

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM

¹ Fadil Islamović, ² Mirzet Beganović, ³ Zijah Burzić, ⁴ Dženana Gačo

¹ Tehnički fakultet Bihać, ulica dr. Irfana Ljubijankića bb, f.islam@bih.net.ba

² Regeneracija d.o.o. Velika Kladuša, Seko bb, mirzet.beganovic@regeneracija.ba

³ Vojnotehnički institut, R. Resanovića 1, Beograd, Srbija, zizah_burzic@vektor.net

⁴ Tehnički fakultet Bihać, ulica dr. Irfana Ljubijankića bb, dzgaco@bih.net.ba

Ključne riječi: kompozitni materijali, kratka vlakna, duga vlakna, slaganje staklenih vlakana, ispitivanje savijanjem, mehaničke karakteristike.

SAŽETAK:

U ovom radu je prikazan uticaj vrste i načina slaganja staklenih vlakana na mehaničke savojne osobine konstrukcijskih kompozitnih materijala (maksimalna sila, savojna čvrstoća, savojna deformacija, i savojni modul elastičnosti). Cilj ovog rada je da prikaže zavisnost savojnih mehaničkih karakteristika kompozitnih materijala sa stanovišta upotrebe, vrste staklenog ojačanja kao i usmjerenja vlakana u samom kompozitu. Korištena su kratka i duga staklena vlakna kao i tri tipa slaganja staklenog ojačanja. Detaljna eksperimentalna mehanička ispitivanja savijanjem, tri vrste standardom propisanih epruveta, bi trebala ukazati na to da se vrstom i usmjerenjem staklenih vlakana vrlo uspješno mogu odabirati kompozitni proizvodi za različita opterećenja.

1. UVOD

Za izradu kompozita staklena vlakna - poliesterska smola korištena je poliesterska smola kao matrica i kratka i duga staklena vlakna kao ojačanje.

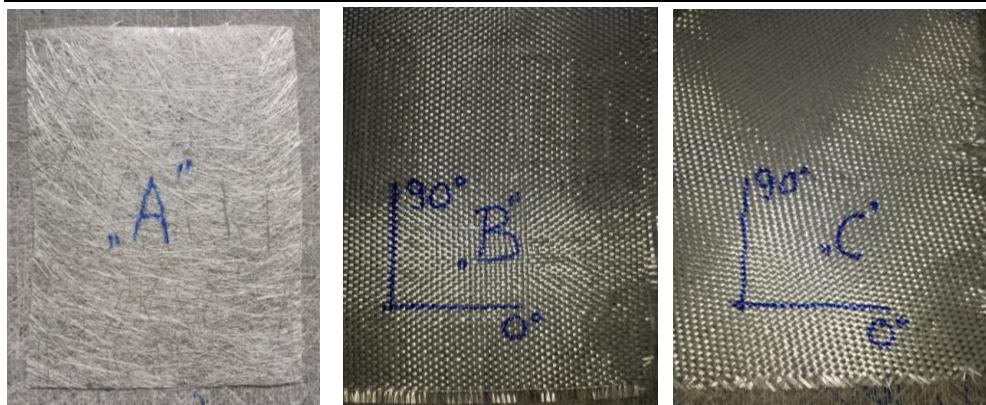
Uticaj vrste i načina slaganja staklenih vlakana na mehaničke osobine konstrukcijskih kompozitnih materijala su rađena za tri tipa kompozitnih materijala, sl. 1.1., [1]:

- kompozit ojačan kratkim vlaknima oznake „A“ (mat - 450 g/m²),
- kompozit ojačan usmjerenim vlaknima oznake „B“ (slaganje 0/90° - 600 g/m²), i
- kompozit ojačan usmjerenim vlaknima oznake „C“ (slaganje ± 45° - 600 g/m²).

Kompozit sa staklenim vlaknima kao ojačivačem i poliesterskom smolom kao matricom je rađen ručnim postupkom, kako je to prikazano na sl. 1.2. Postupak izrade epruveta se provodio ručnim laminatom prema definisanom laminat planu i usmjerenu vlakana.

Istraživanja i rezultati istih, prikazani u ovom radu, samo su dio obimnih eksperimentalnih ispitivanja koja su prodedena u okviru doktorske disertacije pod nazivom „Eksperimentalno-numerička analiza i matematičko modeliranje kritične krutosti prstena cijevi od kompozitnih materijala“. Eksperimentalna ispitivanja, prema ranije utvrđenom planu ispitivanja, u prvom dijelu praktično su izvedena na Vojno-tehničkom institutu u Beogradu, a u drugom dijelu u okviru preduzeća Regeneracija d.o.o. Velika Kladuša.

F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM

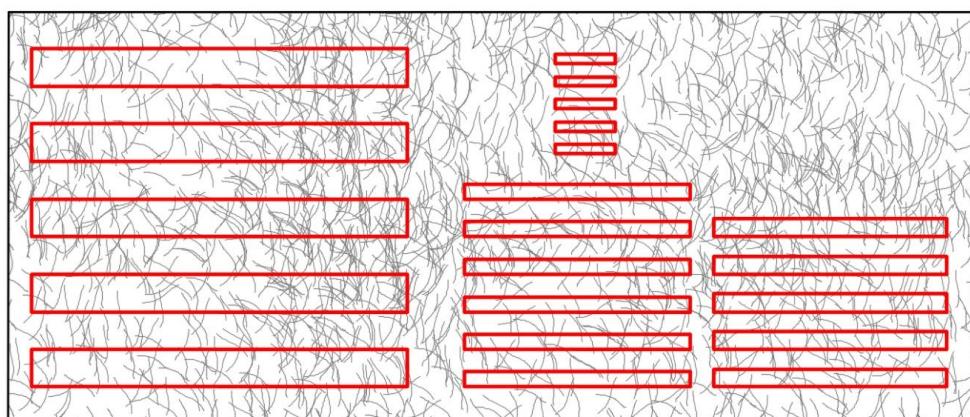


Slika 1.1. Izgled staklenih vlakana prema tipu epruveta [1]



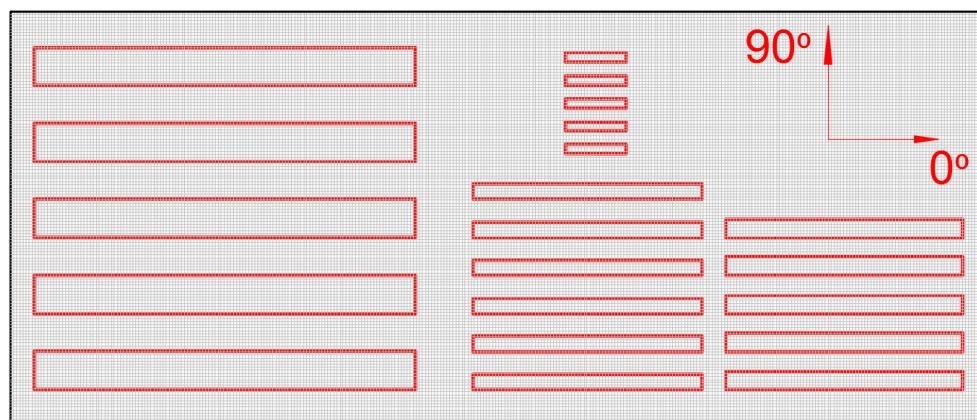
Slika 1.2. Ručni postupak izrade kompozita

Nakon sprovedenog ručnog postupka izrade kompozita, i njegovog očvršćavanja, isječene su epruvete prema šemi dатој на slikama 1.3 do 1.5.

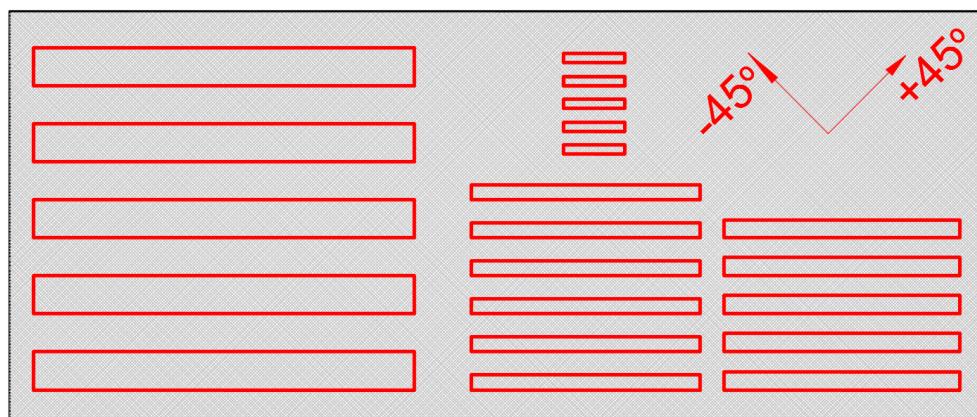


Slika 1.3. Šema isjecanja epruveta iz kompozita - Tip A

F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM



Slika 1.4. Šema isjecanja epruveta iz kompozita - Tip B



Slika 1.5. Šema isjecanja epruveta iz kompozita - Tip C

2. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE STATIČKIH MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM

Na osnovu utvrđenih modela standardnih metoda ispitivanja kompozitnih materijala, urađena su obimna eksperimentalna istraživanja, a sve u cilju određivanja makromehaničkih karakteristika kompozita na bazi kratkih i dugih staklenih vlakana kao ojačanja i poliesterske smole kao matrice.

Urađena su slijedeća eksperimentalna ispitivanja:

- Ispitivanje na zatezanje epruveta sa slaganjem vlakana Tip A i B, a u cilju određivanja zatezne čvrstoće σ_t , modula elastičnosti pri zatezanju E_t , Poasonovog koeficijenta v_{12} i deformacije ϵ_t [1].
- Ispitivanje na pritisak epruveta sa slaganjem vlakana Tip A, B i C, a u cilju određivanja čvrstoće na pritisak σ_c^c , modula elastičnosti pritiska E_c , i deformacije ϵ_c [1].

F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM

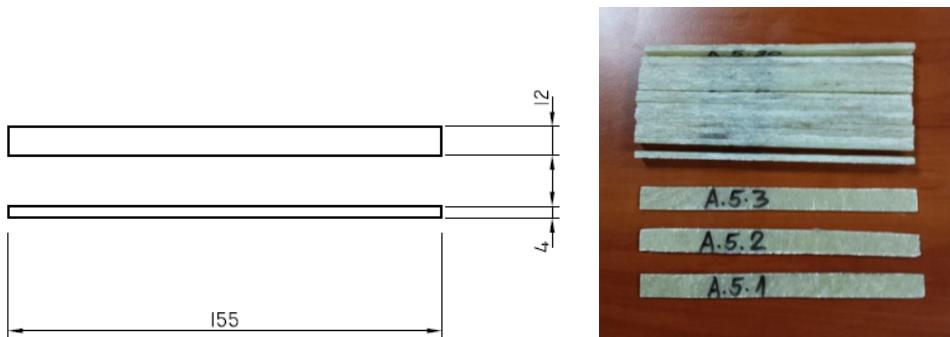
- Ispitivanje na smicanje epruveta sa slaganjem vlakana Tip C u ravni 1-2, a u cilju određivanja smicajne čvrstoće τ_{12} i modula smicanja G_{12} .
- Ispitivanje interlaminarne čvrstoće na smicanje epruveta sa slaganjem vlakana Tip A, B i C u cilju određivanja interlaminarne čvrstoće na smicanje τ_{13} .
- Ispitivanje na savijanje u cilju određivanja savojne čvrstoće σ_f , modula savijanja E_f i ugiba na epuvetama tipa A, B, C.

U okviru ispitivanja korištena je, pored ekstenzomjera, i specifična metoda mjerjenja deformacija korištenjem mjernih traka povezanih preko sistema akvizicije sa računarcem.

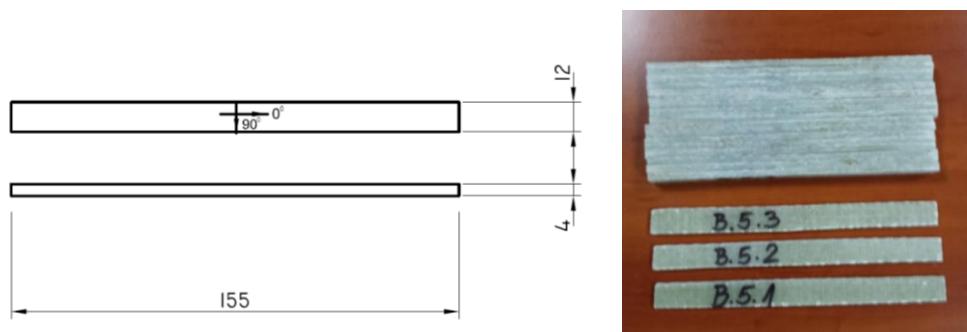
2.1. Eksperimentalno ispitivanje na savijanje

Ispitivanje na savijanje epruveta staklena vlakna - poliesterska smola (grupe epruveta A-5, B-5 i C-5) je rađeno u cilju određivanja karakteristika na savijanje. Postupak ispitivanja je definisan standardom ASTM D790-03 [2].

Geometrija epruveta za ispitivanje na savijanje i izgled epruveta je dat na sl. 2.1 do 2.3. Samo ispitivanje je izvedeno na elektromehaničkoj kidalici, uz korištenje specijalnog alata, također definisanim standardom ASTM E790, sl. 2.4. Šema postupka savijanja je prikazana na sl. 2.5.

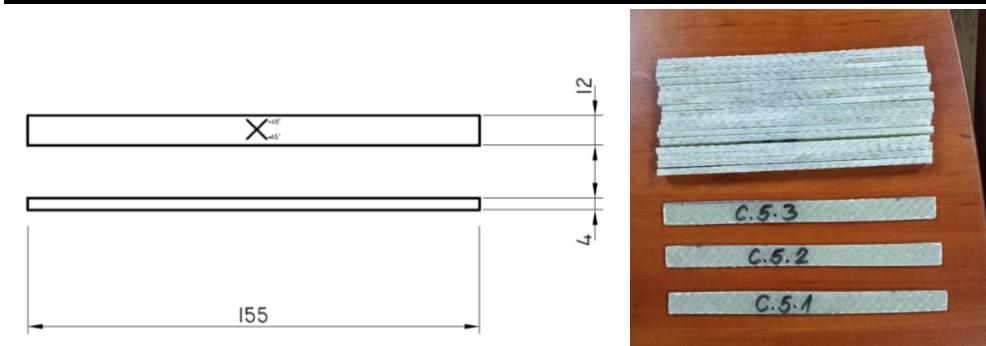


Slika 2.1. Epruvete tip „A-5“ dimenzije i izgled prije testiranja [3]



Slika 2.2. Epruvete tip „B-5“ dimenzije i izgled prije testiranja [3]

F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM



Slika 2.3. Epruvete tip „C-5“ dimenzije i izgled prije testiranja [3]



Slika 2.4. Oprema za ispitivanje mehaničkih karakteristika savijanjem



Slika 2.5. Šema postupka ispitivanja savijanjem

Savojna čvrstoća epruveta staklena vlakna - poliesterska smola (grupe epruveta A-5, B-5 i C-5) se dobije na osnovu jednačine (2.1.):

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{4 \cdot b \cdot d^2} \quad (2.1.)$$

gdje je:

P – maksimalna sila, N
L – rastojanje između oslonaca, mm

b – širina epruvete, mm
d – debljina epruvete, mm

Savojni modul elastičnosti se dobije na osnovu jednačine (2.2.):

F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM

$$E_f = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \quad (2.2.)$$

gdje je: E_f – modul elastičnosti savijanja, MPa

Savojna deformacija se dobije na osnovu jednačine (2.3.)

$$\varepsilon_f = \frac{6 \cdot D \cdot d}{L^2} \quad (2.3.)$$

gdje je: D – hod, mm

ε_f – savojna deformacija, %

L – rastojanje oslonaca, mm

d – debljina epruvete, mm

2.2. Rezultati ispitivanja na savijanje

Rezultati ispitivanja su predstavljeni i tabelarno u tab. 2.1 do 2.3. Karakteristični dijagrami savijanja, odnosno zavisnost savojni napon - deformacija, je prikazana na sl. 2.6 za epruvetu oznake A-5-1, na sl. 2.7 za epruvetu oznake B-5-1, i za epruvetu oznake C-5-1, na sl. 2.8.

Tabela 2.1. Rezultati ispitivanja epruveta tipa „A-5“ oznaka 1-5

Oznaka epruveta	Savojna čvrstoća, σ_f , MPa	Savojna deformacija, ε_f , %	Nagib m, N/mm	Modul elastičnosti, E_f , MPa
A-5-1	222,7	14,3	36,5	6143,2
A-5-2	250,4	13,9	44,6	6852,8
A-5-3	213,7	14,4	32,5	5668,4
A-5-4	247,6	14,5	43,4	6566,5
A-5-5	254,4	14,1	46,0	6537,2
Sr. vrijednost	237,76	14,24	40,6	6353,6

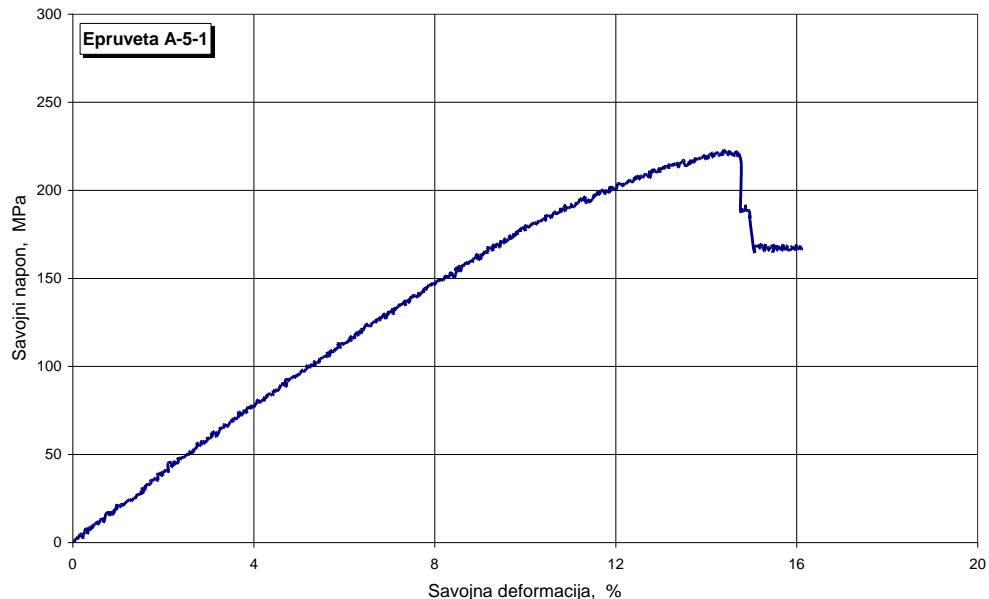
Tabela 2.2. Rezultati ispitivanja epruveta tipa „B-5“ oznaka 1-5

Oznaka epruveta	Savojna čvrstoća, σ_f , MPa	Savojna deformacija, ε_f , %	Nagib m, N/mm	Modul elastičnosti, E_f , MPa
B-5-1	344,4	10,9	116,3	16558,5
B-5-2	314,1	8,7	130,6	16850,3
B-5-3	357,7	7,2	186,1	17178,2
B-5-4	382,0	9,2	143,3	16920,8
B-5-5	334,0	10,2	116,2	16682,5
Sr. vrijednost	346,44	9,24	138,5	16838,0

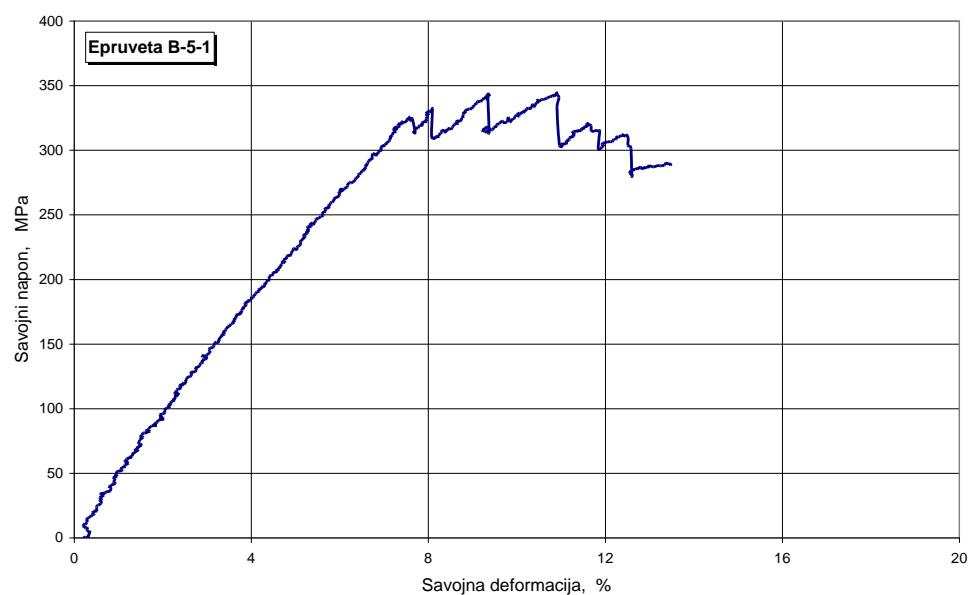
Tabela 2.3. Rezultati ispitivanja epruveta tipa „C-5“ oznaka 1-5

Oznaka epruveta	Savojna čvrstoća, σ_f , MPa	Savojna deformacija, ε_f , %	Nagib m, N/mm	Modul elastičnosti, E_f , MPa
C-5-1	138,8	20,2	22,8	6850,0
C-5-2	141,3	19,9	18,7	6920,3
C-5-3	151,7	20,6	23,7	6549,2
C-5-4	147,1	19,8	25,6	6998,4
C-5-5	147,7	19,8	25,9	7120,5
Sr. vrijednost	145,32	20,06	23,34	6887,6

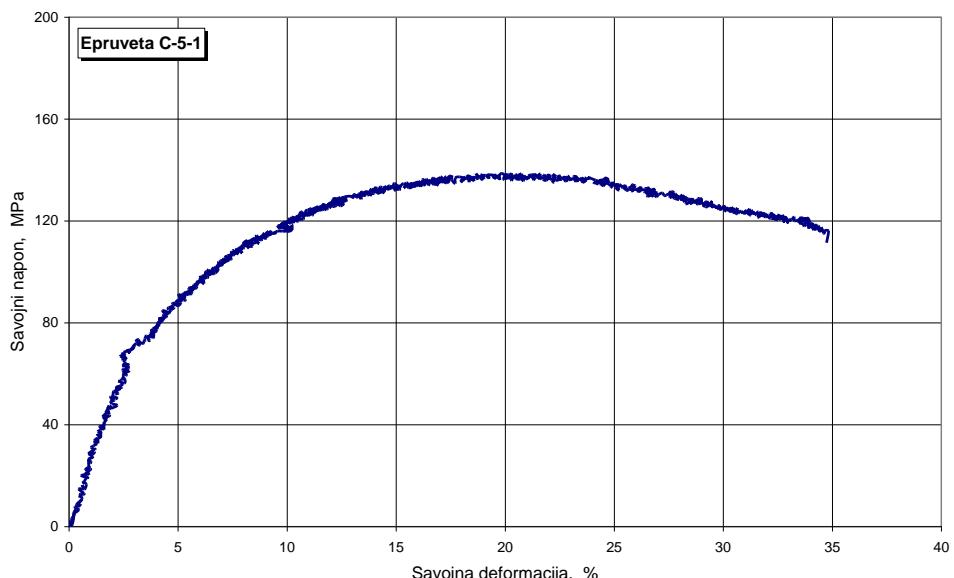
F. Islamović, M. Beganović, Z. Burzić, Dž. Gačo - EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA
MEHANIČKIH SVOJSTAVA KOMPOZITNIH MATERIJALA SAVIJANJEM



Slika 2.6. Zavisnost savojni napon-savojna deformacija epruvete oznake A-5-1



Slika 2.7. Zavisnost savojni napon-savojna deformacija epruvete oznake B-5-1



Slika 2.8. Zavisnost savojni napon-savojna deformacija epruvete oznake C-5-1

3. ZAKLJUČAK

Rezultati savojnih ispitivanja pokazuju da pravac slaganja vlakana odlučujuće utiče na dobijene vrijednosti savojne čvrstoće i modula savijanja. Naime, slaganje vlakana 0°/90° suštinski predstavlja savijanje unidirekcionog kompozita, pa imamo identičan slučaj kao kod interlaminarne čvrstoće na smicanje. Kako savijanje u suštini predstavlja zatezanje spoljnih vlakana, ovu konstataciju smo eksperimentalno potvrdili kroz dobijene vrijednosti modula elastičnosti. Dobijene vrijednosti modula savijanja su gotovo identične kao kod zatezanja. Ovo je potvrđeno i u slučaju ispitivanja epruveta sa slaganjem vlakana ±45°.

Dobijeni rezultati određivanja savojnih karakteristika kompozita ukazuju na to da u zavisnosti od vrste kompozitnog ojačanja i smjera slaganja staklenih vlakana projektanti mogu da definišu različite mehaničke karakteristike konačnog kompozita u zavisnosti od potrebe projektovanog proizvoda.

4. LITERATURA

- [1] M. Beganović, S. Perković, F. Islamović, Z. Burzić, Dž. Gačo: "*The impact of the type and mode of glass fibers stacking on the mechanical properties of composite materials*", 6 th International scientific conference on defensive technologies – OTEH 2014, Belgrade, Serbia, 9-10 october 2014.
- [2] ASTM D790-03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- [3] ASTM D 7264 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials