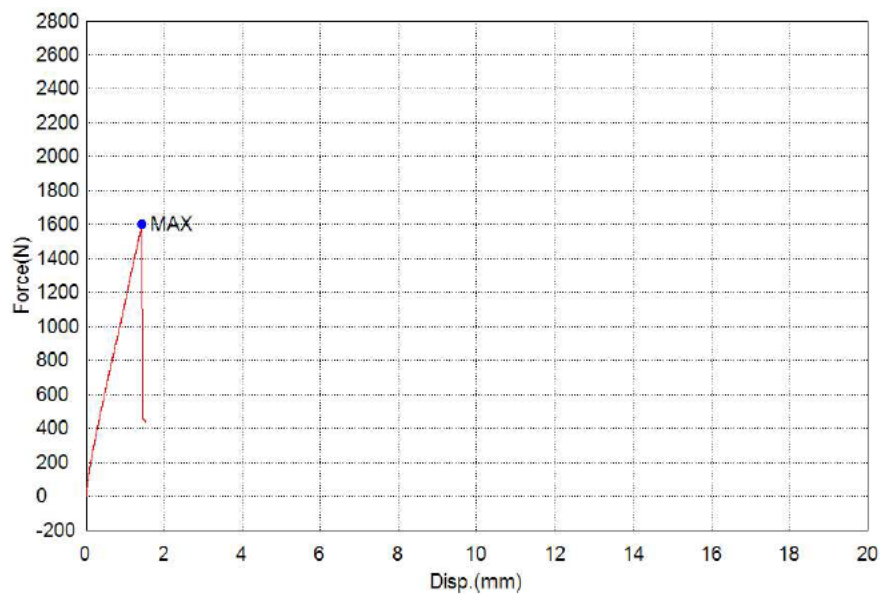
Radni nalog		Naručilj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril s ojačanjem	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke	Max_Stroke_Strain
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.4	1601.98	26.6997	1.43396	1.79245

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Stroke	Break_Stroke_Strain
Parameters	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.4	--	--	--	--

Name	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke_Strain
Parameters	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.4	--	--	--	--

Name	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke_Strain
Parameters	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
Unit	N	N/mm2	mm	%
2.4	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

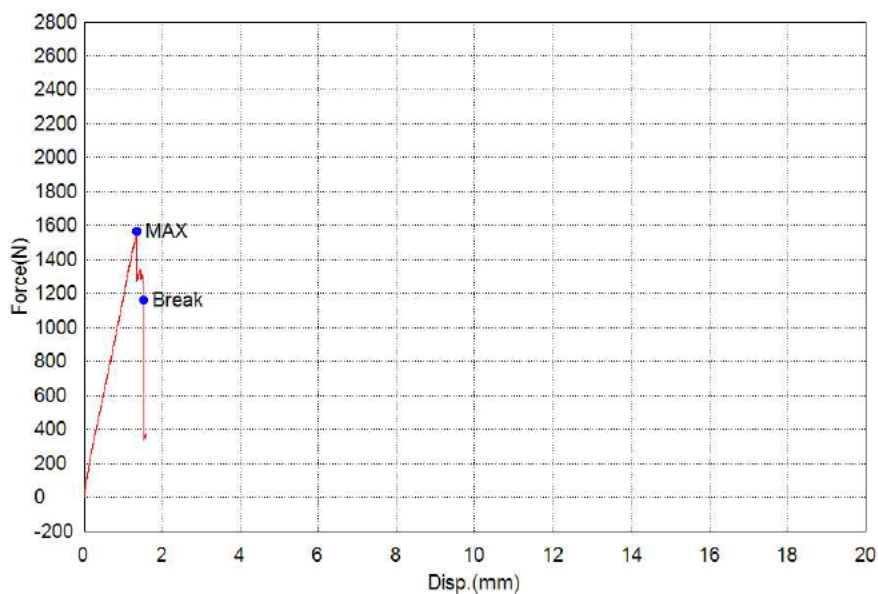
Radni nalog		Naručilatelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril s ojačanjem	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters Unit	Max_Force Calc. at Entire Areas N	Max_Stress Calc. at Entire Areas N/mm2	Max_Stroke Calc. at Entire Areas mm	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas %
2,5	1565.68	26.0947	1.35760	1.69701

Name Parameters Unit	Break_Force Sensitivity: 10 N	Break_Stress Sensitivity: 10 N/mm2	Break_Stroke Sensitivity: 10 mm	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 %
2,5	1163.17	19.3861	1.51575	1.89469

Name Parameters Unit	YP(%FS)_Force 0.1 % N	YP(%FS)_Stress 0.1 % N/mm2	YP(%FS)_Stroke 0.1 % mm	YP(%FS) _Stroke_Strain 0.1 % %
2,5	--	--	--	--

Name Parameters Unit	YS1_Force 0.2 % N	YS1_Stress 0.2 % N/mm2	YS1_Stroke 0.2 % mm	YS1_Stroke_Strain 0.2 % %
2,5	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

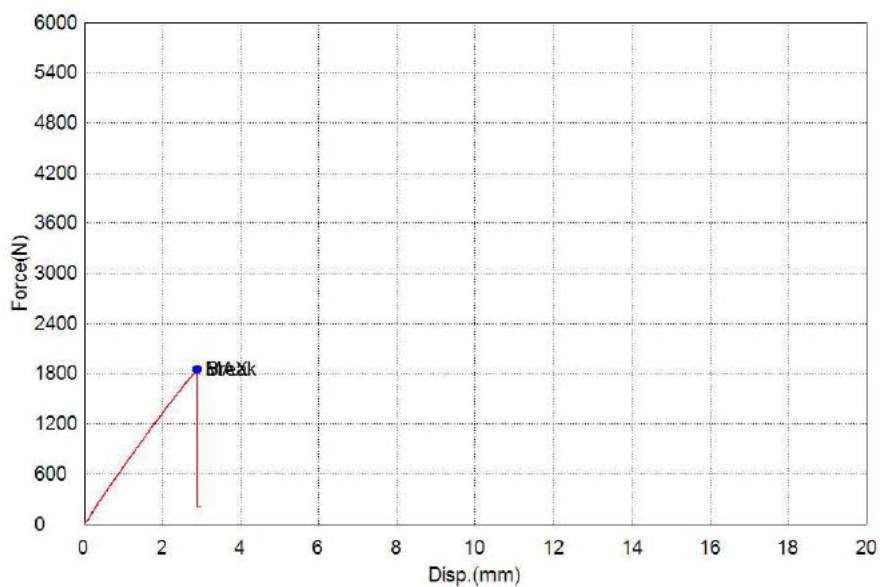
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Akril	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
3_1	1848.63 N	46.2159 N/mm2	2.89444 mm	3.61805 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
3_1	1848.63 N	46.2159 N/mm2	2.89444 mm	3.61805 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
3_1	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
3_1	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

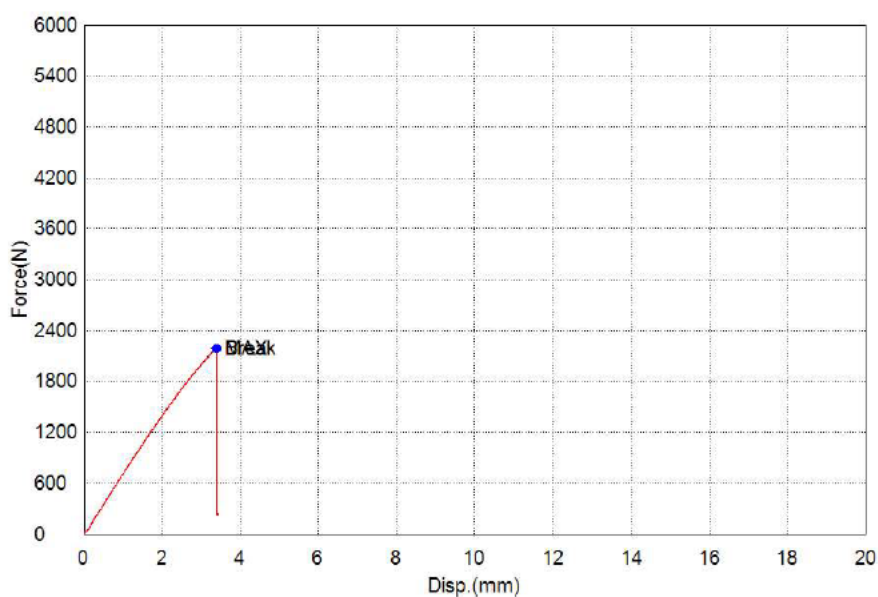
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Akril	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas	Max_Stress Calc. at Entire Areas	Max_Stroke Calc. at Entire Areas	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas
Unit	N	N/mm2	mm	%
3_2	2191.99	54.7997	3.38640	4.23300

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10	Break_Stress Sensitivity: 10	Break_Stroke Sensitivity: 10	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10
Unit	N	N/mm2	mm	%
3_2	2191.99	54.7997	3.38640	4.23300

Name Parameters	YP(%FS)_Force	YP(%FS)_Stress	YP(%FS)_Stroke	YP(%FS)_Stroke_Strain
Unit	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
3_2	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force	YS1_Stress	YS1_Stroke	YS1_Stroke_Strain
Unit	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
3_2	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

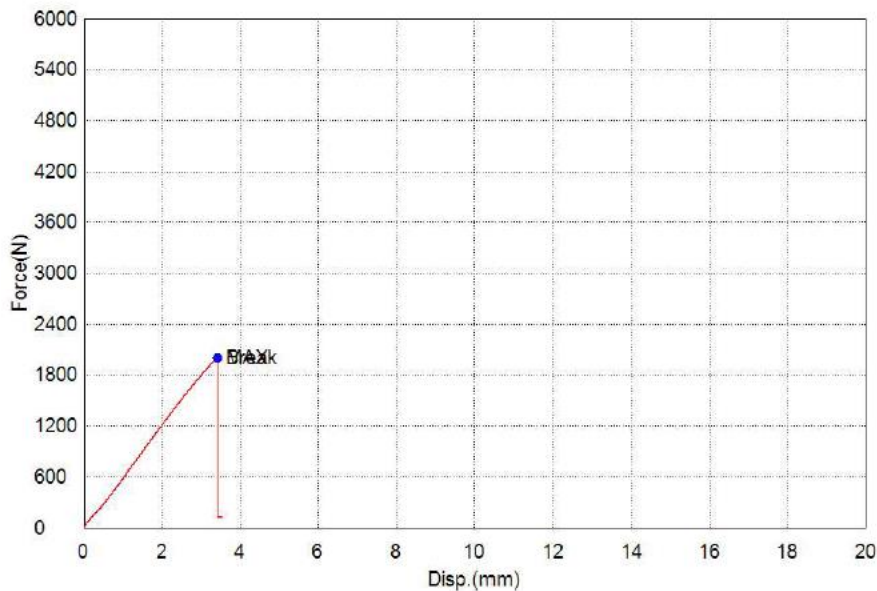
Radni nalog		Naručilj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
3.3	2007.66 N	50.1915 N/mm2	3.41450 mm	4.26813 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
3.3	2007.66 N	50.1915 N/mm2	3.41450 mm	4.26813 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
3.3	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
3.3	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
	--	--	--	--



## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

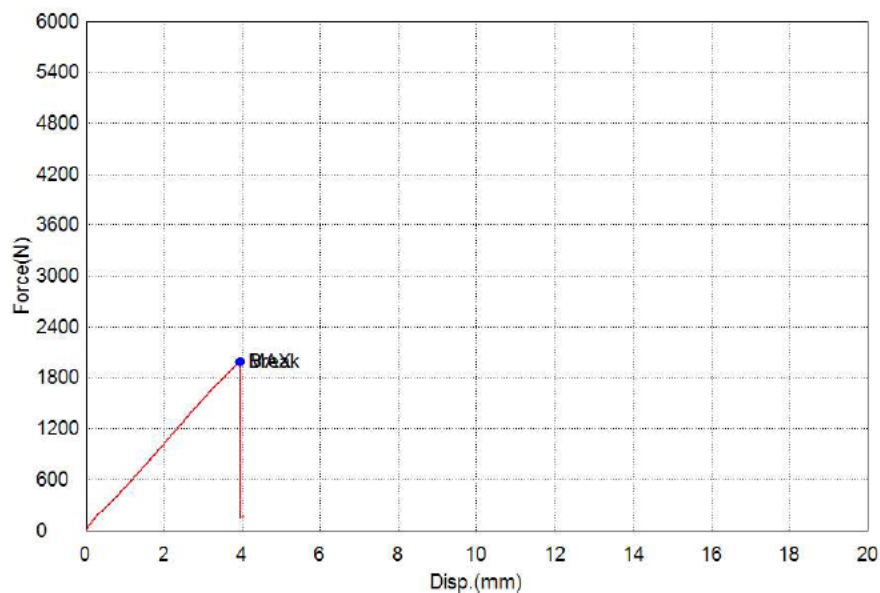
Radni nalog		Naručitelj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Narudžba br.	Završni rad
Materijal	Akril	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
3.4	1993.43 N	49.8358 N/mm2	3.94588 mm	4.93234 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
3.4	1993.43 N	49.8358 N/mm2	3.94588 mm	4.93234 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
3.4	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
3.4	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
3.4	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
3.4	--	--	--	--





## IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA

Radni nalog		Naručilj	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža		Naružba br.	Završni rad
Materijal	Akril	Količina	
Norma		Tehnički propis	
Broj šarže		Broj probe	
Dimenzija		Toplinska obrada	
Predmet		Brzina ispitivanja	20 N/sec
Datum ispitivanja	10.02.2016.		

Name Parameters	Max_Force Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stress Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke Calc. at Entire Areas Unit	Max_Stroke_Strain Calc. at Entire Areas Unit
3.5	2038.03 N	50.9508 N/mm2	3.24813 mm	4.06016 %

Name Parameters	Break_Force Sensitivity: 10 Unit	Break_Stress Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke Sensitivity: 10 Unit	Break_Stroke_Strain Sensitivity: 10 Unit
3.5	2038.03 N	50.9508 N/mm2	3.24813 mm	4.06016 %

Name Parameters	YP(%FS)_Force Unit	YP(%FS)_Stress Unit	YP(%FS)_Stroke Unit	YP(%FS)_Stroke_Strain Unit
3.5	0.1 % N	0.1 % N/mm2	0.1 % mm	0.1 % %
	--	--	--	--

Name Parameters	YS1_Force Unit	YS1_Stress Unit	YS1_Stroke Unit	YS1_Stroke_Strain Unit
3.5	0.2 % N	0.2 % N/mm2	0.2 % mm	0.2 % %
	--	--	--	--

