Usporedba karakteristika čelika i kompozitnog materijala - GFRP

Barić, Samanta

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:646243

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Samanta Barić

Split, 2018

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Usporedba karakteristika čelika i kompozitnog materijala - GFRP

Završni rad

Split, 2018.

Sažetak:

Kompozitni materijal od staklenih niti međusobno povezanih sintetskim smolom, skraćeno GFRP, pokazao je veliki potencijal u građevinarstvu. Ispituje se i koristi već 70 godina. Očituje se mnogim značajno povoljnijim svojstvima u usporedbi sa drugim tradicionalnim materijalima za armiranje. U ovom radu uspoređena su osnovna svojstva GFRP šipki i čeličnih šipki te armirano betonskih uzoraka prethodno pripremljenih i čuvanih u zadanim uvjetima. Šipke su ispitane na vlak, savijanje, prijanjanje sa betonom- Pullout test, te je proveden test na savojnu čvrstoću betonske grede armirane GFRP šipkama.

Ključne riječi:

GFRP šipke, čelik, vlak, savijanje, prijanjanje, pullout test, savojna čvrstoća.

Comparison between Glass fiber reinforced polymer and steel

Abstract:

Glass fiber reinforced polymer-GFRP has demonstrated great potential in civil engineering . It has been used already for 70 years. It offers a lot of advantageous properties comparing with other traditional reinforcing materials . In this paper basic specifications of GFRP and steel have been tested and compared on test specimens of GFRP and steel bars and concrete beam which were prepared and cured before the test in special conditions. Bars were tested on tension, bending and bonding test- by pullout test. Test method used on reinforced concrete beam is test for flexural strength.

Keywords:

Glass fiber reinforced polymer bars, steel, tension, bending, bonding, pullout test, flexural strength.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: SAMANTA BARIĆ

BROJ INDEKSA: 4281

KATEDRA: **Katedra za građevinske materijale**

PREDMET: Građevinski materijali 1

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Usporedba karakteristika čelika i kompozitnog materijala- GFRP

Opis zadatka:

U ovome zadatku provedeni su testovi kojima su uspoređena osnovna svojstva materijala čelika i fiberglasa. Testovi provedeni na šipkama su: test na vlak, test na savijanje, test prianjanja šipke sa betonom-pullout test. Test proveden na betonskoj armiranoj gredi je test savojne čvrstoće tj. test na savijanje u tri točke. Za izvedbu eksperimentalnog dijela potrebno je pripremiti testne uzorke koji su detaljno opisani u daljnjem tekstu. Cilj ovoga zadatka je utvrditi koji materijal ima bolje specifikacije i moguće bolje korištenje kao armatura u sadašnjim i budućim zahtjevima u građevinarstvu.
Istraživanje je provedeno na fakultetu Rajamangala University of Technology Thailand, Hua Hin u periodu listopad-prosinac 2017. godine

U Splitu, 20. travnja 2018.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Sanda Juradin

SADRŽAJ

1. UVOD **2.**

1.1. Povijest upotrebe 2.
1.2. Svojstva GFRP materijala 2.
1.3. Problemi/ograničenja kod čeličnih šipki 5.
1.4. Područja primjene 5.

2. METODE ISPITIVANJA GFRP I ČELIČNIH ŠIPKI **6.**

2.1 Vlačno ispitivanje 6.
2.1.1 O testu 6.
2.1.2 Postupak 6.
2.1.3 Rezultati 8.
2.1.3.1 Pod standardnim uvjetima 8.
2.1.3.2 Pod visokom temperaturom 14.
2.2 Test na savijanje 42.
2.2.1 O testu 42.
2.2.2 Postupak 42.
2.2.3 Rezultati 44.
2.3 Pull-out test 58.
2.3.1 O testu 58.
2.3.2 Postupak 58.
2.3.3 Rezultati 60.

3. ISPITIVANJA PROVEDENA NA BETONSKOJ GREDI **66.**

3.1 Ispitivanje savojne čvrstoće betonske grede armirane GFRP šipkama 66.
3.1.1 O testu 66.
3.1.2 Priprema testnog uzorka 66.
3.1.3 Stroj za ispitivanje 69.
3.1.4 Postupak 69.
3.1.5 Rezultati 69.

4. ZAKLJUČAK **70.**

5. LITERATURA **71.**

1. UVOD

1.1 POVIJEST UPOTREBE

Razvoj plastike je počeo još sredinom 19. stoljeća s prvotnim ciljem da se pronađe materijal koji bi zamijenio slonovaču. Tek 20-tih godina prošlog stoljeća počinje intenzivni razvoj gume i plastike (polimera) te primjena različitih vlakna. U tom periodu su razvijeni i prvi komercijalni fiberglas proizvodi na bazi tkanina od staklenih vlakana i poliester smole. Do 1967. godine kompozitna armatura se koristila samo u nekim dijelovima konstrukcija, dok nisu otkrili njezine arhitektonske prednosti prilikom pokušaja rušenja takozvane „kuće budućnosti“ u Disneyland-u, California koja je bila izgrađena od betona sa kompozitnom armaturom. Iznenađujuće,sa kuglom za rušenje, strojnim čekićima i ostalim strojevima bilo je gotovo nemoguće srušiti tu konstrukciju. Od tada primjena kompozitne armature raste sve više i više [1].

1.2 SVOJSTVA FIBERGLASA OJAČANOG STAKLENIM VLAKNIMA-GFRP MATERIJALA

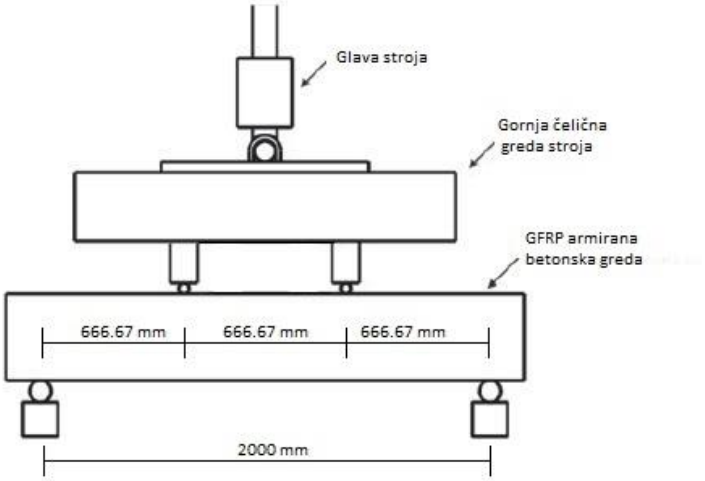
Stakloplastika (fiberglas) je materijal plastične mase ojačan vlaknima staklene vune, skraćeno GFRP. Radi se o sintetičkom materijalu, koji ima više prednosti u odnosu na materijale prirodnog porijekla kao što su metali i drvo. Sastoji se od najmanje dvije vrste materijala – jedan je vezivno sredstvo, a drugi daje čvrstoću. Ojačavanje staklom daje građevnoj matrici potrebnu čvrstoću, dok poliesterska (epoxy) smola daje otpornost na koroziju [2]. U usporedbi sa konvencionalnim armaturnim čelikom polimeri armirani vlaknima imaju nedvojbene prednosti:

- visoka otpornost na koroziju što produljuje životni vijek armirano betonskih konstrukcija
- 4 puta lakša od čelika
- Velika vlačna čvrstoća u smjeru vlakanaca (2 puta veća od čelične)
- Ne provodi električnu energiju ni toplinu
- Otporna je na djelovanje kloridnih iona, visoke i niske pH vrijednosti
- Jednostavna proizvodnja (različiti oblici, duljine)
- Niska cijena proizvodnje

Loše karakteristike su:

- Tlačna čvrstoća iznosi oko 50% vlačne
- Loša duktilnost [3]

U istraživačkom radu [4] Građevinskog fakulteta Bradford u Yorkshiru, Ujedinjeno Kraljevstvo, ispitano je ponašanje betonskih greda armiranih GFRP šipkama u posmiku i savijanju nanošenjem serija opterećenja od 2 kN u četiri točke do izazivanja sloma prikazano na Slici 1.



Slika 1. Prikaz postavljenog uzorka u stroj za testiranje

Korištene su četiri betonske grede armirane GFRP šipkama. Prve dvije grede su UR (under reinforced) tj slabo armirane grede što bi značilo da imaju manje armature. U takvim gredama čelik dosegne granicu tečenja prije betona. Lom se očituje velikom defleksijom grede i formiranjem velikih pukotina. Druge dvije grede su OR (over reinforced) tj previše armirane grede što bi značilo da imaju više armature nego što je potrebno. U takvim gredama beton dosegne granične vrijednosti naprezanja prije čelika i greda doživi lom iznenadno (Tablica 1.). Dokazano je da UR grede dožive slom pri savijanju dok OR grede dožive slom pri posmiku što je prikazano u Tablici 1. Također je potvrđeno da količina GFRP armature korištene za ojačanje greda značajno utječe na njihovu savojnu krutost i deformaciju tako da smanjuju broj i veličinu pukotina prije sloma (Tablica 1.).

		h (mm)	Broj # promjer (mm)	f_{cu} (N/mm^2)	P_{cr} (kN)	P (kN)	Uzroci slamanja
Greda 1	UR	300	2#6	34	14	33	Savijanje
Greda 2	UR	300	4#6	59	22	50	Savijanje
Greda 3	OR	250	2#12	34	13	35	Posmik
Greda 4	OR	250	3#12	59	15	55	Posmik

Tablica 1. Detalji testnih uzoraka i rezultata

Oznake : - h (mm) - visina grede
-f_{cu} (N/mm^2) – tlačna čvrstoća
-P_{cr} (kN) – ukupno opterećenje pri prvom vidljivom napuknuću
-P (kN) – ukupno opterećenje pri finalnom lomu

U znanstvenom radu Mohamed S. Issa, Ibrahima M. Metwallya i Sherif M. Elzeniya iz Housing and Building National Research centra Egipat [5], izvršen je isti test kao u prethodno navedenom istraživačkom radu [4]. Cilj njihovog istraživanja je bio ukazati na lošu duktilnost GFRP armiranih betonskih greda te kako poboljšati istu. Zaključeno je da dodavanjem svih tipova umjetnih vlakana (polipropilen, staklo i čelik) poboljšava se duktilnost betonskih greda ojačanih GFRP šipkama, pogotovo dodavanjem čeličnih vlakana koji povećavaju duktilnost za 277.8 %.

KARAKTERISTIKE GFRP-a

PRIANJANJE- prianjanje betonu ovisi o koeficijentu prianjanja K_b koji se empirijski dobije iz pažljivo izmjerenih dimenzija betonske grede, čvrstoće betona i derivacije širine pukotine nakon što greda doživi lom. Koeficijent za šipke Aslan 100 GFRP iznosi K_b=0.90 [3].

TRAJNOST- jedna od glavnih pitanja jest hoće li se, dugoročno gledajući, kompozitna armatura degradirati pod utjecajem visokog pH okruženja od betona. Mnogo je istraživanja provedeno na tu temu te je zaključeno da pravilno dizajniran i proizveden kompozitni materijal od smole i staklenih vlakanaca može adekvatno zaštititi prodiranje i utjecaj visokog pH okruženja [3].

PUZANJE MATERIJALA - je pojava kada se dugotrajno opterećeni materijali, koji su pod utjecajem neke konstantne (statičke) sile, ovisno o temperaturi, počinju postupno rastezati. Puzanje će se zaustaviti ako se materijal pri rastezanju primjereno očvrsne, a u protivnom se puzanje nastavlja do loma materijala. GFRP šipke podvrgnute konstantnom opterećenju, mogu iznenadno popustiti nakon nekog vremenskog perioda kojeg nazivamo razdobljem trajnosti. To vrijeme ovisi o utjecaju okoline, visokim temperaturama, vlažnim i suhim ciklusima, ciklusi smrzavanja i odmrzavanja itd. Prilikom ravnomjernog vlačnog naprezanja u kratkom periodu, čvrstoća šipki raste a vrijeme popuštanja se smanjuje. Iz ovog razloga ograničavaju se kontinuirana opterećenja šipki na vrlo niske razine korištenja [3].

OBLICI ŠIPKI I SAVIJANJE- koriste se standardni oblici . Sva savijanja šipki moraju se izvoditi isključivo u tvornicama jer se savijanje može izvesti samo kada smola u sastavu još nije vezana. Nakon što se veže, ne može se izvršiti savijanje. Ne proizvodi se zatvoreni kvadratni oblik šipki. Mogu biti u „U“ formi ili kao neprekidna spirala. Maksimalna duljina savijanja je 1.5 m [3].

1.3 OGRANIČENJA ČELIČNIH ŠIPKI:

- Težina
- Podložne koroziji (nehrđajući čelik 2-4 puta skuplji od GFRP-a)
- Velika krutost
- Ograničena otpornost na umor materijala
- Velika toplinska i električna vodljivost
- Skupo održavanje obloga (pocinčane, epoksidne itd.)

1.4 PODRUČJA PRIMJENE [6]

- U niskogradnji (do 3 etaže)
- Za ojačanje podova u industrijskim postrojenjima (izloženi velikim opterećenjima)
- Ojačanje cesta
- Beton izložen morskim djelovanjima (luke, pristaništa, plutajuće morske strukture…)
- Anti-korozivne betonske konstrukcije
- Konstrukcije niske električne i elektromagnetske vodljivosti- šahtovi za električnu ili telefonsku opremu, kontrolni tornjevi u zračnoj luci, bolničke sobe za magnetska snimanja itd.

U Tablici 2. prikazana su karakteristična svojstva (gustoća, čvrstoća na vlak, čvrstoća na savijanje, toplinska vodljivost, toplinsko širenje) materijala FRP-a (isto što i GFRP, može obuhvaćati i ostala vlakna osim staklenih), čelika, aluminija i drva. Vidljivo je da drvo ima najslabije karakteristike, a FRP najbolju čvrstoću na vlak i slabiju savojnu čvrstoću u odnosu na čelik i aluminij. Toplinska vodljivost FRP-a je zanemariva u odnosu na čelik i aluminij dok im je toplinsko širenje približno jednako nisko.

Property	FRP Composites *Pultruded GFRP*		Steel *A 709 Grade 50*	Aluminum *6061-T651 & 6061-T6*	Wood *Douglas Fir*
Density (lb/ft^3)	107-120		490	169	30
Tensile Strength (psi)	30,000 (LW)	7,000 (CW)	65,000	45,000	–
Tensile Modulus (x 10^6 psi)	2.8 (LW)	1 (CW)	30	10	–
Flexural Strength (psi)	30,000 (LW)	10,000 (CW)	65,000	45,000	12,000
Flexural Modulus (x 10^6 psi)	1.8 (LW)	0.8 (CW)	30	10	1.6 - 1.8
Thermal Conductivity (BTU in. /(hr ft^2 °F))	4		323	1,160	0.8
Thermal Expansion (x 10^{-6} in./in./ °F)	7 to 8		6 to 8	13	1.7 to 2.5

Tablica 2. Karakteristična svojstva FRP-a, čelika, aluminija i drveta

2. METODE ISPITIVANJA GFRP I ČELIČNIH ŠIPKI

2.1 VLAČNO ISPITIVANJE

2.1.1 O TESTU

Statičko ispitivanje na vlak je postupak ispitivanja mehaničkih svojstava materijala na kidalici, kojim se utvrđuju glavna svojstva koja karakteriziraju mehaničku otpornost materijala, ali i njihovu deformabilnost.
Jedno od najvažnijih i najčešće ispitivanih svojstava je čvrstoća.
Prema definiciji, čvrstoća je sposobnost materijala da podnese naprezanja uzrokovana vanjskim silama. Rezultati testa se koriste za odabir željenog materijala, kontrolu kvalitete i predviđanje kako će se materijal ponašati pod djelovanjem normalnih sila [7].

2.1.2 POSTUPAK

Statički vlačni test provodi se na mjernim uređajima – kidalicama. Kidalica se sastoji od dvije glave (čeljusti), jedna prilagođava duljinu uzorka a druga drži ispitnu epruvetu koja se rasteže pomoću pomičnog mosta koji joj na taj način zadaje potrebno opterećenje za ispitivanje. Testni materijal je izložen kontroliranoj vlačnoj sili sve dok ne dođe do loma. U ispitivanju se kontinuirano mjere sila i produljenje ispitnog uzorka te se pisačem grafički ispisuje dijagram F – ΔL (sila-produljenje) [8].

Korištena su četiri testna uzorka (epruvete A,B,C i D) šipke izrađene od GFRP-a. Smješteni su u kidalicu gdje na njih djeluje vlačna sila te ih razvlači dok ne dožive lom.
Izmjerene su duljine epruveta (mm), težine (g) I dijametri (mm) što je prikazano u Tablici 3.

Uzorak	A	B	C	D
Duljina	1000 mm	1000 mm	1000 mm	1000 mm
Težina	80 g	80 g	163 g	163 g
Dijametar	7 mm	7,43 mm	10 mm	10,17 mm

Tablica 3. Dimenzije epruveta

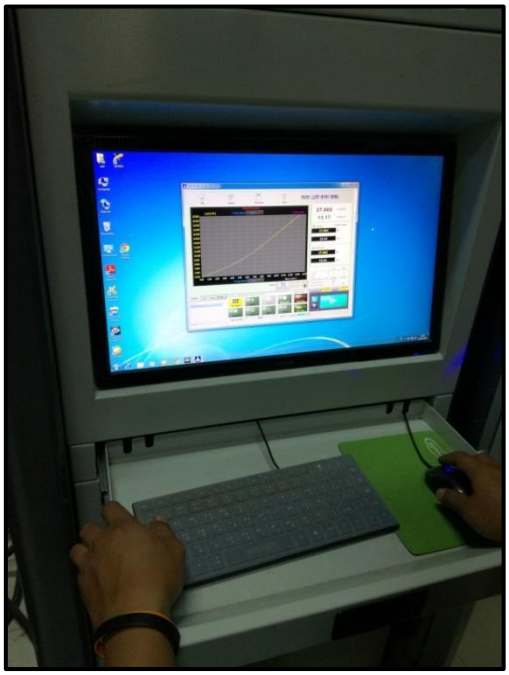
Izračunata je ispitna duljina (d) za mjerenje koja je 5 puta veličine dijametra. Označena je na epruveti od sredine pa nadalje

Uzorak A -> d=35 mm
Uzorak B -> d=37 mm
Uzorak C -> d=50 mm
Uzorak D -> d=50,8 mm

Prva epruveta „A“ je smještena u kidalicu i započet je test .
Slike 2. i 3. prikazuju postavljanje testnog uzorka- GFRP šipke u stroj za ispitivanje-kidalicu



Slika 2. Kidalica



Slika 3. Pisač kidalice

Na pisaču kidalice se za vrijeme ispitivanja crta dijagram sila – produljenje, F – ΔL, koji se naziva dijagramom kidanja, Slika 4. Produljenje ΔL [mm], predstavlja povećanje duljine L0 koja je naznačena na epruveti prije ispitivanja. Veličina Lu predstavlja konačnu duljinu epruvete.

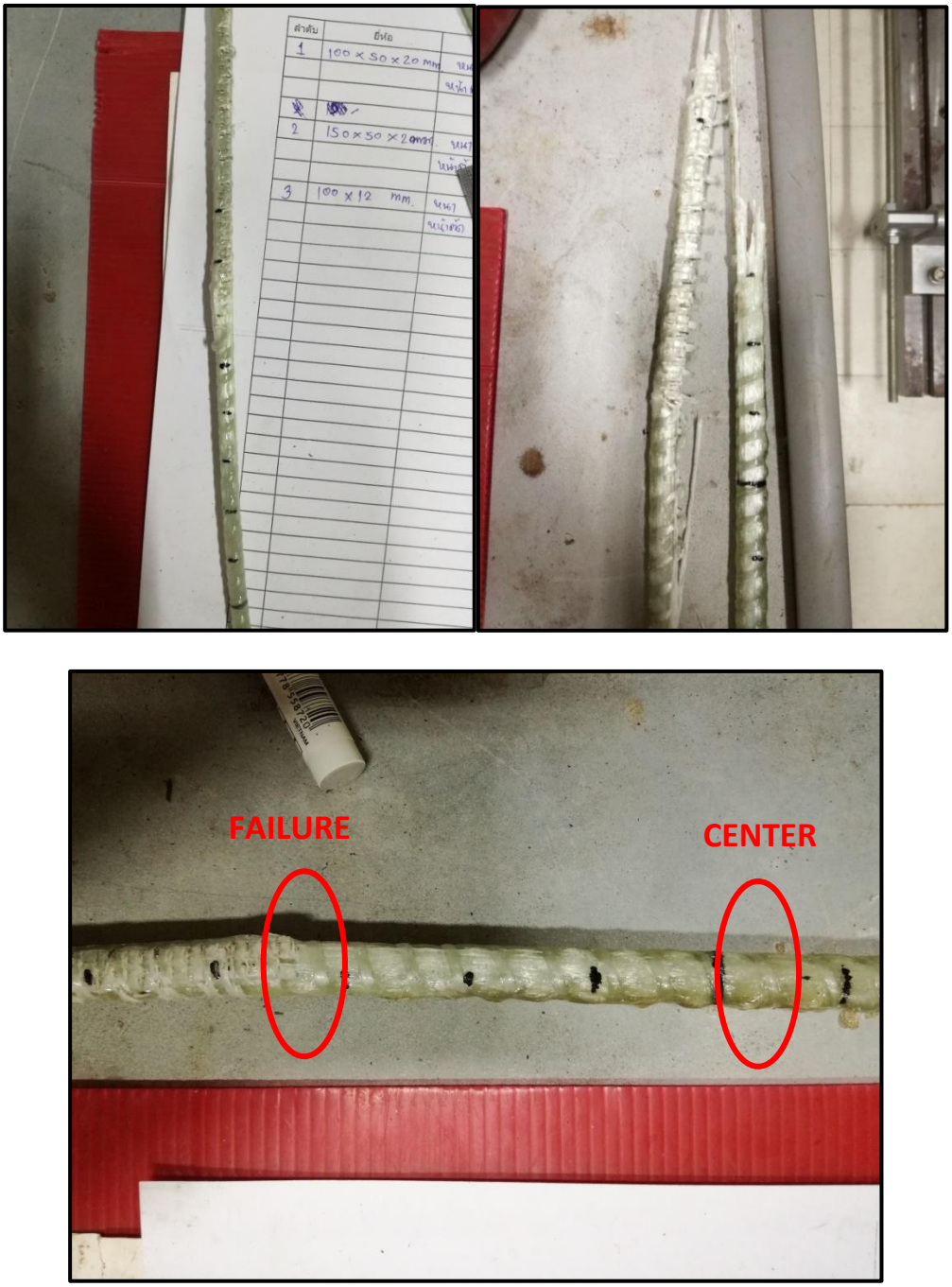


Slika 4. Prikaz kidalice sa postavljenim testnim uzorkom

2.1.3 REZULTATI

2.1.3.1 Pod standardnim uvjetima

Lom se pojavljuje na kraju ispitne dužine testnih primjeraka a ne na sredini kao što bi trebalo. Dislokacija loma prikazana je na Slici 5.



Slika 5. Testni uzorci GFRP i dislokacija loma

REZULTANTNI DIJAGRAMI

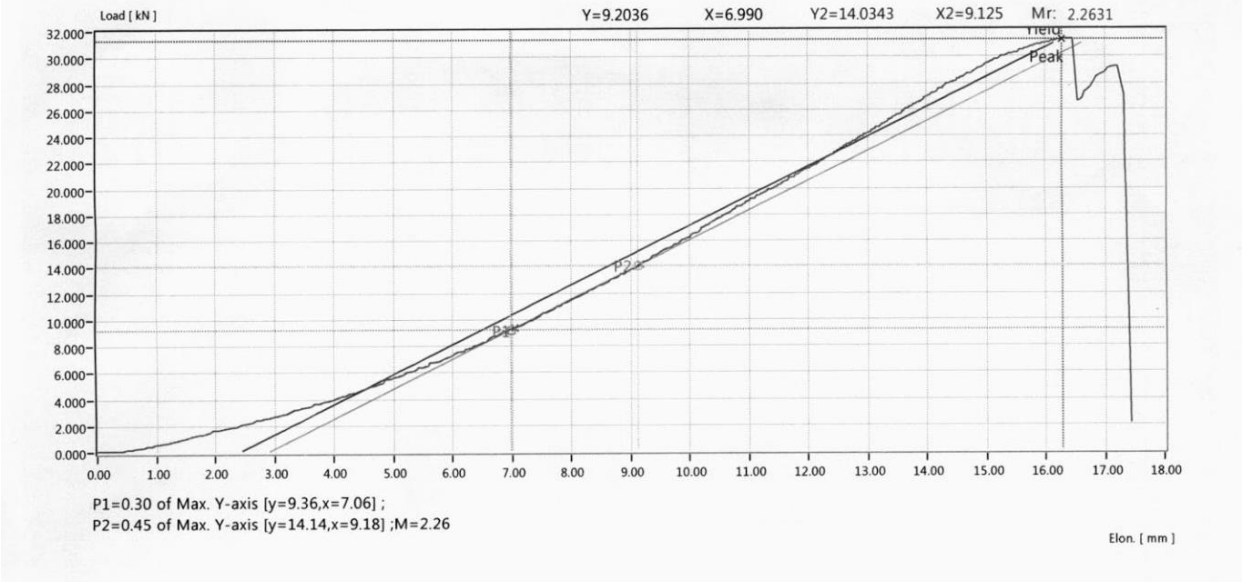
1. Uzorak A

Na Slikama 6-9. prikazan je dijagram odnosa sile (load) i produljenja (elongation) uzoraka te tablica sa očitanim vrijednostima: nanešena sila, produljenje testnog uzorka, naprezanje i deformacija (%) u trenutku granice tečenja materijala - graničnog maksimalnog naprezanja koje može izdržati materijal i graničnog naprezanja u trenutku loma.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : RB6 SR24
4.Date : 2017/11/22
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : RB6 SR24
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.8151mm^2
12.Total Energy: 216.094J
13.Young's Modu. : 21316.664kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\RB6 SR24-001.tst
16.Spec.Length of Break : 36.00 mm,Strain=2.857%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	31.272	16.29	8215.219	46.540
Break	29.187	17.23	7667.538	49.227
YieldYs	31.272	16.29	8215.219	46.540



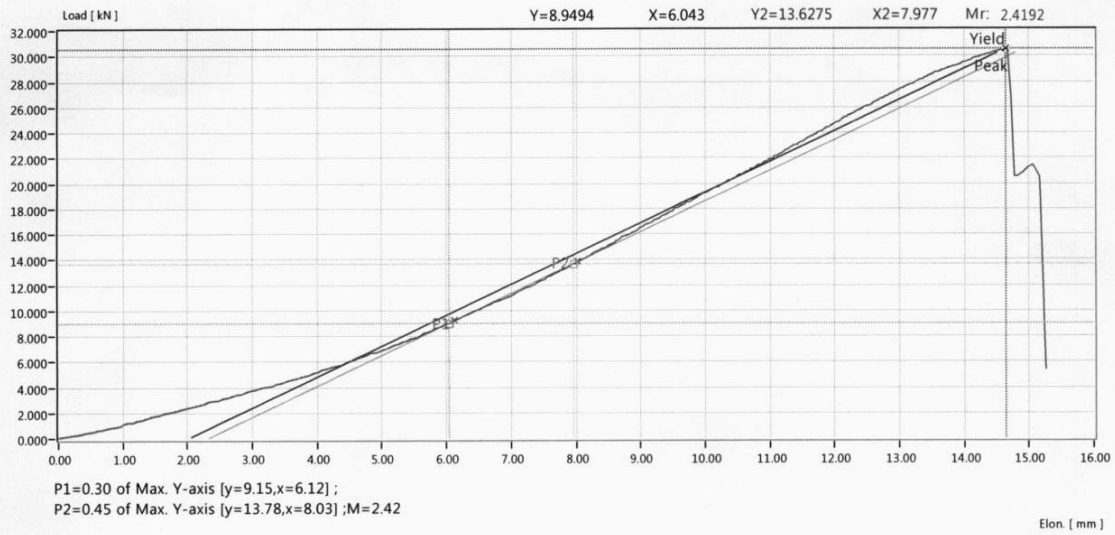
Slika 6.

2. Uzorak B

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/22
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : RB6 SR24
10.Spec.Length : 37.00mm
11.Spec.Area : 43.3578mm^2
12.Total Energy: 195.247J
13.Young's Modu. : 21195.292kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -001.tst
16.Spec.Length of Break : 40.00 mm,Strain=8.108%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	30.458	14.64	7163.147	39.580
Break	21.407	15.07	5034.533	40.723
YieldYs	30.458	14.64	7163.147	39.580



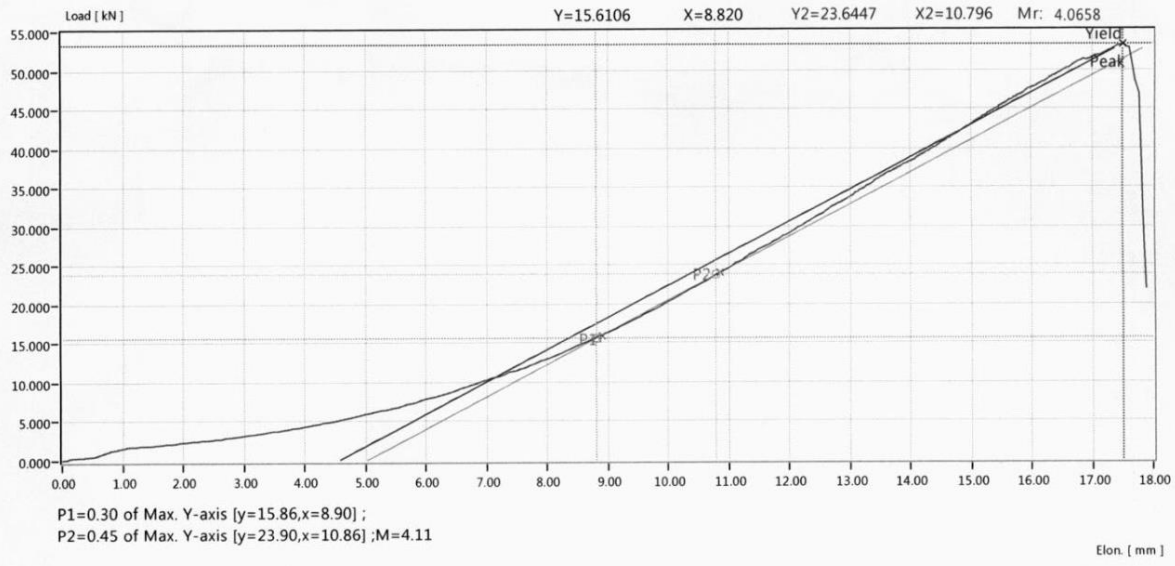
Slika 7.

3. Uzorak C

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/22
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 350.347J
13.Young's Modu. : 27251.537kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -002.tst
16.Spec.Length of Break : 50.00 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	53.086	17.51	6892.157	35.012
Break	48.611	17.72	6311.209	35.435
YieldYs	53.086	17.51	6892.157	35.012



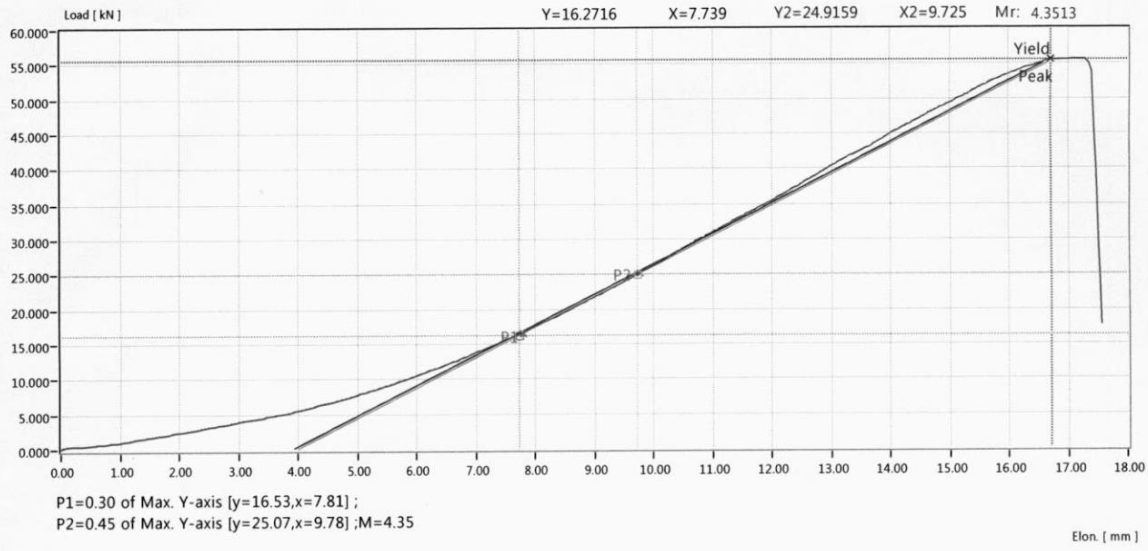
Slika 8.

4. Uzorak D

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/22
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.80mm
11.Spec.Area : 81.2329mm^2
12.Total Energy: 373.791J
13.Young's Modu. : 27524.030kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -003.tst
16.Spec.Length of Break : 50.80 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	55.527	16.72	6970.042	32.915
Break	53.798	17.41	6753.026	34.267
YieldYs	55.527	16.72	6970.042	32.915



Slika 9.

Ukupni rezultati prikazani su u Tablici 4. Iznosi ispisani pisačem kidalice očitani su u kgf/cm^2. U Tablici 2. rezultati su prikazani u MPa (1 kgf/cm^2 = 0.098 MPa). Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da su svi uzorci pokazali tipičan proces GFRP-a do loma materijala. Odnos naprezanja i deformacije je linearan sve do maksimalnog naprezanja gdje materijal iznenadno puca. Vrhunac i granica popuštanja za svaki uzorak su jednake. Najveće naprezanje i deformaciju je imao uzorak „A“ najmanjeg promjera d=7.00 mm, najmanje naprezanje uzorak „C“ te najmanju deformaciju uzorak „D“.

UZORAK A d=35.00 mm	Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
Vrhunac	31,272	16,29	805.64	46,540
Pucanje	29,187	17,23	751.93	49,227
Popuštanje	31,272	16,29	805.64	46,540
UZORAK B d=37.00 mm	Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
Vrhunac	30,458	14,64	702.47	39,580
Pucanje	21,407	15,07	493.72	40,723
Popuštanje	30,458	14,64	702.46	39,580
UZORAK C d=50.00 mm	Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
Vrhunac	53,086	17,51	675.89	35,012
Pucanje	48,611	17,72	618.92	35,435
Popuštanje	53,086	17,51	675.89	35,012
UZORAK D d=50.80 mm	Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
Vrhunac	55,527	16,72	683.53	32,915
Pucanje	53,798	17,41	662.25	34,267
Popuštanje	55,527	16,72	683.53	32,915

Tablica 4. Rezultati GFRP uzoraka

Klasa	Naprezanje pri granici popuštanja ne manje od (kgf/cm^2)	Naprezanje pri granici popuštanja (MPa)	Vlačno naprezanje ne manje od (kgf/cm^2)	Vlačno naprezanje (MPa)	Deformacija ne manja od (%)
SD30	3008.1628	294.99	4894.6378	479.99	17
SD40	3976.8932	389.99	5710.4108	560.00	15
SD50	4996.6094	489.99	6322.2405	619.99	13

Tablica 5. Rezultati čeličnih uzoraka

*SD30, SD40, SD50 razredi čeličnih šipki

Prema dobivenim rezultatima GFRP može podnijeti veće vlačno naprezanje nego čelik (vidljivo u Tablici 5). U uzorcima manjih promjera vrijednost naprezanja koje može podnijeti GFRP šipka je gotovo dvostruko veći nego kod čelične šipke. Kako se promjer šipki povećava, to im se razlika u naprezanju smanjuje ali je u konačnici iznos naprezanja kojeg GFRP šipke mogu podnijeti veći nego kod čeličnih šipki.

2.1.3.2 Pod visokom temperaturom

- Uzorci čuvani 22 h na temperaturi od 50°C

POSTUPAK: Pripremljene su dvije različite vrste uzorka šipki od fiberglasa ojačanog staklenim vlaknima „A“ po tri uzorka te „B“ po dva uzorka. Čuvani su u pećnici 22 h na temperaturi od 50°C. Pretpostavljeno je da će rezultati biti drugačiji zbog drugačije trenutne temperature uzoraka. Testni uzorci su navedeni u Tablici 6.

Uzorci	Duljina	Težina	Dijametar
A (3 uzorka)	600 mm	48 g	6,65 mm
B (2 uzorka)	600 mm	98 g	10,8 mm

Tablica 6. Dimenzije uzoraka

REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA „A“ UZORKE:

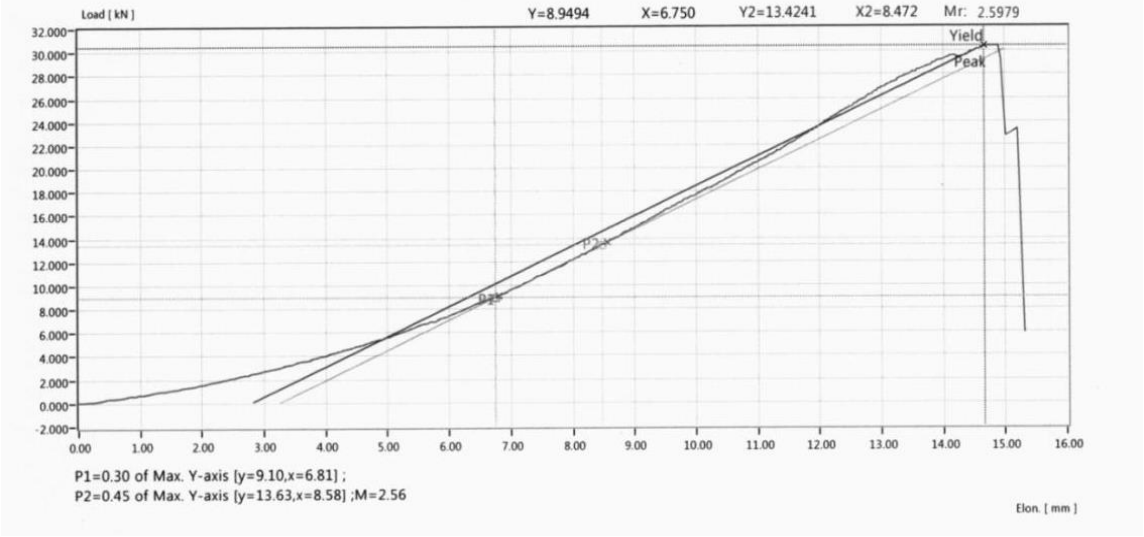
1. Uzorak A;1.

Slike 10-34. prikazuju dijagrame odnosa sile (load) i produljenja (elongation) uzoraka te tablice sa očitanim vrijednostima: nanešena sila, produljenje testnog uzorka, naprezanje i deformacija (%) u trenutku granice tečenja materijala, graničnog maksimalnog naprezanja koje može izdržati materijal i graničnog naprezanja u trenutku loma.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 33.25mm
11.Spec.Area : 34.7323mm^2
12.Total Energy: 179.833J
13.Young's Modu. : 25533.974kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -004.tst
16.Spec.Length of Break : 37.25 mm,Strain=12.030%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	30.357	14.66	8912.216	44.103
Break	23.035	15.12	6762.536	45.470
YieldYs	30.357	14.66	8912.216	44.103



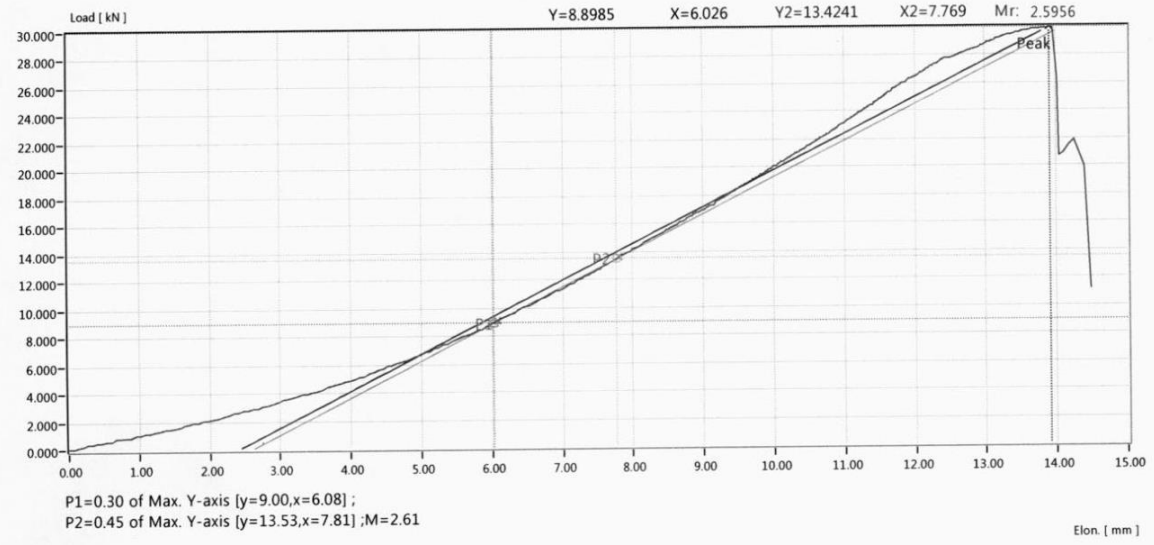
Slika 10.

2. Uzorak A;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 33.25mm
11.Spec.Area : 34.7323mm^2
12.Total Energy: 179.200J
13.Young's Modu. : 25725.824kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -005.tst
16.Spec.Length of Break : 35.00 mm,Strain=5.263%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	29.950	13.92	8792.790	41.863
Break	20.899	14.33	6135.546	43.102
YieldYs	29.950	13.92	8792.790	41.863



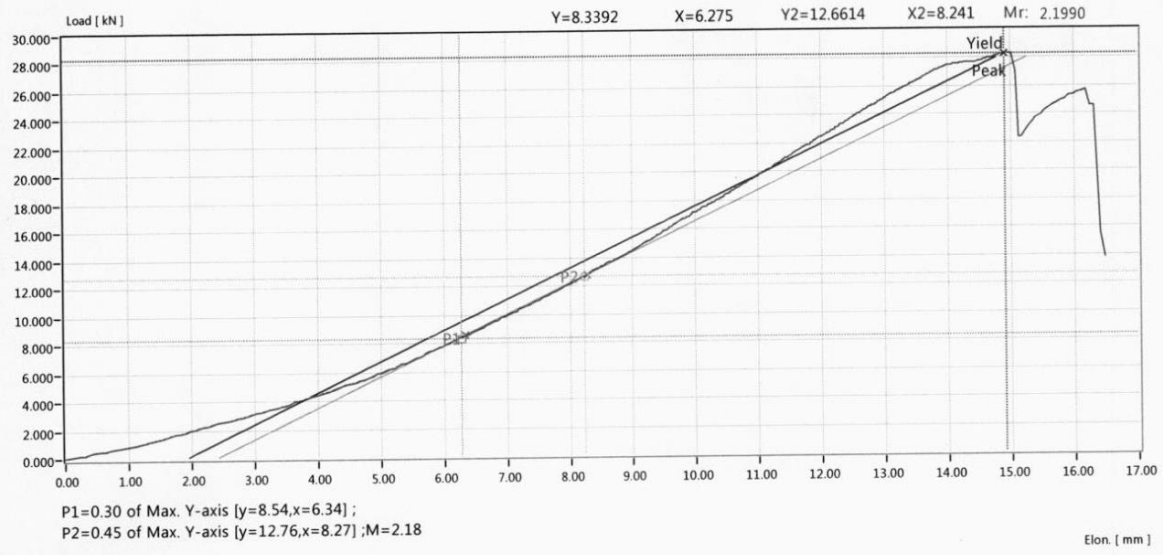
Slika 11.

3. Uzorak A;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 33.25mm
11.Spec.Area : 34.7323mm^2
12.Total Energy: 182.801J
13.Young's Modu. : 21976.820kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -006.tst
16.Spec.Length of Break : 34.00 mm,Strain=2.256%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	28.272	14.91	8300.155	44.838
Break	24.560	16.25	7210.386	48.874
YieldYs	28.272	14.91	8300.155	44.838



Slika 12.

Iako su svi uzorci iz grupe „A“ jednaki (duljina, težina i dijametar), imaju drugačije rezultate ovisno o tome kojim redom su ispitivani.

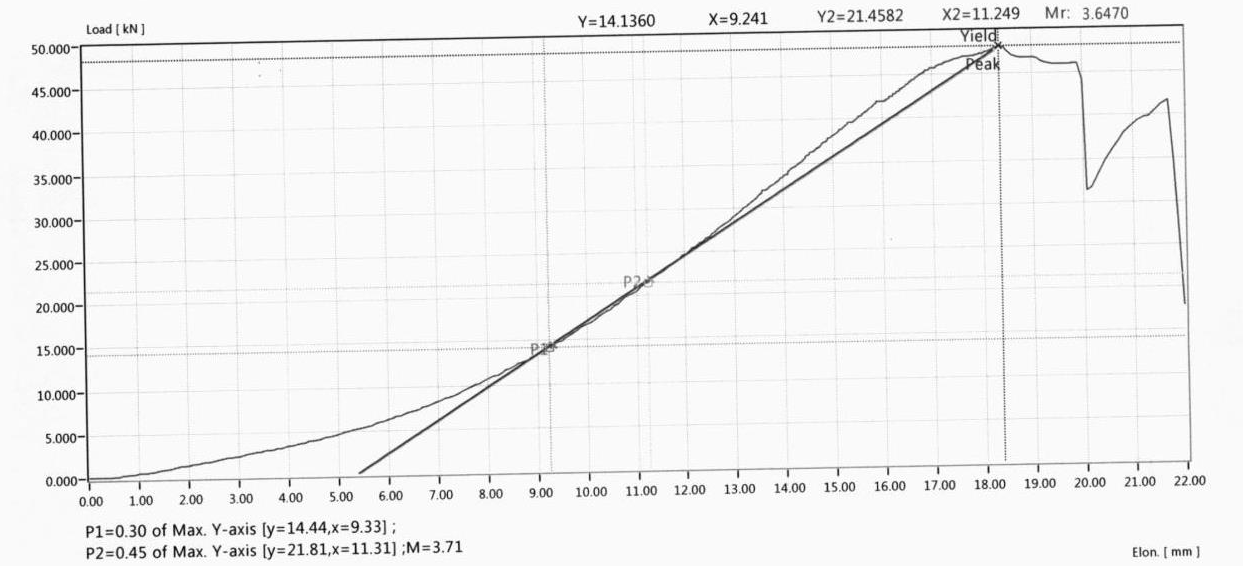
REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA „B“ UZORKE:

1. Uzorak B;1.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.90mm
11.Spec.Area : 81.3927mm^2
12.Total Energy: 339.550J
13.Young's Modu. : 24085.447kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -008.tst
16.Spec.Length of Break : 52.00 mm,Strain=2.161%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	48.103	18.36	6026.293	36.071
Break	41.645	21.71	5217.267	42.652
YieldYs	48.103	18.36	6026.293	36.071



Slika 13.

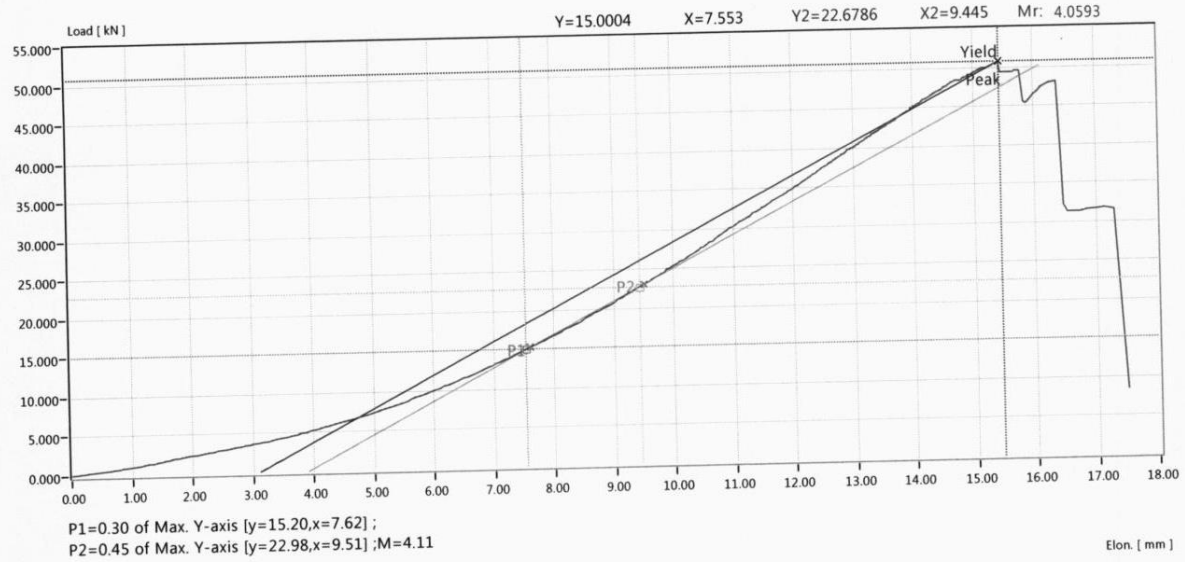
2. Uzorak B;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/23
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP

10.Spec.Length : 50.90mm
11.Spec.Area : 81.3927mm^2
12.Total Energy: 301.289J
13.Young's Modu. : 26657.004kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -009.tst
16.Spec.Length of Break : 51.40 mm,Strain=0.982%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	50.645	15.44	6344.808	30.326
Break	31.730	17.15	3975.060	33.690
YieldYs	50.645	15.44	6344.808	30.326



Slika 14.

- Uzorci čuvani 22 h na temperature od 100°C

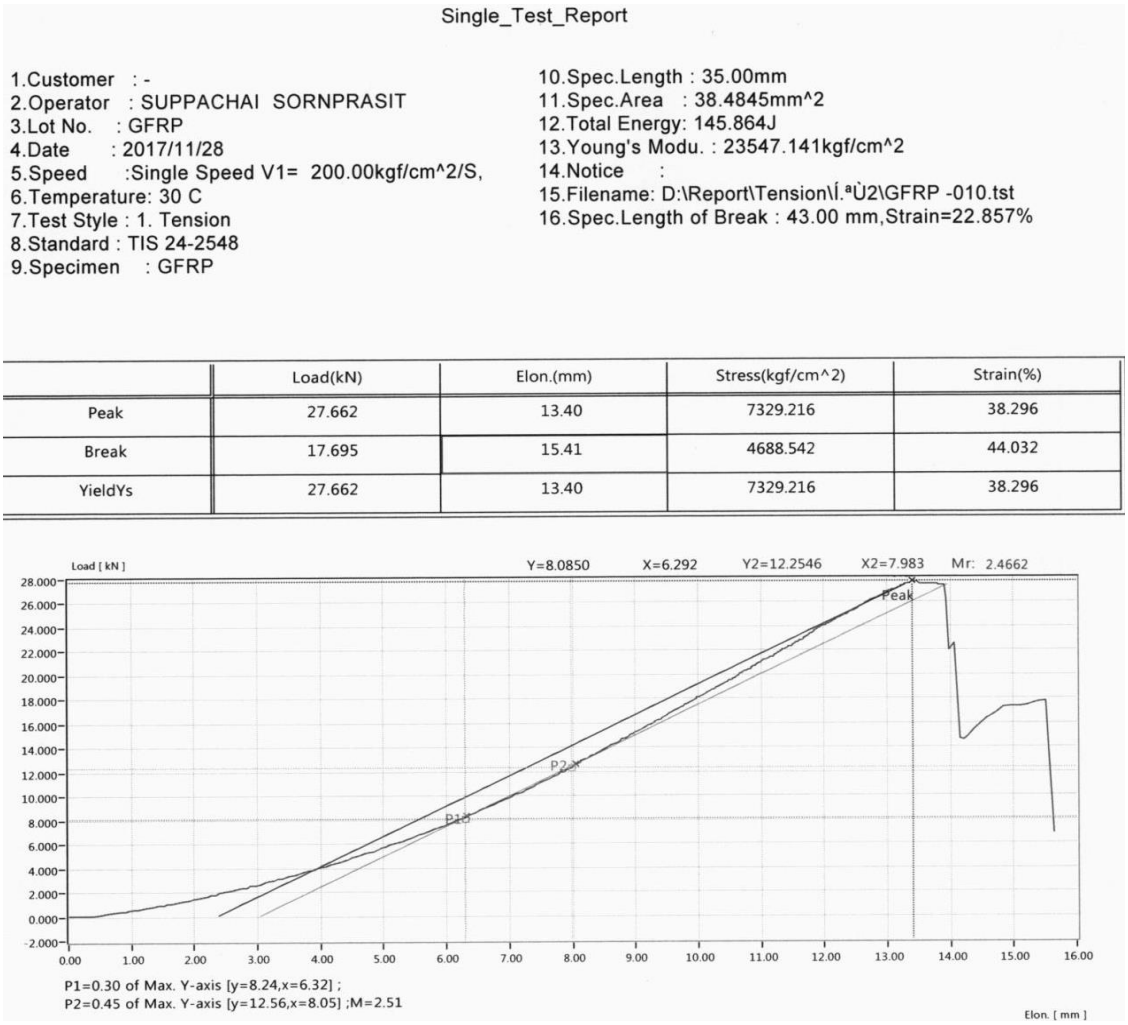
Postupak isti kao za uzorke na 50°C
Uzorci prikazani u Tablici 7.

Uzorci	Duljina	Težina	Dijametar
A (3 uzorka)	600 mm	48 g	6,65 mm
B (3 uzorka)	600 mm	98 g	10,8 mm

Tablica 7. Dimenzije uzoraka

REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA "A" UZORKE:

1. Uzorak A;1.



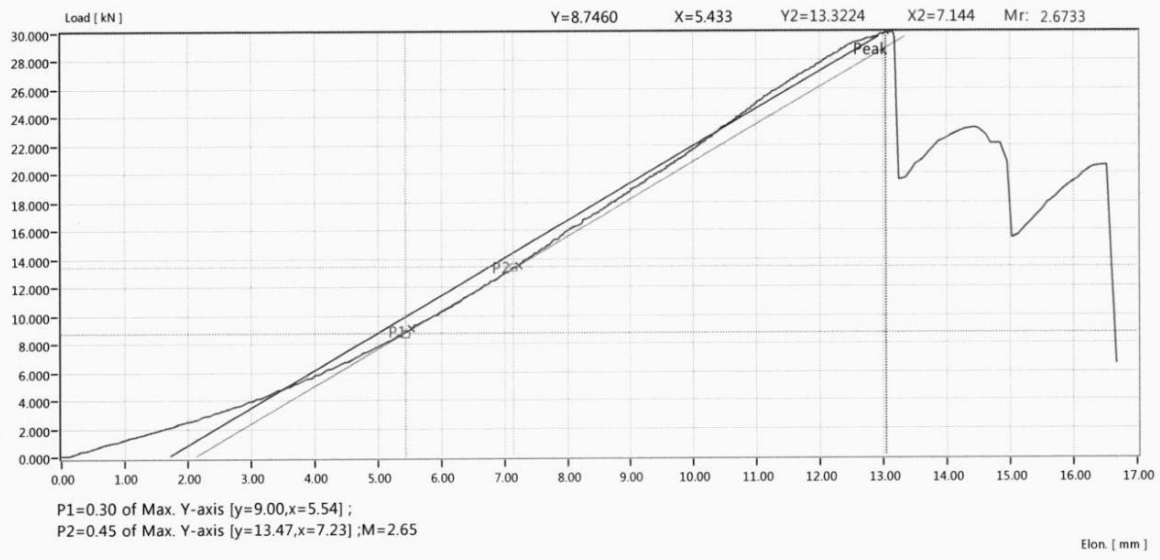
Slika 15.

2. Uzorak A;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/28
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 169.143J
13.Young's Modu. : 24774.611kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -011.tst
16.Spec.Length of Break : 41.00 mm,Strain=17.143%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	29.950	13.04	7935.493	37.259
Break	20.492	16.41	5429.548	46.891
YieldYs	29.950	13.04	7935.493	37.259



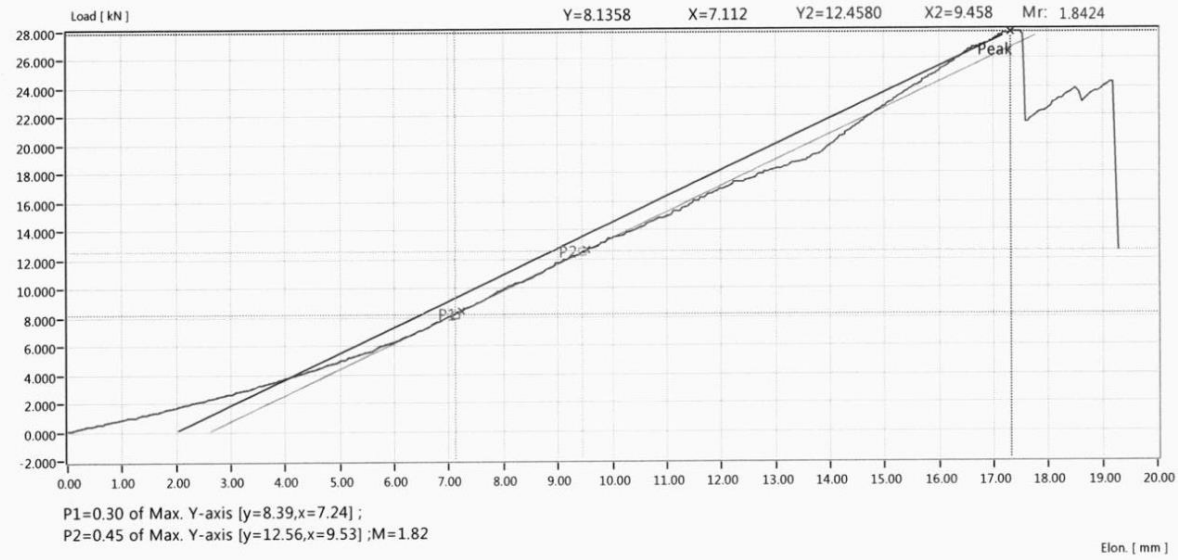
Slika 16.

3. Uzorak A;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/28
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 203.072J
13.Young's Modu. : 16748.554kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -012.tst
16.Spec.Length of Break : 38.00 mm,Strain=8.571%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	27.814	17.33	7369.634	49.516
Break	24.306	19.15	6440.009	54.709
YieldYs	27.814	17.33	7369.634	49.516



Slika 17.

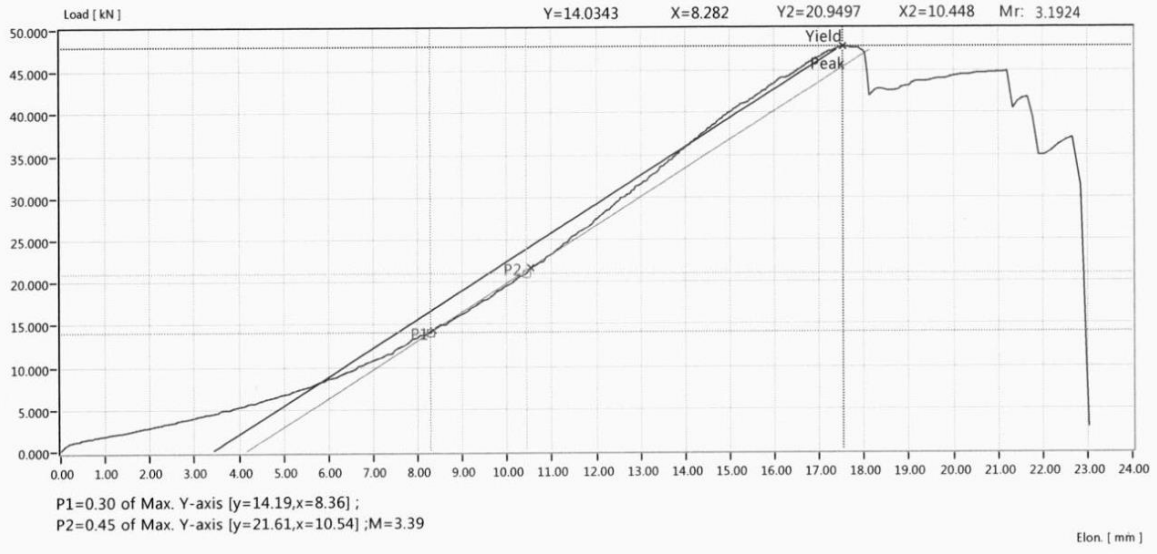
REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA "B" UZORKE:

1. Uzorak B;1.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/28
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 338.722J
13.Young's Modu. : 22038.256kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -013.tst
16.Spec.Length of Break : 53.00 mm,Strain=6.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	47.849	17.54	6212.184	35.077
Break	36.916	22.67	4792.822	45.348
YieldYs	47.849	17.54	6212.184	35.077



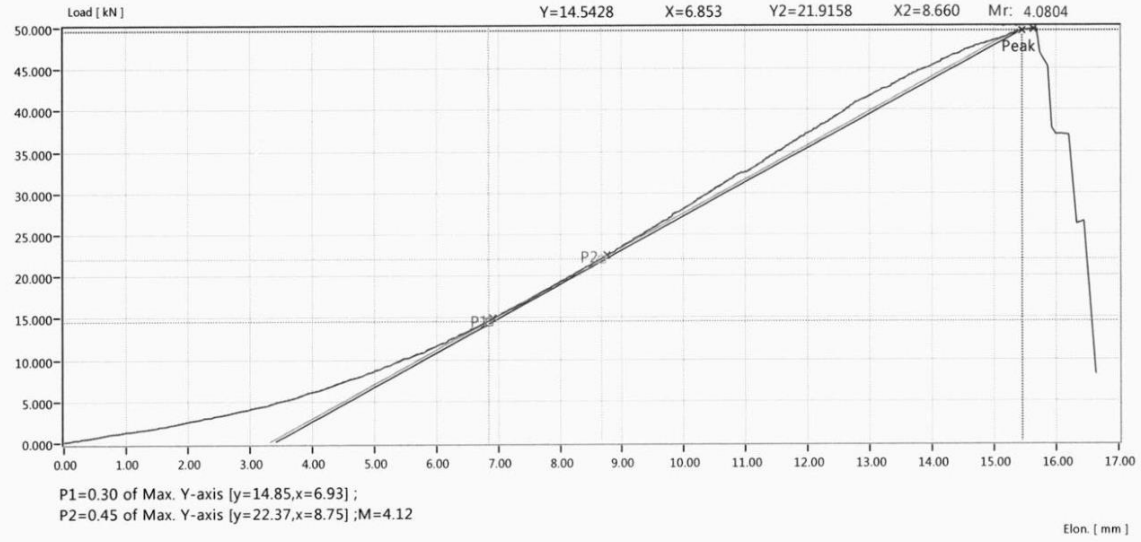
Slika 18.

2. Uzorak B;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/28
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 329.558J
13.Young's Modu. : 26979.222kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -014.tst
16.Spec.Length of Break : 51.00 mm,Strain=2.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	49.730	15.63	6456.446	31.268
Break	26.187	16.33	3399.867	32.663
YieldYs	49.539	15.45	6431.591	30.907



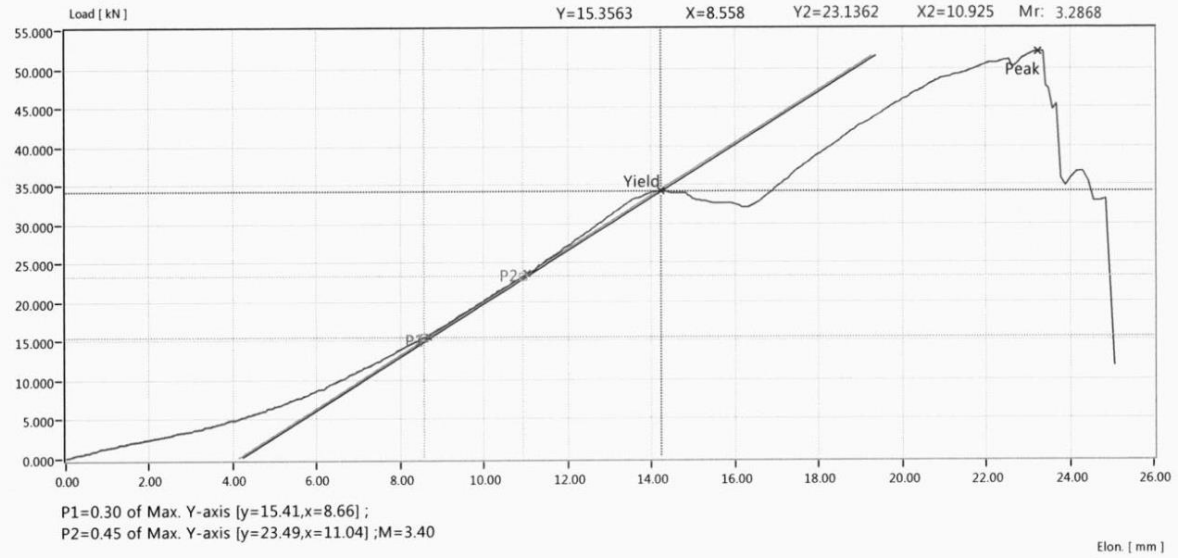
Slika 19.

3. Uzorak B;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/28
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 566.565J
13.Young's Modu. : 21601.081kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -015.tst
16.Spec.Length of Break : 56.00 mm,Strain=12.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	52.018	23.25	6753.522	46.491
Break	32.848	24.74	4264.687	49.471
YieldYs	34.069	14.25	4423.128	28.502



Slika 20.

- Uzorci čuvani 22h na temperaturi od 150°C

Uzorci navedeni u Tablici 8.

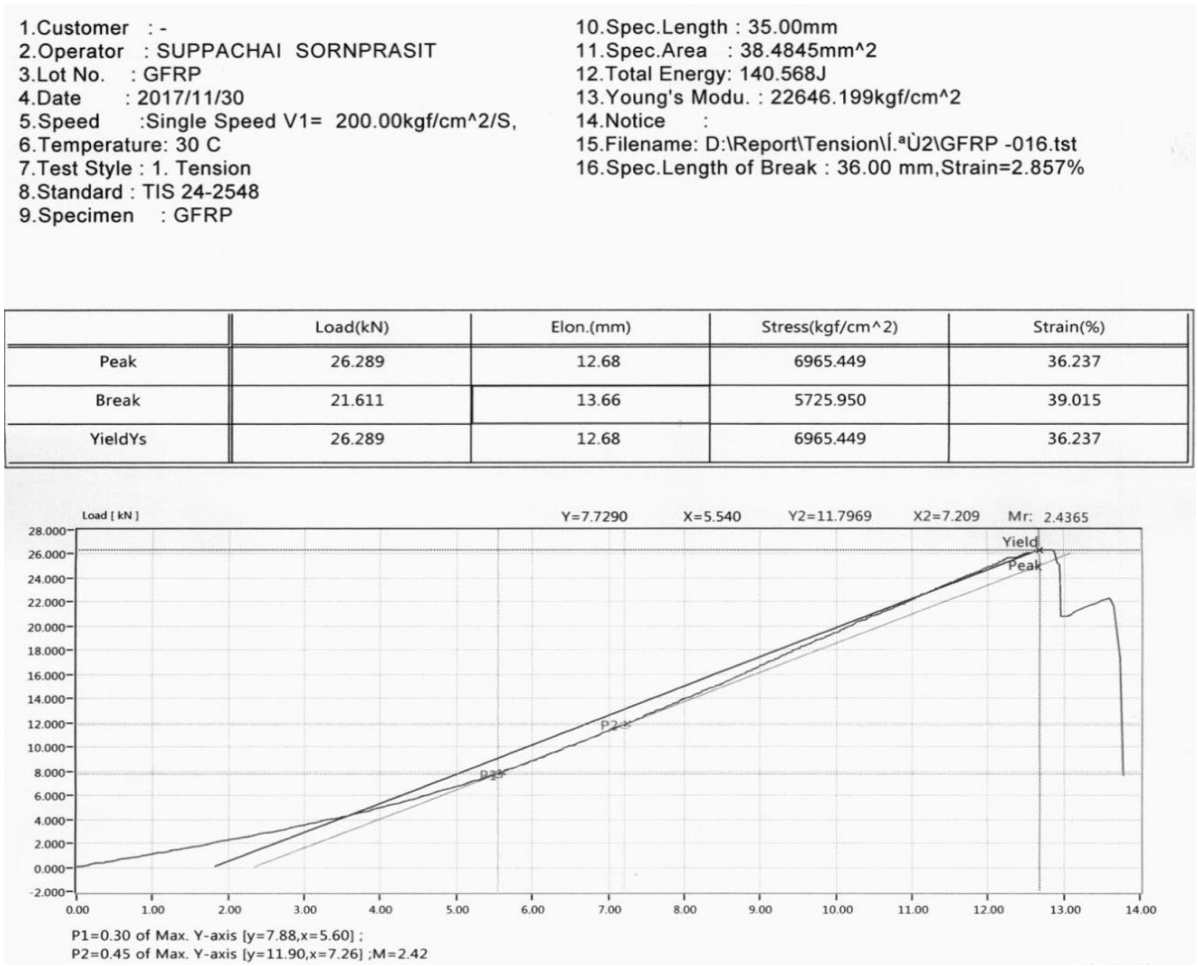
Uzorci	Duljina	Težina	Dijametar
A (3 uzorka)	600 mm	48 g	6,65 mm
B (3 uzorka)	600 mm	98 g	10,8 mm

Tablica 8.

Šipke se razlikuju u boji od prethodnih uzoraka. Zlatne su boje

REZULTANTNI DIJARAMI ZA "A" UZORKE:

1. Uzorak A;1.



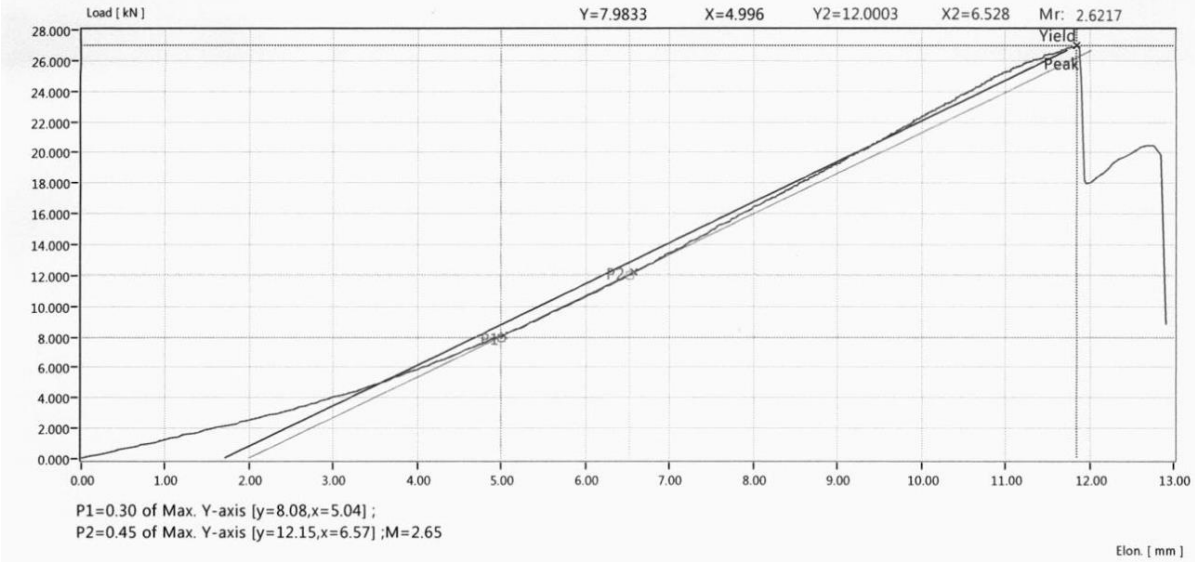
Slika 21.

2. Uzorak A;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/30
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 137.443J
13.Young's Modu. : 24753.654kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -017.tst
16.Spec.Length of Break : 36.00 mm,Strain=2.857%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	26.899	11.84	7127.123	33.837
Break	20.441	12.76	5416.075	36.464
YieldYs	26.899	11.84	7127.123	33.837



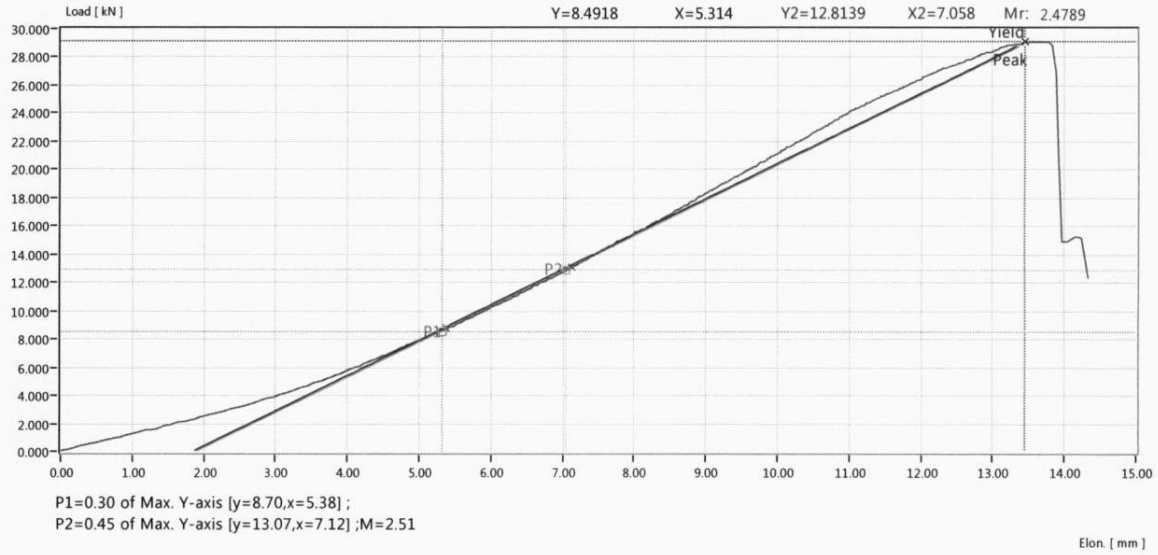
Slika 22.

3. Uzorak A;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/30
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 175.949J
13.Young's Modu. : 23345.432kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -018.tst
16.Spec.Length of Break : 37.00 mm,Strain=5.714%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	29.035	13.45	7692.982	38.431
Break	28.831	13.83	7639.091	39.517
YieldYs	29.035	13.45	7692.982	38.431



Slika 23.

Na Slici 24. prikazani su uzorci „A“ nakon provedenog ispitivanja (duljina 600 mm, težina 48 g, promjer 6,65 mm) prethodno čuvani na temperaturi od 150°C. Može se uočiti razlika u boji od prethodnih uzoraka čuvanih na nižim temperaturama. Crvenim krugom je označeno područje loma šipki.



Slika 24. Testni primjerci

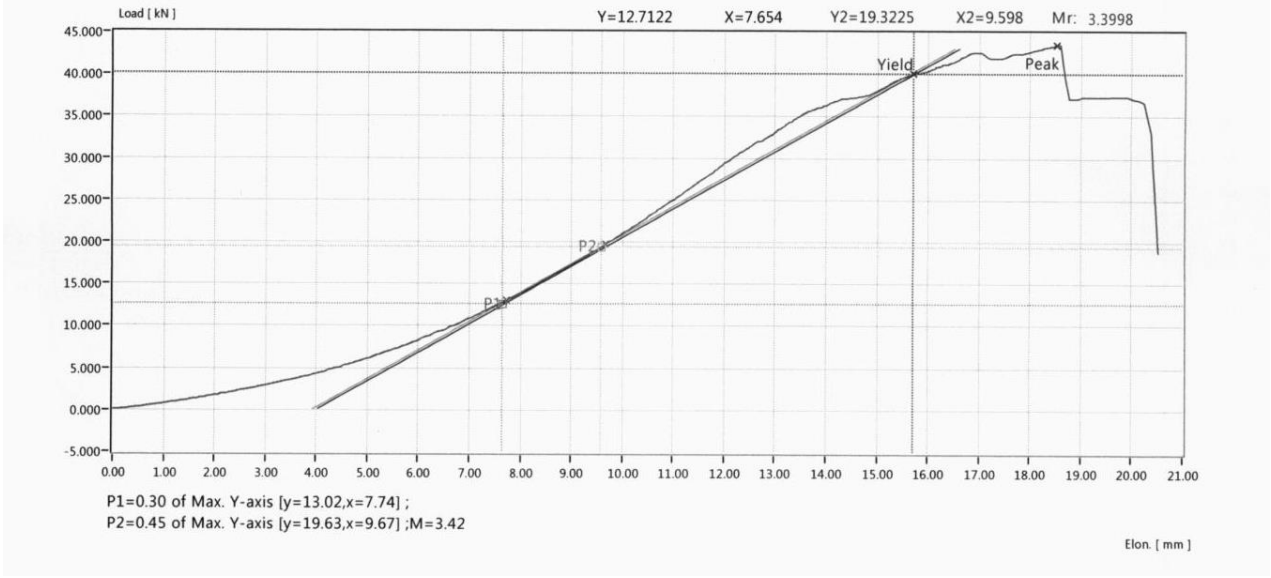
REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA "B" UZORKE:

1. Uzorak B;1.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/30
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 374.076J
13.Young's Modu. : 22805.141kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -019.tst
16.Spec.Length of Break : 50.00 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	43.476	18.54	5644.439	37.075
Break	36.611	20.24	4753.212	40.478
YieldYs	39.978	15.73	5190.309	31.450



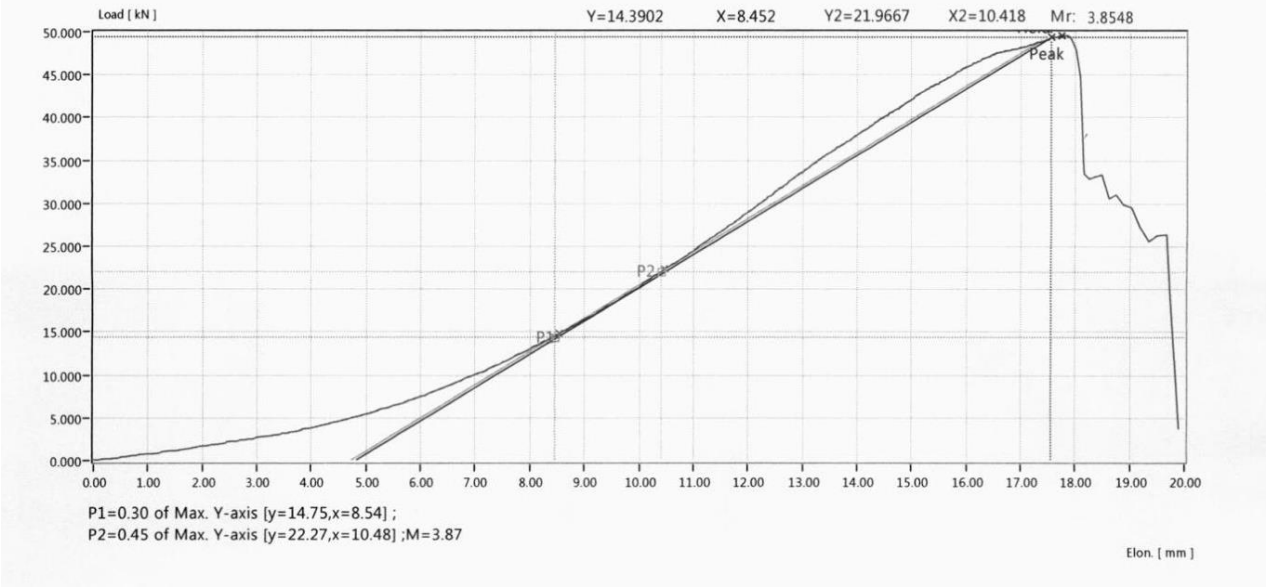
Slika 25.

2. Uzorak B;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/30
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 353.393J
13.Young's Modu. : 25445.830kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -020.tst
16.Spec.Length of Break : 50.00 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	49.527	17.75	6430.039	35.503
Break	26.187	19.50	3399.867	38.990
YieldYs	49.277	17.56	6397.658	35.117



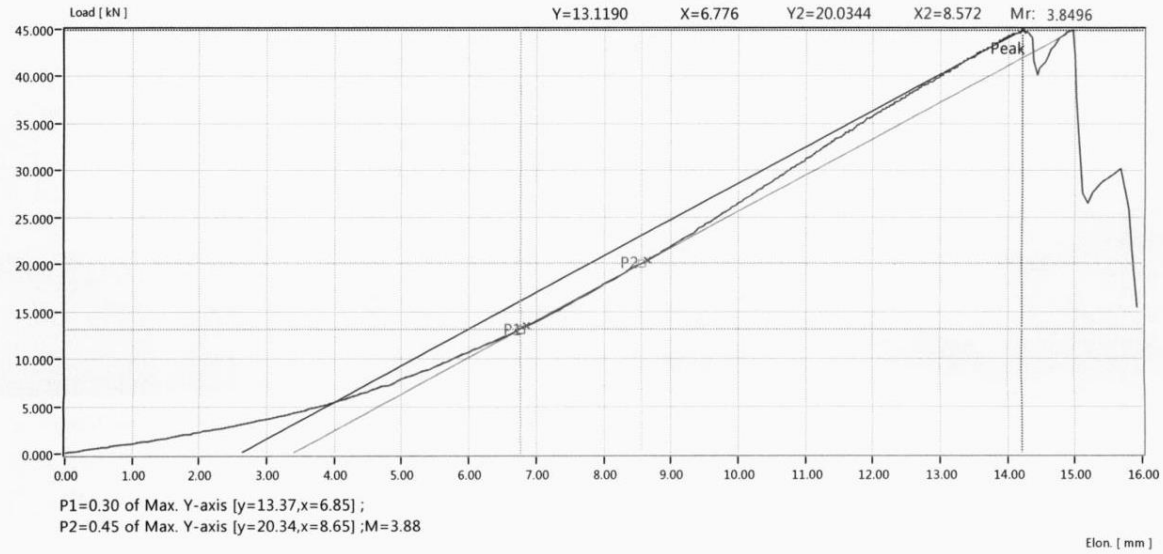
Slika 26.

3. Uzorak B;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/11/30
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 248.599J
13.Young's Modu. : 25673.806kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -021.tst
16.Spec.Length of Break : 50.00 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	44.899	14.22	5829.286	28.431
Break	30.204	15.67	3921.400	31.347
YieldYs	44.899	14.22	5829.286	28.431



Slika 27.

Slikom 28. Prikazani su uzorci B nakon provedenog testa (duljina 600mm, težina 98 g, promjer 10,8 mm) prethodno čuvani na temperaturi od 150°C. Crvenim krugom su označena mjesta loma.



Slika 28.

- Uzorci čuvani na temperaturi od 200°C

Navedeni u Tablici 9.

Uzorci	Duljina	Težina	Dijametar
A (3 uzorka)	600 mm	48 g	6,65 mm
B (3 uzorka)	600 mm	98 g	10,8 mm

Tablica 9.

Uzorci su zagrijani u pećnici na temperaturi od 200°C te su se nakon 7 h počeli topiti. Potom su izvađeni vani, ohlađeni te je provedeno ispitivanje.

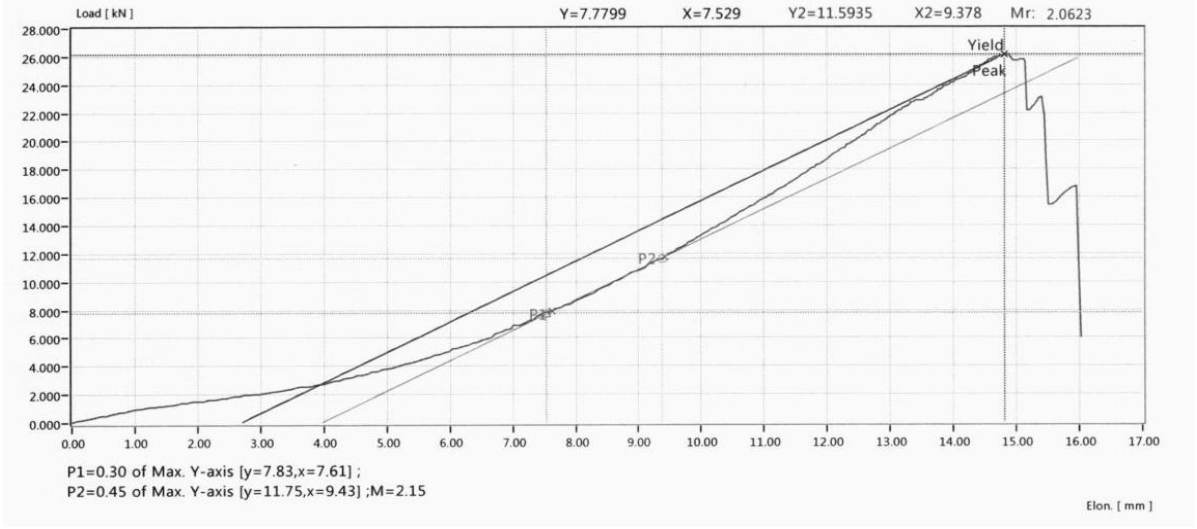
REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA „A“ UZORKE:

1. Uzorak A;1.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 143.893J
13.Young's Modu. : 20616.104kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -023.tst
16.Spec.Length of Break : 36.00 mm,Strain=2.857%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	26.085	14.82	6911.558	42.343
Break	16.628	15.88	4405.613	45.363
YieldYs	26.085	14.82	6911.558	42.343



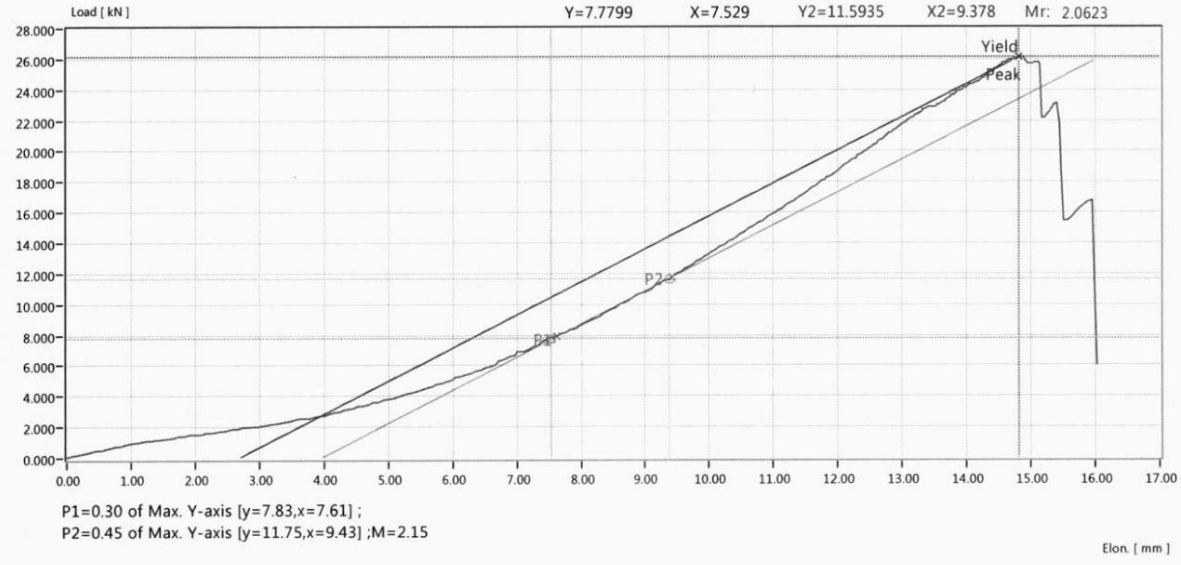
Slika 29.

2. Uzorak A;2

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 143.893J
13.Young's Modu. : 20616.104kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -023.tst
16.Spec.Length of Break : 36.00 mm,Strain=2.857%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	26.085	14.82	6911.558	42.343
Break	16.628	15.88	4405.613	45.363
YieldYs	26.085	14.82	6911.558	42.343



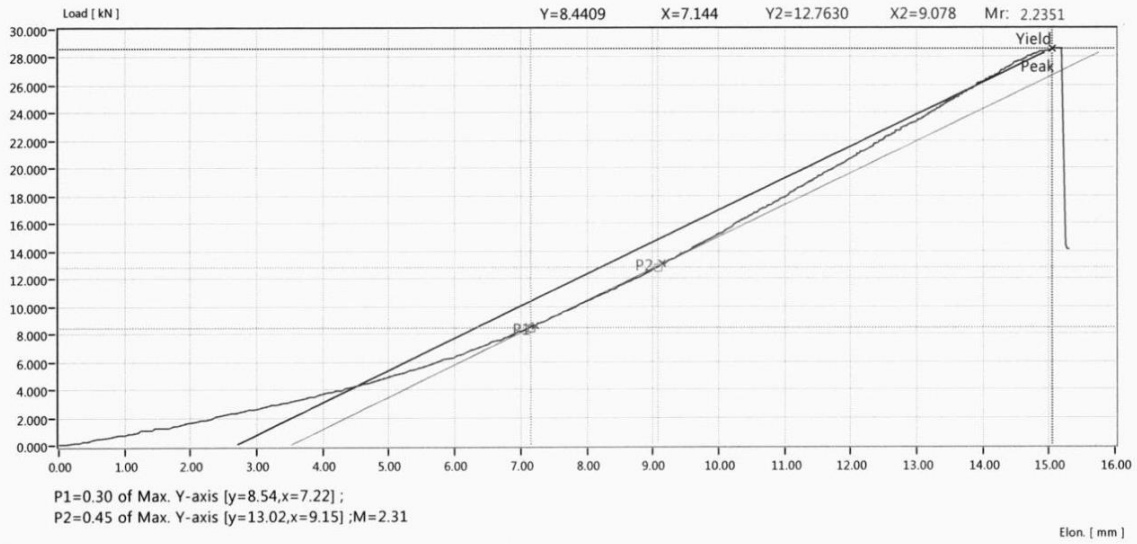
Slika 30.

3. Uzorak A;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 35.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 170.072J
13.Young's Modu. : 21474.202kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -024.tst
16.Spec.Length of Break : 36.00 mm,Strain=2.857%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	28.577	15.06	7571.726	43.025
Break	28.577	15.17	7571.726	43.357
YieldYs	28.577	15.06	7571.726	43.025



Slika 31.

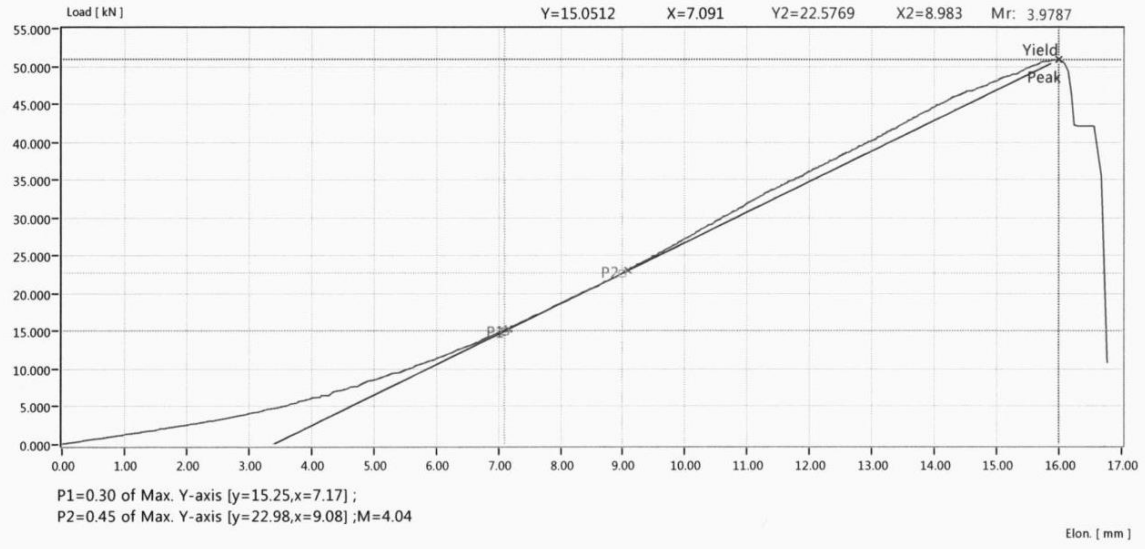
REZULTANTNI DIJAGRAMI ZA „B“ UZORKE :

1. Uzorak B;1.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 340.909J
13.Young's Modu. : 26551.400kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -025.tst
16.Spec.Length of Break : 50.00 mm,Strain=0.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	50.849	16.00	6601.683	31.998
Break	42.103	16.56	5466.194	33.119
YieldYs	50.849	16.00	6601.683	31.998



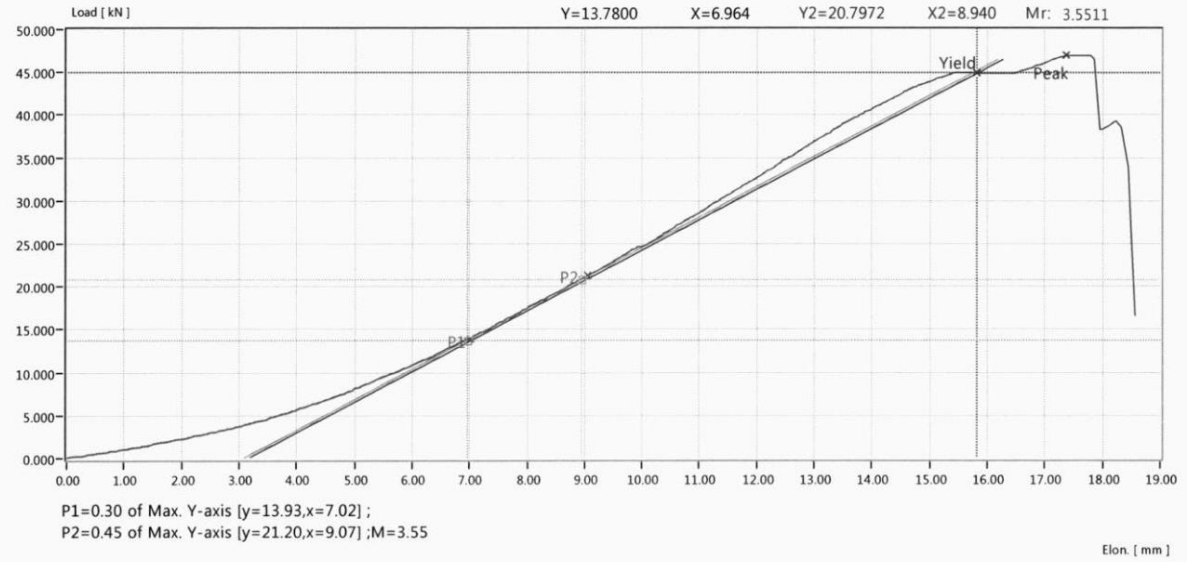
Slika 32.

2. Uzorak B;2.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 374.535J
13.Young's Modu. : 23223.529kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -026.tst
16.Spec.Length of Break : 53.00 mm,Strain=6.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	46.883	17.37	6086.752	34.746
Break	38.493	18.32	4997.474	36.648
YieldYs	44.798	15.82	5816.083	31.638



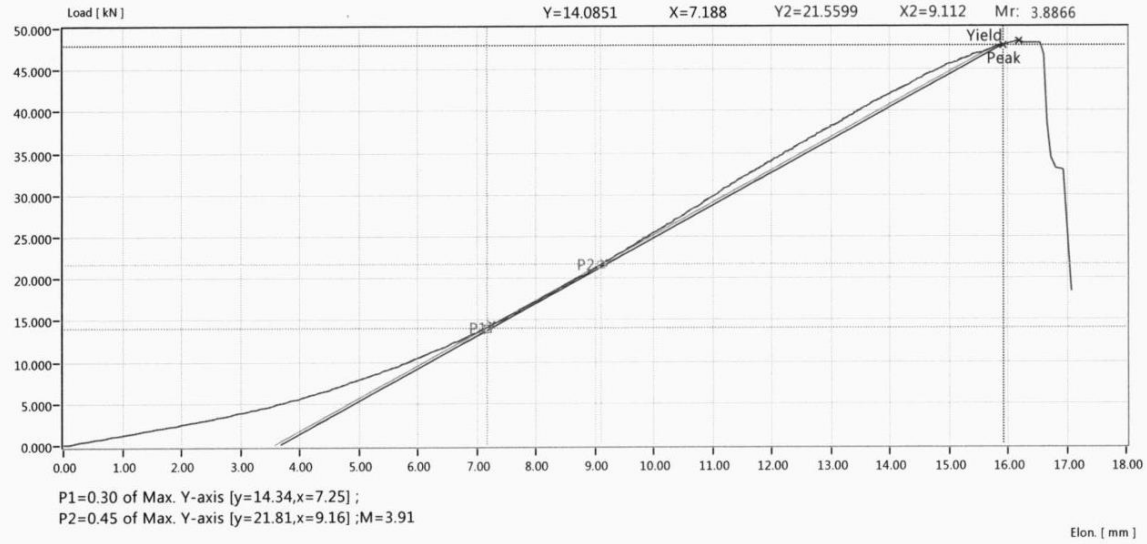
Slika 33.

3. Uzorak B;3.

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP
4.Date : 2017/12/1
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP
10.Spec.Length : 50.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 328.043J
13.Young's Modu. : 25811.910kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP -027.tst
16.Spec.Length of Break : 52.00 mm,Strain=4.000%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	48.306	16.18	6271.599	32.362
Break	33.103	16.81	4297.696	33.630
YieldYs	47.849	15.93	6212.184	31.852



Slika 34.

Ukupni rezultati ispitivanja za sve temperature prikazani su u Tablici 10. Prema navedenim rezultatima vidljivo je da temperatura znatno ne utječe na iznos naprezanja. Iznosi su približno jednaki. Najveća naprezanja podnose uzorci manjih promjera (uzorci skupine „A“) te imaju i najveće deformacije, dok kod uzoraka većeg promjera („B“) je manje naprezanje i manja deformacija.

	Temperatura 50 °C				
UZORAK		Opterećenje(kN)	Produljenje(mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
A;1 d=33.25 mm	Vrhunac	30,357	14,66	873.99	44,103
	Pucanje	23,035	15,12	663.18	45,470
	Popuštanje	30,357	14,66	873.99	44,103
A;2 d=33.25 mm	Vrhunac	29,950	13,92	862.28	41,863
	Pucanje	20,899	14,33	601.69	43,102
	Popuštanje	29,950	13,92	862.28	41,863
A;3 d =33.25 mm	Vrhunac	28,272	14,91	813.97	44,838
	Pucanje	24,560	16,25	707.10	48,874
	Popuštanje	28,272	14,91	813.97	44,838
B;1 d=50.90 mm	Vrhunac	48,102	18,36	590.98	36,071
	Pucanje	41,645	21,71	511.64	42,652
	Popuštanje	48,102	18,36	590.98	36,071
B;2 d=50.90 mm	Vrhunac	50,645	15,44	622.21	30,326
	Pucanje	31,730	17,15	389.82	33,690
	Popuštanje	50,645	15,44	622.21	30,326

	Temperatura 100 °C				
UZORAK		Opterećenje(kN)	Produljenje(mm)	Naprezanje(MPa)	Deformacija (%)
A;1 d=33.25 mm	Vrhunac	27,662	13,40	718.75	38,296
	Pucanje	17,695	15,41	459.79	44,032
	Popuštanje	27,662	13,40	718.75	38,296
A;2 d=33.25 mm	Vrhunac	29,950	13,04	778.20	37,259
	Pucanje	20,492	16,41	532.46	46,891
	Popuštanje	29,950	13,04	778.21	37,259
A;3 d=33.25 mm	Vrhunac	27,814	17,33	722.71	49,516
	Pucanje	24,306	19,15	631.55	54,709
	Popuštanje	27,814	17,33	722.71	49,516
B;1 d=50.90 mm	Vrhunac	47,849	17,54	609.21	35,077
	Pucanje	36,916	22,67	470.02	45,348
	Popuštanje	47,849	17,54	609.21	35,077
B;2 d=50.90 mm	Vrhunac	49,730	15,63	633.16	31,268
	Pucanje	26,187	16,33	333.41	32,663
	Popuštanje	49,539	15,45	630.72	30,907
B;3 d=50.90 mm	Vrhunac	52,018	23,25	662.29	46,491
	Pucanje	32,848	24,74	418.22	49,471
	Popuštanje	34,069	14,25	4423,128	28,502

UZORAK	Temperatura 150 °C				
		Opterećenje(kN)	Produljenje(mm)	Naprezanje(MPa)	Deformacija (%)
A;1 d=33.25 mm	Vrhunac	26,289	12,68	683.08	36,237
	Pucanje	21,611	13,66	561.52	39,015
	Popuštanje	26,289	12,68	683.078	36,237
A;2 d=33.25 mm	Vrhunac	26,899	11,84	698.93	33,827
	Pucanje	20,441	12,76	531.14	36,464
	Popuštanje	26,899	11,84	698.93	33,837
A;3 d=33.25 mm	Vrhunac	29,035	13,45	754.42	38,431
	Pucanje	28,831	13,83	749.14	39,517
	Popuštanje	29,035	13,45	754.42	38,731
B;1 d=50.90 mm	Vrhunac	43,476	18,54	553.53	37,075
	Pucanje	36,611	20,24	466.13	40,478
	Popuštanje	43,476	18,54	18.66	37,075
B;2 d=50.90 mm	Vrhunac	49,527	17,75	630.57	35,503
	Pucanje	26,187	19,50	333.41	38,990
	Popuštanje	49,527	17,75	627.40	35,503
B;3 d=50.90 mm	Vrhunac	44,899	14,22	571.66	28,431
	Pucanje	30,204	15,67	384.56	31,347
	Popuštanje	44,899	14,22	571.66	28,431
UZORAK	Temperatura 200 °C				
		Opterećenje(kN)	Produljenje(mm)	Naprezanje(MPa)	Deformacija (%)
A;1 d=33.25 mm	Vrhunac	29,391	15,00	763.67	42,846
	Pucanje	28,882	15,56	750.46	44,446
	Popuštanje	29,391	15,00	763.67	42,846
A;2 d=33.25 mm	Vrhunac	26,085	14,82	677.79	42,343
	Pucanje	16,628	15,88	432.04	45,363
	Popuštanje	26,085	14,82	677.79	42,343
A;3 d=33.25 mm	Vrhunac	28,577	15,06	742.53	43,025
	Pucanje	28,577	15,17	742.53	43,357
	Popuštanje	28,577	15,06	742.53	43,025
B;1 d=50.90 mm	Vrhunac	50,849	16,00	647.40	31,998
	Pucanje	42,103	16,56	536.05	33,119
	Popuštanje	50,849	16,00	647.70	31,998
B;2 d=50.90 mm	Vrhunac	46,883	17,37	596.91	34,746
	Pucanje	38,493	18,32	490.08	36,648
	Popuštanje	44,798	15,82	570.36	31,638
B;3 d=50.90 mm	Vrhunac	48,306	16,18	615.03	32,362
	Pucanje	33,103	16,81	421.46	33,630
	Popuštanje	47,849	15,93	609.21	31,852

Tablica 10. Ukupni rezultati

2.2 TEST NA SAVIJANJE

2.2.1 O TESTU

Izvođenjem testa savijamo uzorak u sredini što se vidi stvaranjem konkavne površine tj. savijanja bez pojavljivanja loma. Koristi se za ispitivanje duktilnosti ili otpornosti na lom materijala. Cilj je deformirati uzorak do nekoga oblika a ne dovesti materijal do loma. Korišten je test savijanja u tri točke.

2.2.2 POSTUPAK

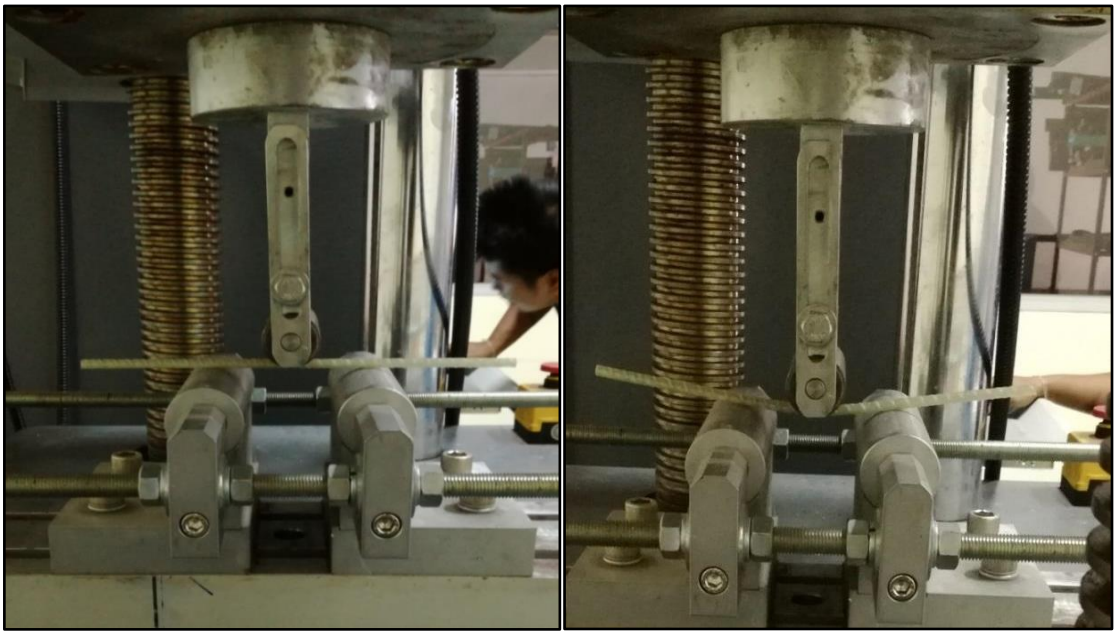
Korištena su dva uzorka šipki prikazani u Tablici 11. Prvi testni uzorak je šipka izrađena od GFRP-a, duljine 1000 mm, težine 80 g i promjera 7mm. Drugi testni uzorak je šipka izrađena od čelika, duljine 1000 mm, težine 890 g i promjera 12mm.

Materijal	Duljina	Težina	Dijametar
GFRP šipka	1000 mm	80 g	7 mm
Čelična šipka	1000 mm	890 g	12 mm

Tablica 11.

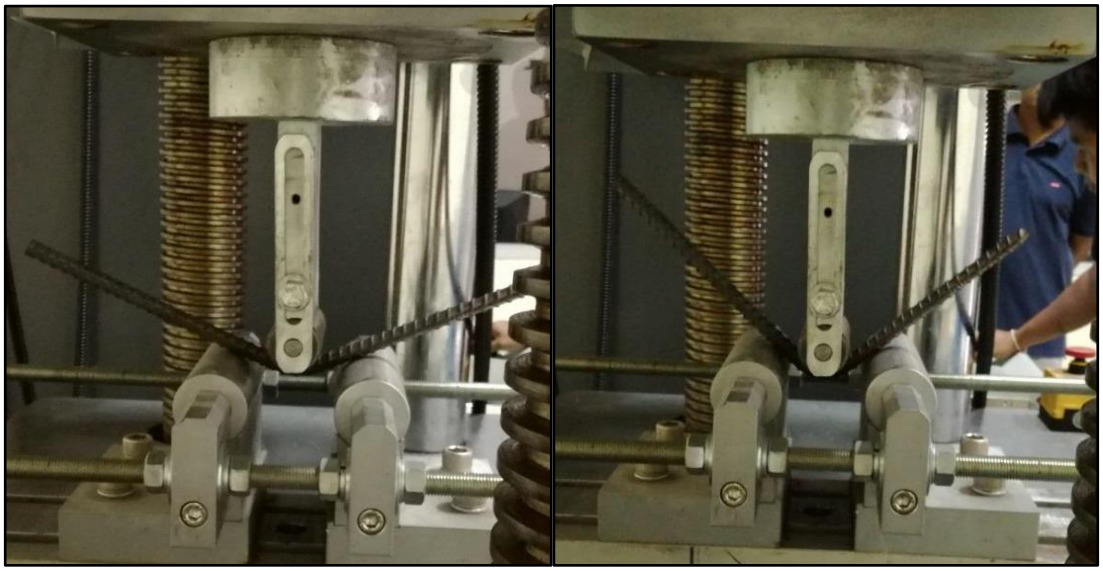
Uzorak je postavljen horizontalno na dva oslonca, a sila se nanosi u trećoj točki (između oslonaca) tako da deformirani oblik uzorka je u obliku slova „V“.

Na Slikama 35. prikazan je proces testiranja na GFRP šipci.



Slike 35. Proces testiranja GFRP šipke

Na Slikama 36. prikazan je proces testiranja na čeličnoj šipci.



Slike 36. Proces testiranja čelične šipke

Slika 37. prikazuje usporedbu uzorka GFRP šipke i čelične šipke nakon provedenog testiranja.

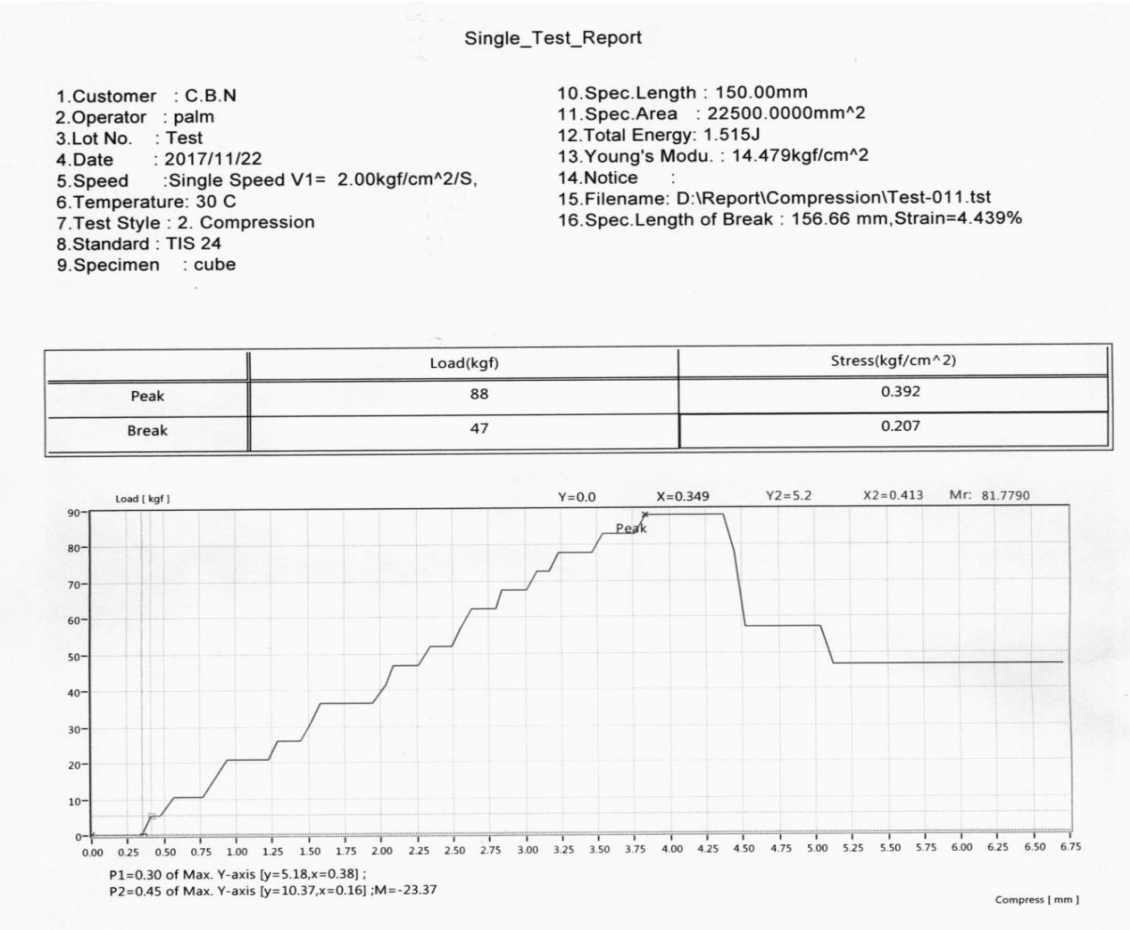


Slika 37. Usporedba testnih šipki

2.2.3 REZULTATI

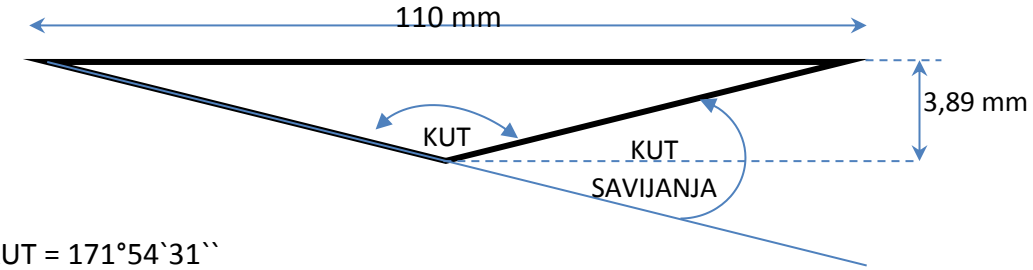
DIJAGRAMI Slike 38. i 39. prikazuju krivulje odnosa opterećenje (load)- progib (compress) te tablicu očitanih vrijednosti nanešenog opterećenja (load) i naprezanja (stress) koje se javlja u šipci pri njenom dosezanju graničnog maksimalnog naprezanja i sloma.

1. GFRP šipka:



Slika 38.

GFRP šipka se savila za kut od 8°5`29`` nakon čega je doživjela lom.



KUT = 171°54`31``

KUT SAVIJANJA = 8°5`29``

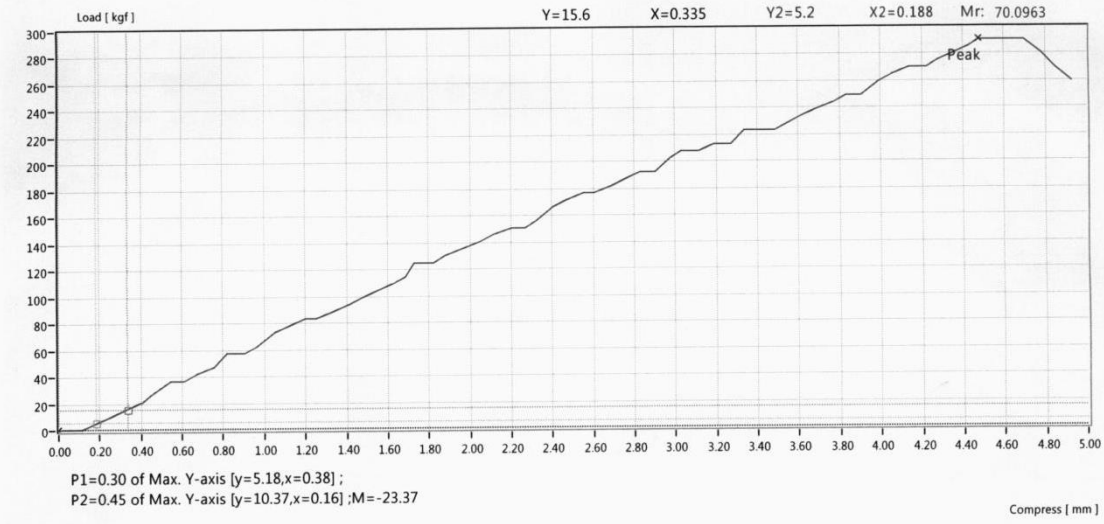
2. Čelična šipka :

Single_Test_Report

1.Customer : C.B.N
2.Operator : palm
3.Lot No. : Test
4.Date : 2017/11/22
5.Speed :Single Speed V1= 2.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 2. Compression
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : cube

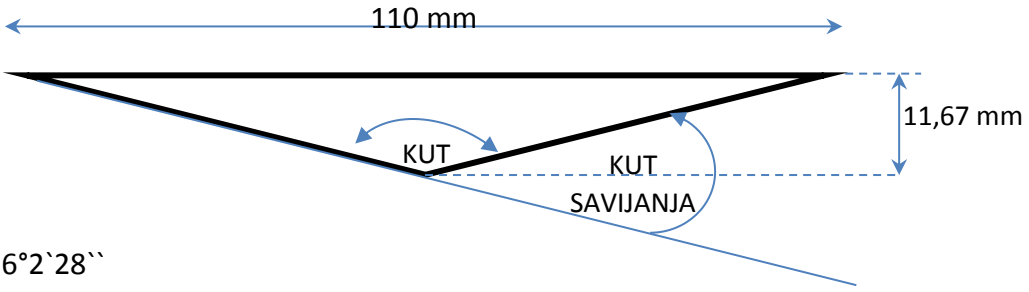
10.Spec.Length : 150.00mm
11.Spec.Area : 22500.0000mm^2
12.Total Energy: 6.426J
13.Young's Modu. : 47.684kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Compression\Test009.tst
16.Spec.Length of Break : 154.64 mm,Strain=3.091%

	Load(kgf)	Stress(kgf/cm^2)
Peak	290	1.290
Break	290	1.290



Slika 39.

Kut savijanja čelične šipke iznosi 23°57`32``što je skoro tri puta veće nego kut GFRP savijanja. Šipka nije imala nikakve naznake loma na svojoj površini



KUT= 156°2`28``

KUT SAVIJANJA = 23°57`32``

Iz rezultata je vidljivo da GFRP ima mnogo veću savojnu krutost od čelika što je vidljivo iz manje deformacije i malog kuta savijanja (prikaz Tablica 11.)

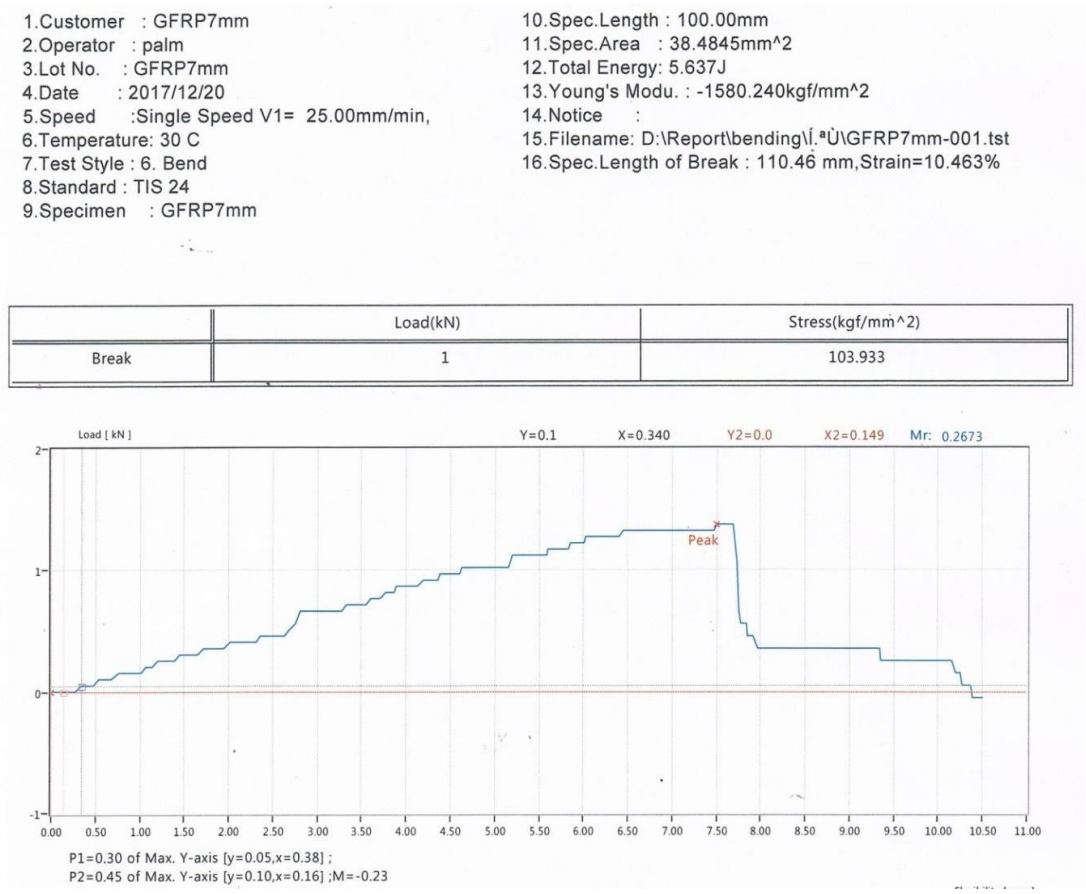
GRFP	Opterećenje (kN)	Naprezanje (MPa)	Unutarnji kut	Kut savijanja
Vrhunac	8.46	0.0384	171° 54` 31``	8°5`29``
Lom	4.52	0.0203		
ČELIK	Opterećenje (kN)	Naprezanje (MPa)	Unutarnji kut	Kut savijanja
Vrhunac	27.89	0.1265	156°2`28``	23°57`32``
Lom	27.89	0.1265		

Tablica 11. Ukupni rezultati testa

Ponovljen je test na savijanje za GFRP šipke koje su čuvane na različitim temperaturama jedan dan (u pećnici) nakon čega su izvađene i hlađene jedan sat (60 min). Test se izvodi na uzorcima GFRP šipki promjera 7 mm-grupa „A“ i GFRP šipke promjera 10 mm- grupa „B“. Za svaku temperaturu ispitana su po tri jednaka uzorka svake grupe. Slike 40-51 prikazuju krivulje odnosa opterećenje (load)- progib (compress) te tablicu očitanih vrijednosti nanešenog opterećenja (load) i naprezanja (stress) koje se javlja u šipci pri njenom dosezanju graničnog maksimalnog naprezanja i sloma.

1.) <u>100°C</u>

Uzorak A;1



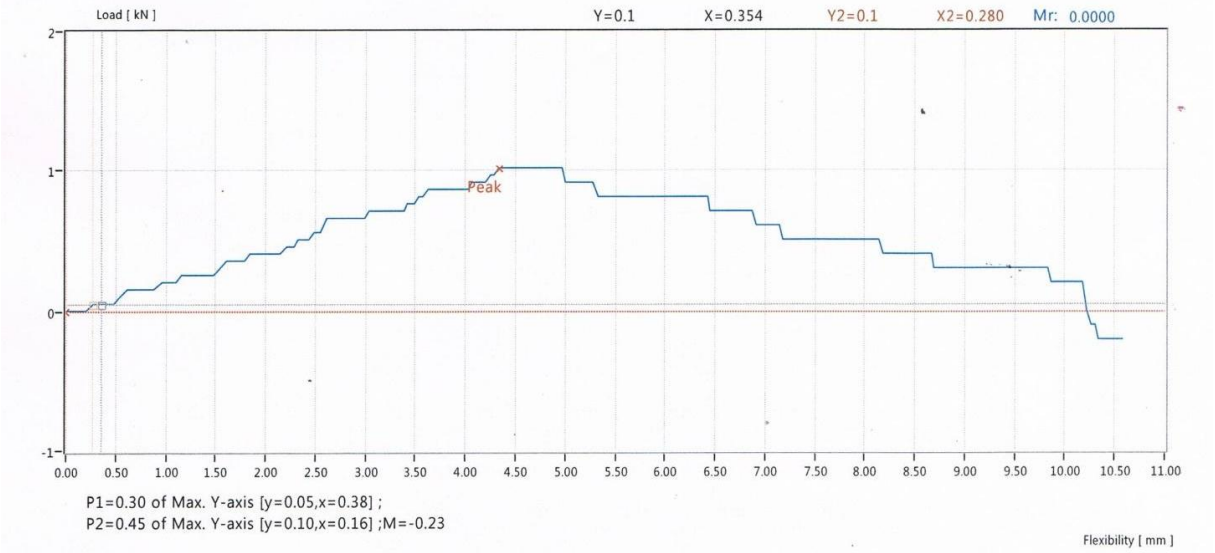
Slika 40.

Uzorak A;2

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP7mm
4.Date : 2017/12/20
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 2.019J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\bending\Í.ªÙ\GFRP7mm-002.tst
16.Spec.Length of Break : 110.55 mm,Strain=10.551%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	1	76.988



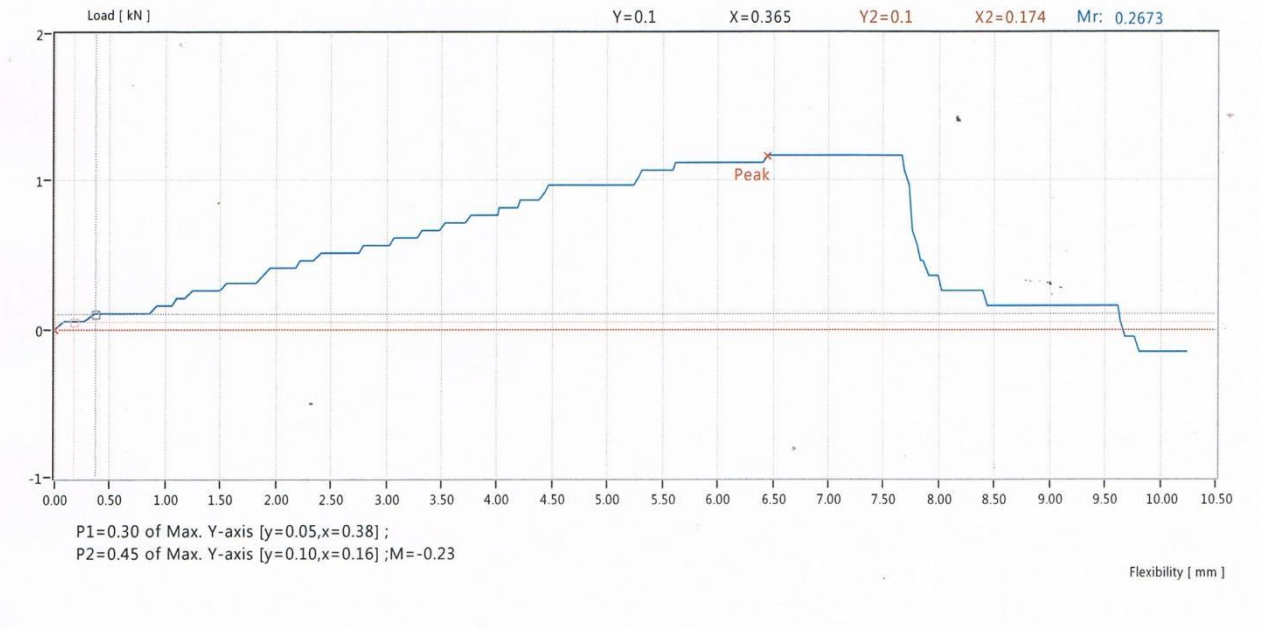
Slika 41.

Uzorak A;3

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP7mm
4.Date : 2017/12/20
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 3.992J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\bending\Í.ªÙ\GFRP7mm-003.tst
16.Spec.Length of Break : 110.20 mm,Strain=10.202%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	1	88.536



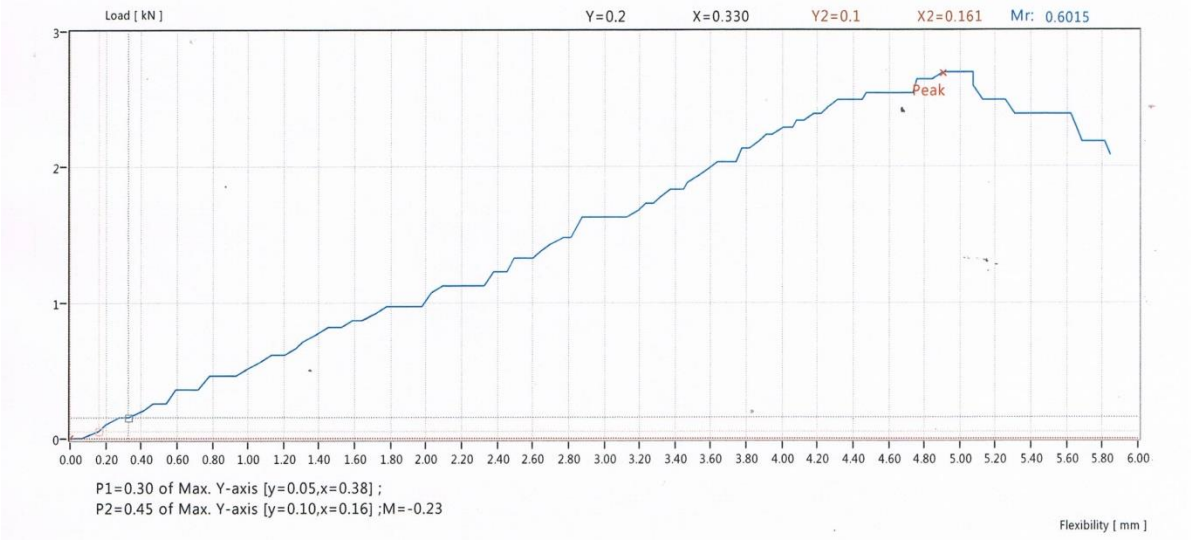
Slika 42.

Uzorak B;1

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP10mm
4.Date : 2017/12/20
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 6.429J
13.Young's Modu. : -379.416kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\bending\Í.ªÙ\GFRP10mm-001.tst
16.Spec.Length of Break : 105.07 mm,Strain=5.075%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	3	69.978



Slika 43.

Uzorak B;2

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP10mm
4.Date : 2017/12/20
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 4.758J
13.Young's Modu. : -379.416kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\bending\Í.ªÙ\GFRP10mm-003.tst
16.Spec.Length of Break : 104.40 mm,Strain=4.400%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	2	59.415



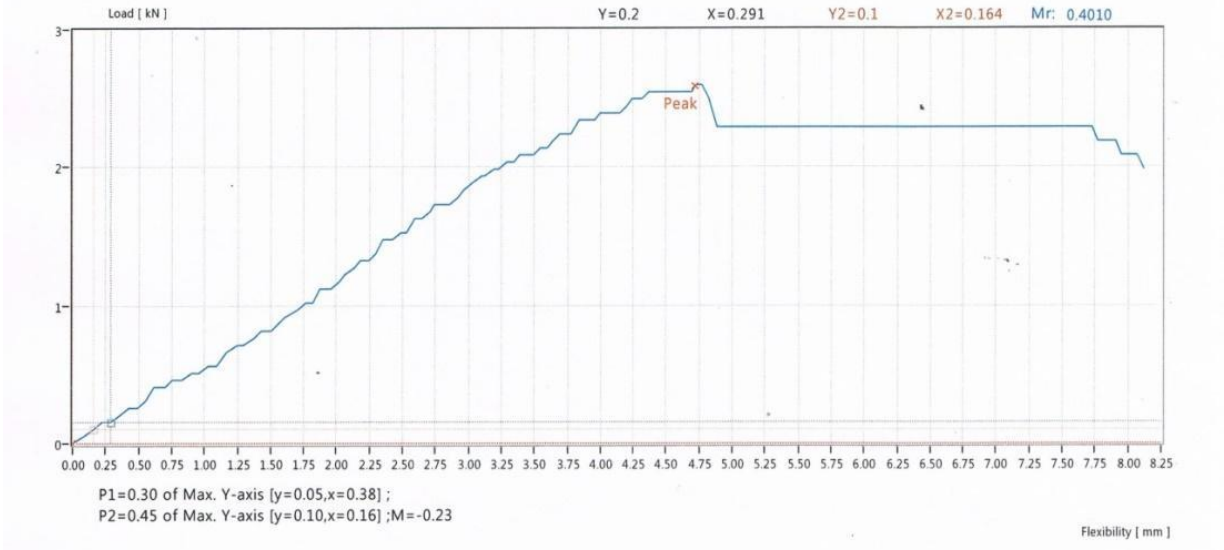
Slika 44.

Uzorak B;3

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP10mm
4.Date : 2017/12/20
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 6.587J
13.Young's Modu. : -379.416kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\bending\Í.ªÙ\GFRP10mm-002.tst
16.Spec.Length of Break : 104.72 mm,Strain=4.718%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	3	67.337



Slika 45.

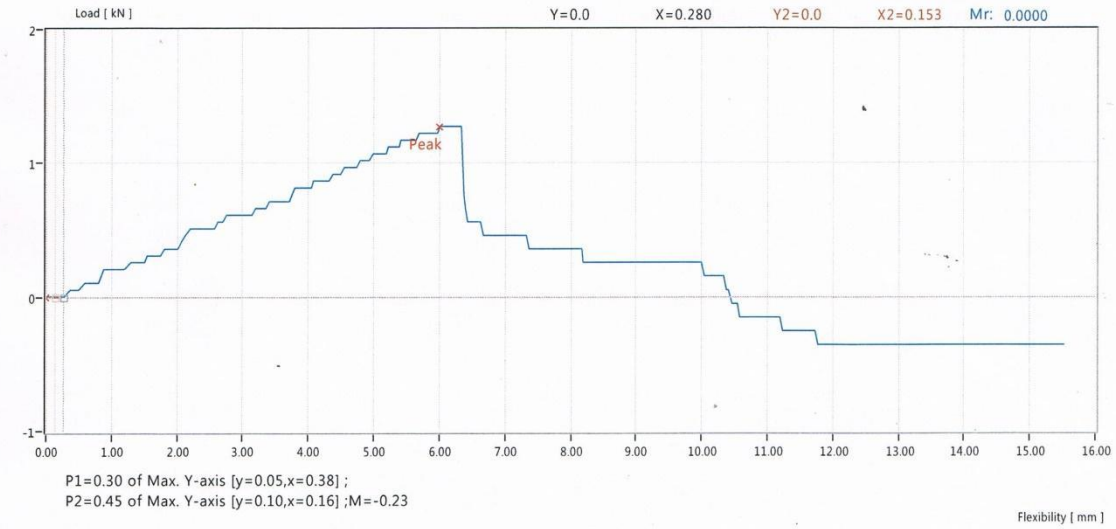
2.) 150°C

Uzorak A;1

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP7mm
4.Date : 2017/12/19
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 3.678J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP7mm-031.tst
16.Spec.Length of Break : 115.49 mm,Strain=15.486%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	1	96.234



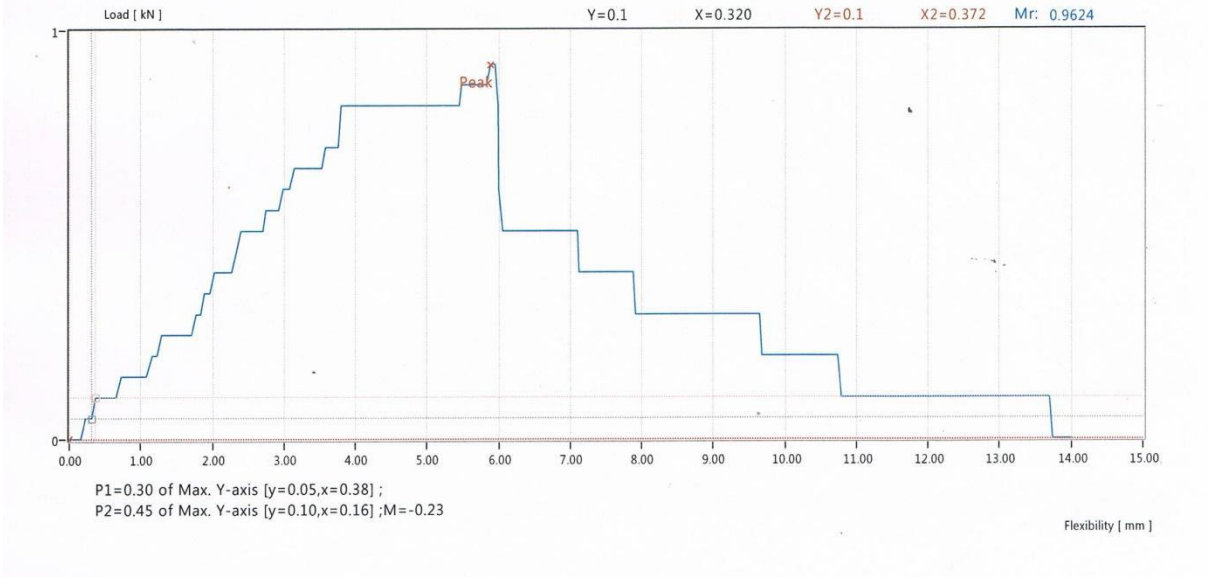
Slika 46.

Uzorak A;2

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP7mm
4.Date : 2017/12/19
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 3.071J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP7mm-032.tst
16.Spec.Length of Break : 113.97 mm,Strain=13.972%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	1	69.289



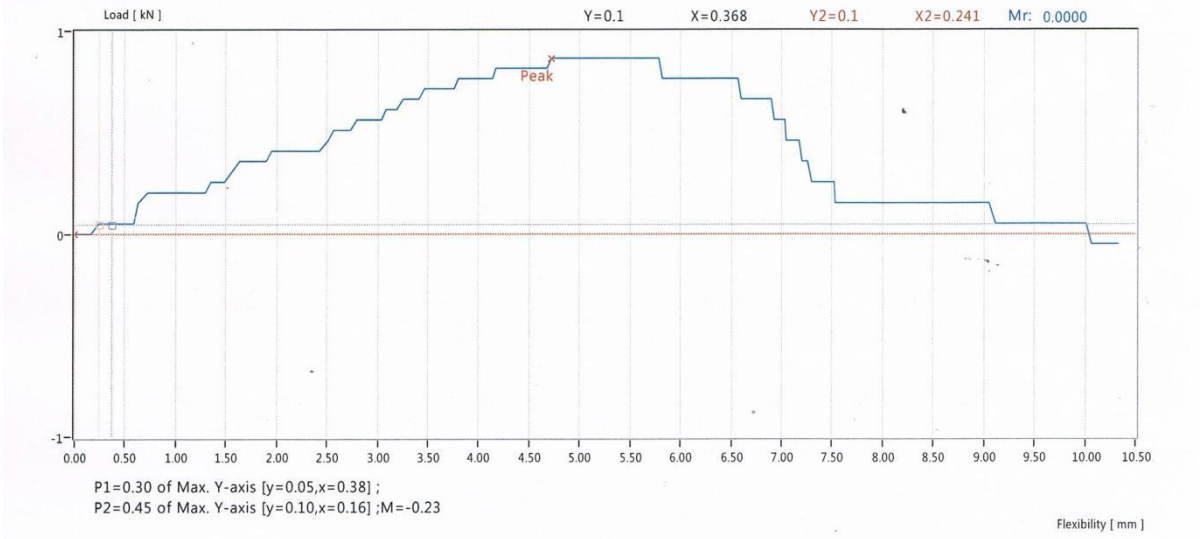
Slika 47.

Uzorak A;3

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP7mm
4.Date : 2017/12/19
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 2.106J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP7mm-033.tst
16.Spec.Length of Break : 110.29 mm,Strain=10.290%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	1	65.439



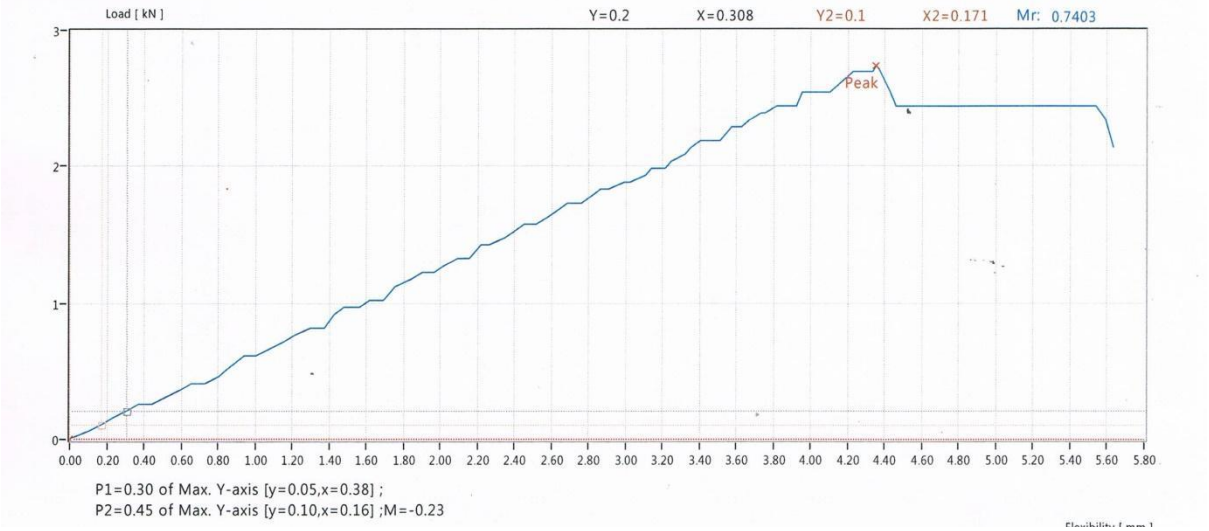
Slika 48.

Uzorak B;1

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP10mm
4.Date : 2017/12/19
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 5.990J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP10mm-034.tst
16.Spec.Length of Break : 104.33 mm,Strain=4.334%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	3	207.866



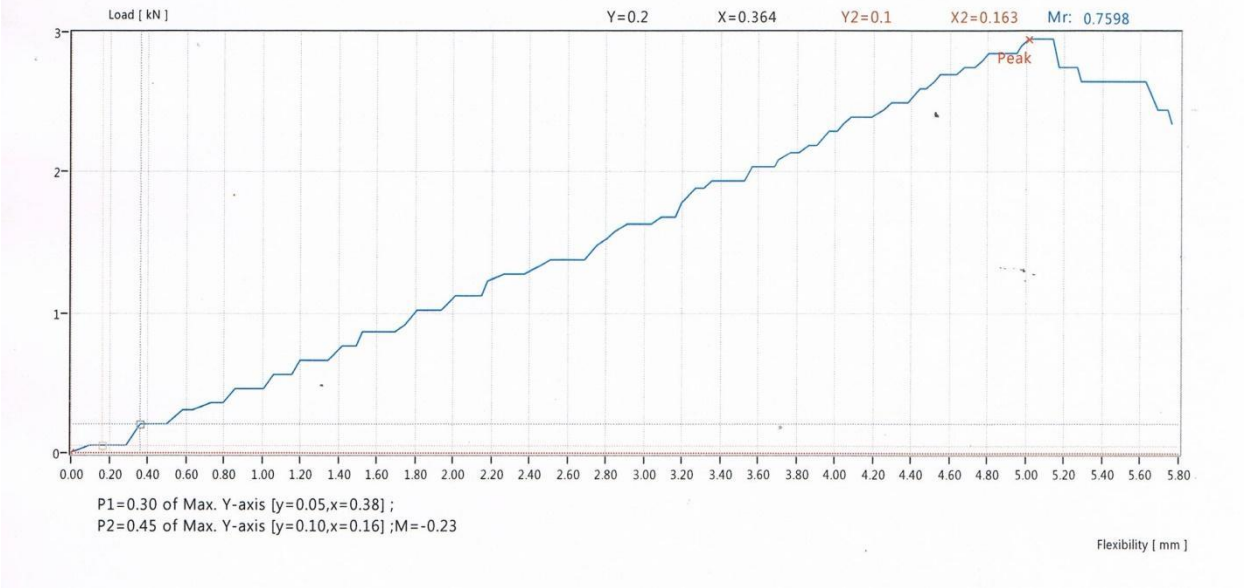
Slika 49.

Uzorak B;2

Single_Test_Report

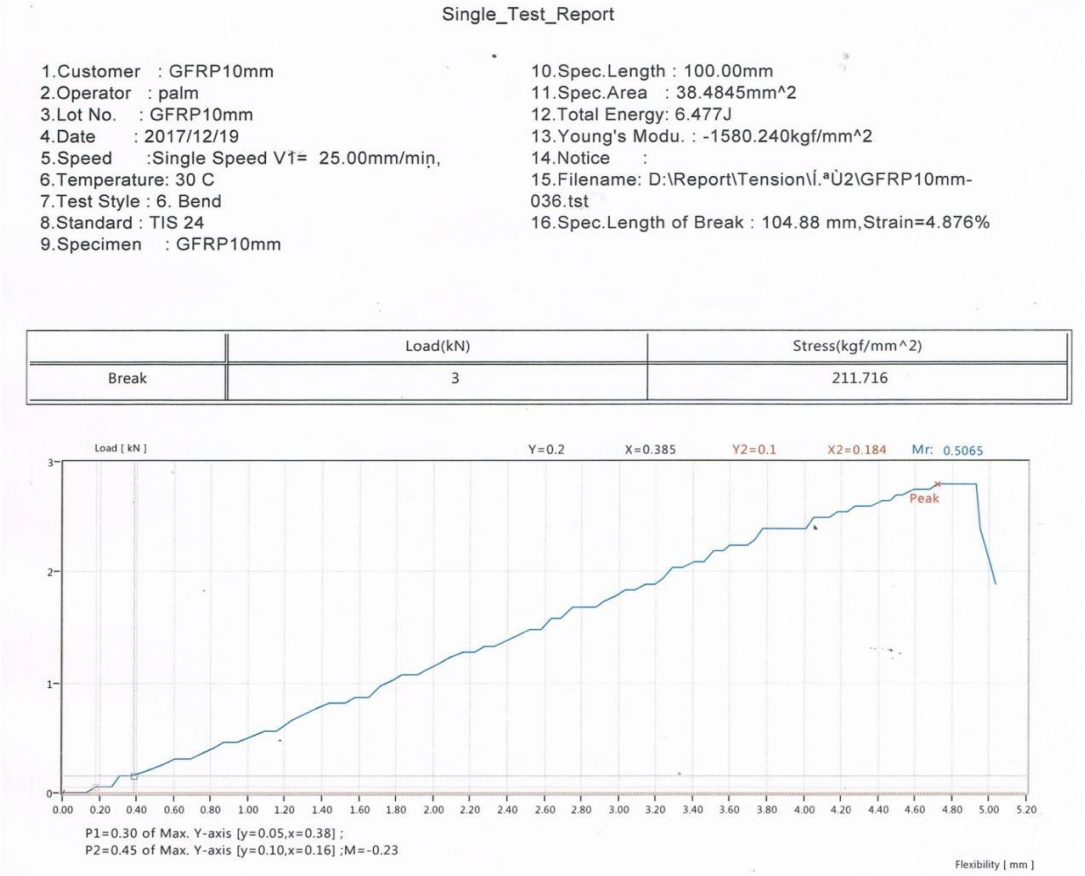
1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : palm
3.Lot No. : GFRP10mm
4.Date : 2017/12/19
5.Speed :Single Speed V1= 25.00mm/min,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 6. Bend
8.Standard : TIS 24
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 6.948J
13.Young's Modu. : -1580.240kgf/mm^2
14.Notice :
15.Filename: D:\Report\Tension\Í.ªÙ2\GFRP10mm-035.tst
16.Spec.Length of Break : 105.10 mm,Strain=5.098%

	Load(kN)	Stress(kgf/mm^2)
Break	3	223.264



Slika 50.

Uzorak B;3



Slika 51.

Iz ukupnih rezultata (Tablica 12.) vidljivo je da povećanjem temperature GFRP slabi, tj. djelovanje vrlo male sile izaziva veliko naprezanje u materijalu što dovodi do bržeg popuštanja materijala. Najveće naprezanje se izazvalo kod GFRP šipke promjera 10 mm pri 100°C a najmanje kod šipke promjera 10 mm pri 150°C

Temperatura	Uzorak	Sila (kN)	Naprezanje (MPa)
100 °C	7mm	1	943.73
	7mm	1	679.49
	7mm	1	641.74
	10mm	3	2038.46
	10mm	3	2189.47
	10mm	3	2076.22
Temperatura	Uzorak	Sila (kN)	Naprezanje (MPa)
150 °C	7mm	1	103.933
	7mm	1	754.99
	7mm	1	868.24
	10mm	3	686.25
	10mm	3	660.35
	10mm	3	582.66

Tablica 12.
Ukupni rezultati

2.3 PULL-OUT TEST

2.3.1 O TESTU

Čvrstoća prianjanja je mjera prianjanja betona i željeza i nema standardnu kvantitativnu definiciju. U Pull-out testu (testu izvlačenja) ravnih šipki, maksimalno opterećenje predstavlja snagu prianjanja koja se može razviti između betona i čelične armature, u našem slučaju kompozitne armature. Osnovno mjerenje je mjerenje opterećenja pri relativnom kretanju (klizanju) između čelika/GFRP-a i betona na slobodnom kraju šipke. [9]

2.3.2 POSTUPAK

Pripremljena je voda, cement i agregat za mješavinu betona (Slike 52.) u količinama prikazanim u Tablici 13. Volumen svakog napravljenog testnog primjerka je V= 0,015 m^3. Napravljene su betonske kocke veličine 15,3 cm x 15,15 cm x 15,6 cm koristeći dvije kompozitne armature promjera 7 mm i dvije promjera 10 mm, te dvije čelične armature promjera 9 mm i dvije promjera 12 mm.

Ukupno 4 uzorka, dva sa GFRP šipkama (1. i 2.) i dva sa čeličnim šipkama (3. i 4.) Slike 53.

VODA	CEMENT	KRUPNI AGREGAT	PIJESAK
1,78 kg	5,04 kg	17,62 kg	11,68 kg

Tablica 13. Količine sastojaka za pripremu betonskih primjeraka



Slike 52. Priprema mješavine za beton



Slike 53. Priprema uzoraka za ispitivanje

Nakon čuvanja od 7 dana, proveden je test izvlačenja (koristeći univerzalni testni stroj (Slika 54.))



Slika 54.
Prikaz stroja za
Pull-out ispitivanje

2.3.3 REZULTATI

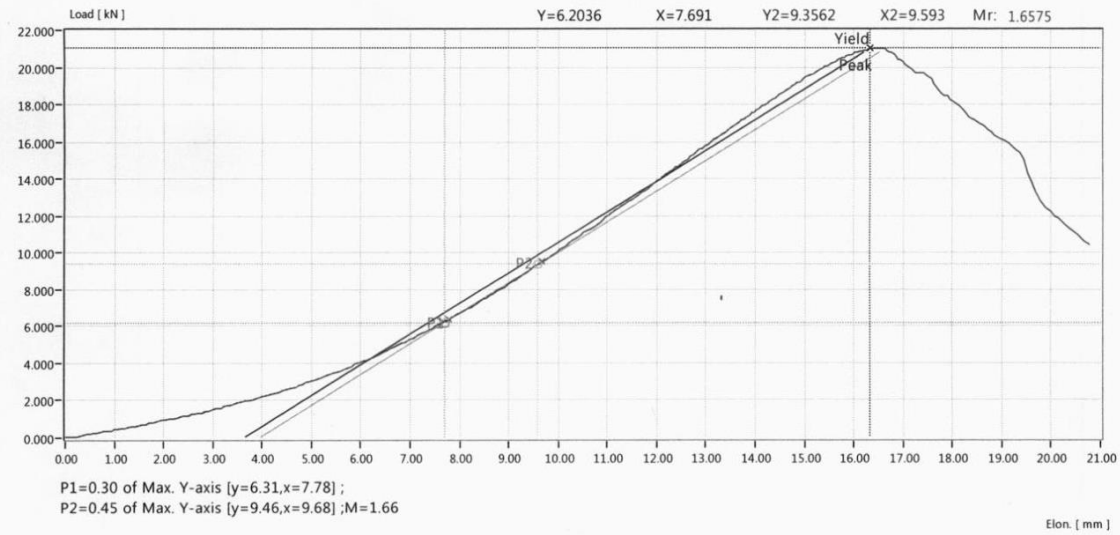
Na Slikama 55.-58. prikazan je dijagram odnosa sile (load) i produljenja (elongation) uzoraka te tablica sa očitanim vrijednostima: nanešena sila, produljenje testnog uzorka, naprezanje i deformacija (%) u trenutku granice tečenja materijala, graničnog maksimalnog naprezanja koje može izdržati materijal i graničnog naprezanja u trenutku loma.

1.) Uzorak 1; GFRP 7mm

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP7mm
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP 7mm
4.Date : 2017/12/15
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP7mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 38.4845mm^2
12.Total Energy: 137.610J
13.Young's Modu. : 44502.981kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K\System\@test-1.tst
16.Spec.Length of Break : 119.37 mm,Strain=19.367%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	21.001	16.33	5564.276	16.334
Break	15.407	19.37	4082.265	19.367
YieldYs	21.001	16.33	5564.276	16.334



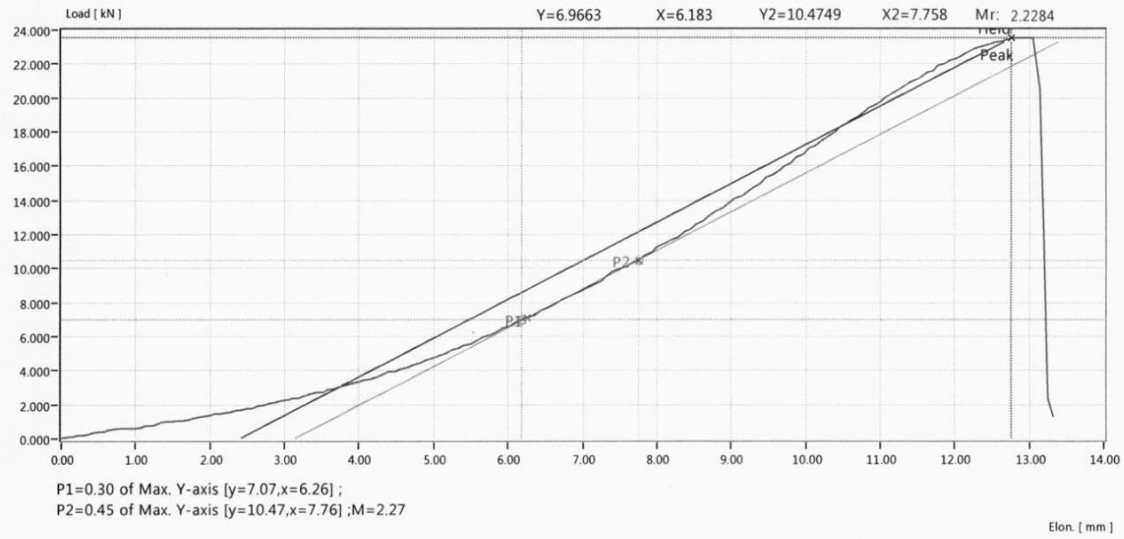
Slika 55.

2.) Uzorak 2; GFRP 10 mm

Single_Test_Report

1.Customer : GFRP10mm
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : GFRP 10mm
4.Date : 2017/12/15
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : GFRP10mm
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 78.5398mm^2
12.Total Energy: 116.631J
13.Young's Modu. : 30903.995kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K\System\@test-2.tst
16.Spec.Length of Break : 113.05 mm,Strain=13.052%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	23.492	12.77	3049.978	12.766
Break	23.492	13.05	3049.978	13.052
YieldYs	23.492	12.77	3049.978	12.766



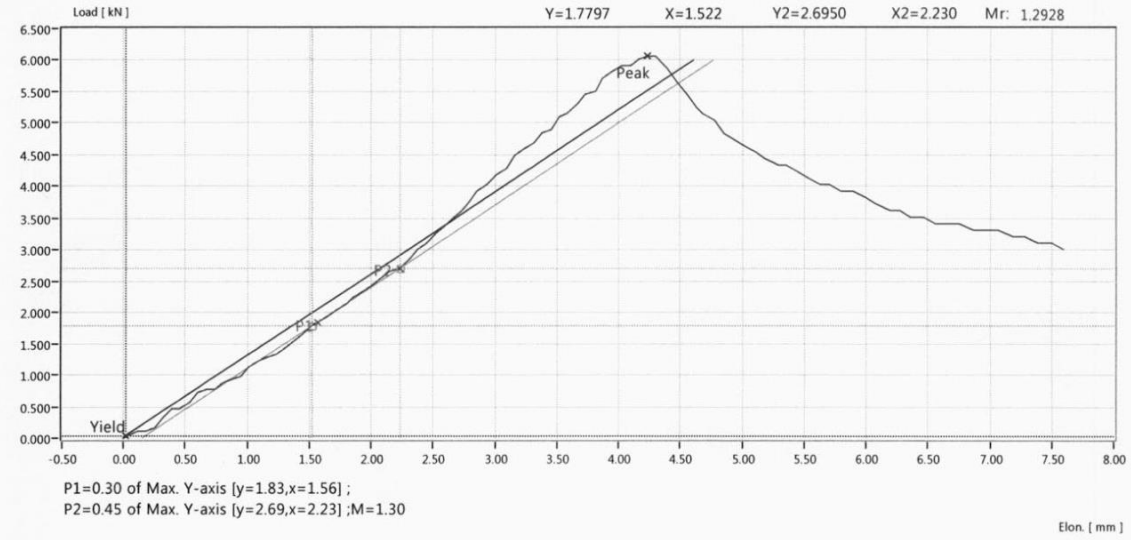
Slika 56.

3.) Uzorak 3; ČELIK 9 mm

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : RB9 SR24
4.Date : 2017/12/15
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : RB9 SR24
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 63.6173mm^2
12.Total Energy: 11.664J
13.Young's Modu. : 23643.933kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K\System\@test-3.tst
16.Spec.Length of Break : 104.24 mm,Strain=4.238%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	6.051	4.24	969.877	4.238
Break	5.848	4.24	937.276	4.238
YieldYs	0.030	0.02	4.849	0.021



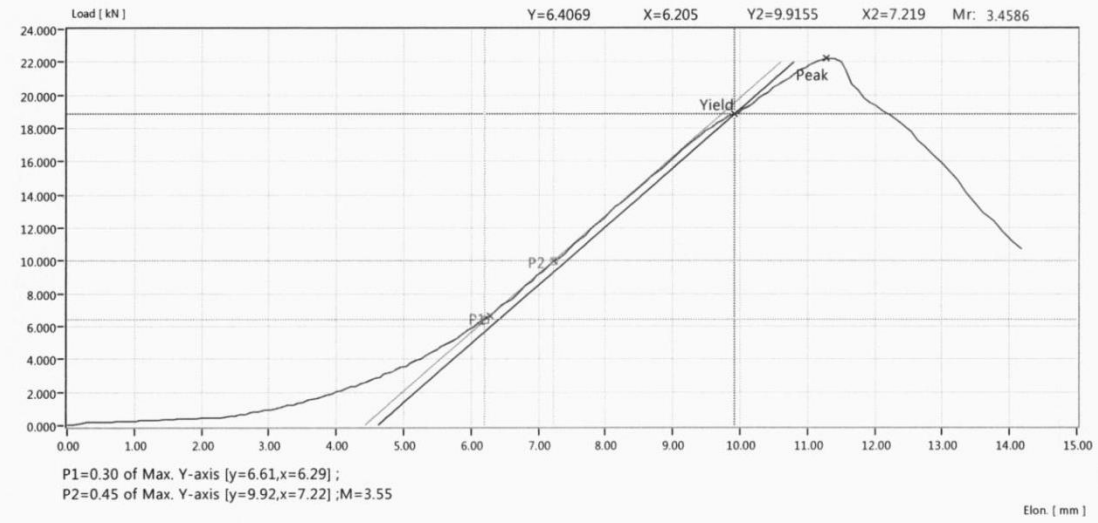
Slika 57.

4.) Uzorak 4; ČELIK 12mm

Single_Test_Report

1.Customer : -
2.Operator : SUPPACHAI SORNPRASIT
3.Lot No. : DB12 SD40T
4.Date : 2017/12/15
5.Speed :Single Speed V1= 200.00kgf/cm^2/S,
6.Temperature: 30 C
7.Test Style : 1. Tension
8.Standard : TIS 24-2548
9.Specimen : DB12 SD40T
10.Spec.Length : 100.00mm
11.Spec.Area : 113.0973mm^2
12.Total Energy: 85.417J
13.Young's Modu. : 31610.186kgf/cm^2
14.Notice :
15.Filename: C:\C002-K\System\@test-4.tst
16.Spec.Length of Break : 111.51 mm,Strain=11.509%

	Load(kN)	Elon.(mm)	Stress(kgf/cm^2)	Strain(%)
Peak	22.170	11.28	1998.843	11.277
Break	21.967	11.51	1980.505	11.509
YieldYs	18.834	9.93	1698.100	9.928



P1=0.30 of Max. Y-axis [y=6.61,x=6.29] ;
P2=0.45 of Max. Y-axis [y=9.92,x=7.22] ;M=3.55

Slika 58.

Ukupni rezultati testa prikazani su Tablicom 14.

Vidljivo je da GFRP šipke imaju bolje prianjanje sa betonom tj. podnose veća naprezanja te imaju veće deformacije nego testni uzorci čeličnih šipki u betonu. Najveće naprezanje je izdržala GFRP šipka promjera 7 mm u iznosu od 545.67 MPa nakon čega je uslijedio lom šipke. Uzorak sa čeličnom šipkom promjera 9 mm ima jako nizak iznos opterećenja i naprezanja (91.91 MPa) jer je glatke površine. Čelična šipka promjera 12 mm ima nabore stoga podnosi veće opterećenje i naprezanje.

GFRP		Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
7 mm	Vrhunac	21,001	16,33	545.67	16,334
	Lom	15,407	19,37	400.33	19,367
	Popuštanje	21,001	16,33	545.67	16,334
GFRP		Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
10 mm	Vrhunac	23,492	12,77	299.10	12,766
	Lom	23,492	13,05	299.10	13,052
	Popuštanje	23,492	12,77	299.10	12,766

Čelik		Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
9 mm	Vrhunac	6,051	4,24	95.11	4,238
	Lom	5,848	4,24	91.91	4,238
	Popuštanje	0,030	0,02	0.48	0,021
Čelik		Opterećenje (kN)	Produljenje (mm)	Naprezanje (MPa)	Deformacija (%)
12 mm	Vrhunac	22,170	11,28	196.02	11,277
	Lom	21,967	11,51	194.22	11,509
	Popuštanje	18,834	9,93	166.53	9,928

Tablica 13. Prikaz rezultata testa

IZRAČUN NAPREZANJA:

$$\sigma = \frac{Pmax}{\pi \times D \times L}$$

L = duljina
D = dijametar

<u>GFRP</u>

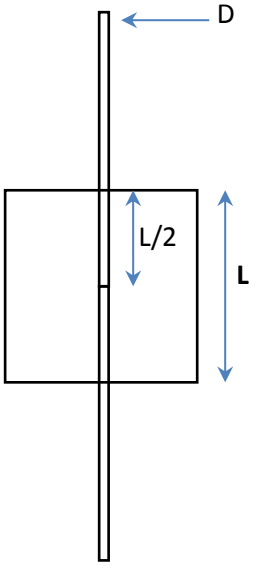
7mm –> $\sigma = \frac{21{,}001\ kN}{\pi * 7mm * 75mm} = 0{,}01273\ kN/mm^2$

10mm -> $\sigma = \frac{23{,}492\ kN}{\pi * 10mm * 75mm} = 0{,}00997\ kN/mm^2$

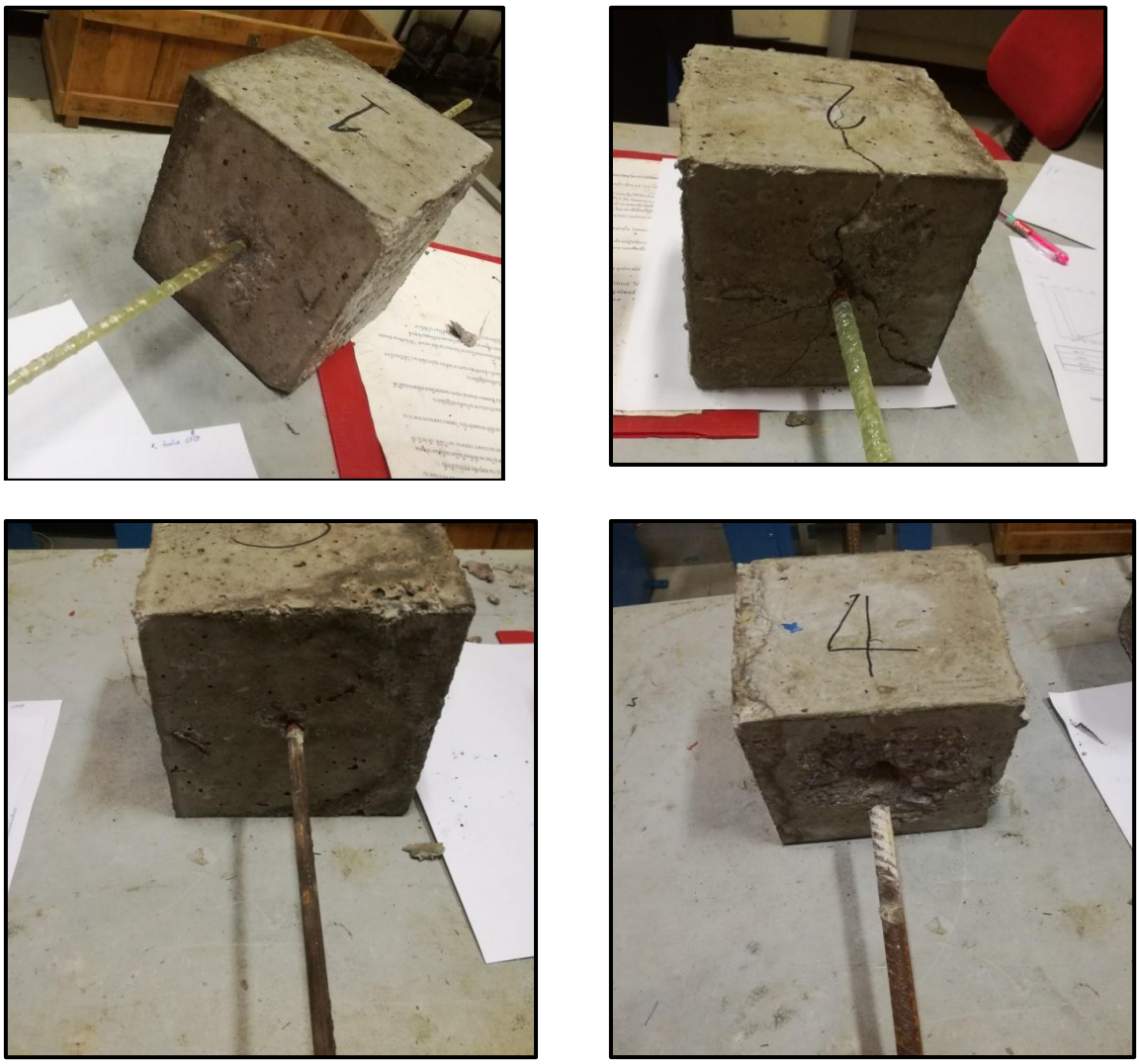
<u>ČELIK</u>

9mm -> $\sigma = \frac{6{,}051\ kN}{\pi * 9mm * 75mm} = 0{,}002853\ kN/mm^2$

12mm -> $\sigma = \frac{22{,}170\ kN}{\pi * 12mm * 75mm} = 0{,}007841\ kN/mm^2$



Slika 59. Geometrijski prikaz testnog uzorka



Slika 60. Prikaz testnih uzoraka nakon provedenog testa.

3. ISPITIVANJA PROVEDENA NA BETONSKIM GREDAMA

3.1 ISPITIVANJE SAVOJNE ČVRSTOĆE BETONSKE GREDE ARMIRANE GFRP ŠIPKAMA

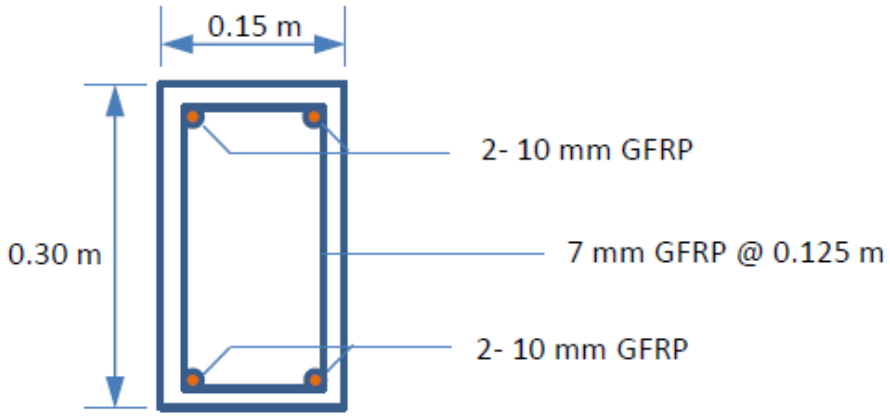
Savojna čvrstoća je neizravno mjerenje vlačne čvrstoće betona. To je mjera maksimalnog naprezanja na vlačnoj strani betonske grede ili ploče na mjestu popuštanja u savijanju [10].

3.1.1. O TESTU

Svojstva savijanja dobivena ovim testom služe za kontrolu kvalitete proizvoda od betona armiranog GFRP-om, utvrđivanje sukladnosti s propisanim specifikacijama, istraživanje i razvoj te generiranje podataka za upotrebu u dizajnu proizvoda.
Ova metoda ispitivanja pokriva određivanje najveće savojne čvrstoće u savijanju i granice tečenja armiranog betona GFRP-om upotrebom jednostavne grede od 2 m koristeći test savijanja u tri točke [10].

3.1.2 PRIPREMA UZORKA

Izradi se betonska greda dimenzija 0.30 x 0.15 x 2.0 m, prikazanih na Slici 61., armirana GFRP šipkama promjera 10 mm također prikazanih na Slici 61.
Nakon miješanja betona, puni se kalup za gredu tako da količina betona koja se dodaje u središnjem dijelu je dvostruko veća od količine rubnog dijela. Kalup je punjen u sredini do vrha i na krajnjim dijelovima do otprilike 90% visine kalupa. Zbijanje je izvedeno pervibratorom. Cijeli postupak pripreme betonske grede je popraćen Slikama 62.-66.
Uzorci su njegovani 7 dana nakon čega je proveden test.



Slika 61. Dimenzije ispitne grede



Slika 62. GFRP armatura



Slika 63. Kalup grede



Slika 64. Punjenje



Slika 65. Vibriranje



Slika 66. Zaglađivanje površine betona

Tlačna čvrstoća betonskih kocki

Prije ispitivanja savojne čvrstoće betonske grede, ispitane su betonske kocke na tlak. Tlačnom čvrstoćom betonske kocke su potvrđene/iščitane sve karakteristike betona koje su nam bitne. Ovim testom je utvrđeno jeli betoniranje izvedeno pravilno ili ne. Korištena su dva uzorka betonskih kocki (uzorak 1. i uzorak 2.) prikazani na Slici 67., dimenzija navedenih u Tablici 14.

POSTUPAK : 1.) zapisane su dimenzije uzoraka

2.) pripremljen je stroj za ispitivanje – preša

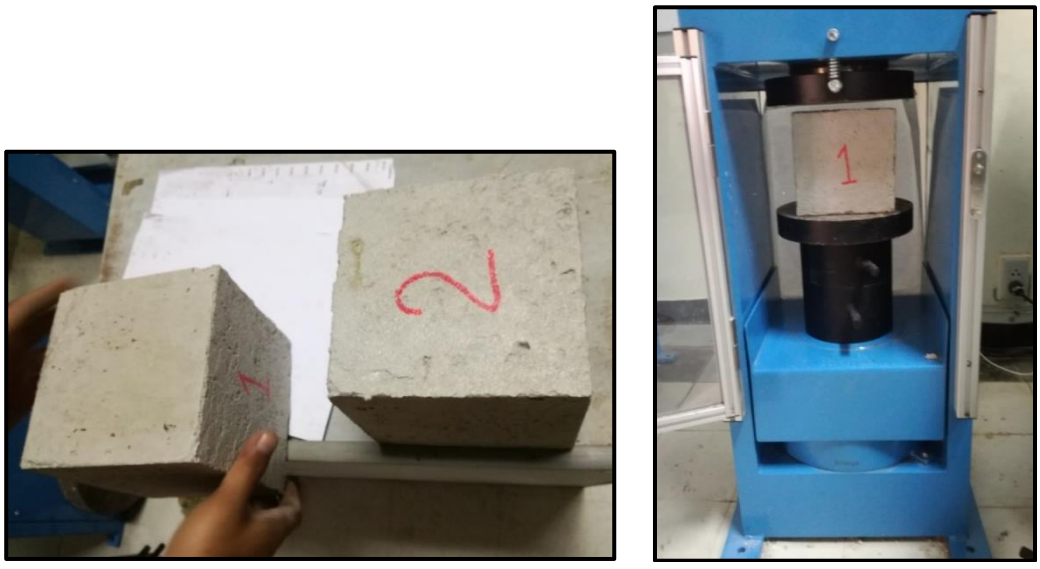
3.) Namješten je uzorak u prešu

4.) Nanošenje opterećenja

Rezultati tlačnog ispitivanja prikazani su u Tablici 14.

UZORCI	ŠIRINA (cm)	DULJINA (cm)	VISINA (cm)	TEŽINA (kg)	GUSTOĆA (kg/m^3)	SILA (kN)	NAPREZANJE σ (kN/m^2)
Uzorak 1.	15,08	15,18	15,21	8,230	2363,728	699,64	30563,3896
Uzorak 2.	15,06	15,30	15,10	8,218	2361,961	753,90	32718,7980

Tablica 14. Dimenzije ispitnih betonskih kocki i rezultati ispitivanja



Slika 67. Prikaz testnih uzoraka i preše

3.1.3 UREĐAJ ZA ISPITIVANJE SAVOJNE ČVRSTOĆE

Opterećenje se nanosi u tri točke tako da se ne smije pojaviti ekscentričnost ili zakretni moment. Potporni valjci se moraju okretati slobodno oko svojih osi i ne smiju se postavljati u utore ili imati neka druga ograničenja slobodne rotacije.
Valjci su napravljeni od željeza i imaju okrugli poprečni presjek promjera 30mm. Duži su od širine ispitnog uzorka oko 20 cm. Glatke su i čiste površine koja im omogućava slobodno okretanje. Duljina raspona oslonaca (donjih valjaka) mora biti 450 mm. Uređaj mora mjeriti opterećenja na točnosti od 10N. [11]

3.1.4 POSTUPAK

Postavljen je ispitni uzorak na stroj pazeći da je točno centriran te da je uzdužna os uzorka pod pravim kutom na uzdužnu os valjaka. Također je postavljen uređaj za mjerenje savijanja i započeto je nanošenje opterećenja. Nakon prvog dosezanja vrhunca opterećenja markerom su označene krivulje pukotina na betonu. Nastavljeno je nanošenje opterećenja sve dok se greda ne slomi. Prikaz na slikama 68.



Slike 68. Provođenje testa

3.1.5 REZULTATI

Greda je počela pucati pri opterećenju od 9806.65 N a lom je doživjela pri opterećenju od 50386.57 N. Deformacija od savijanja je iznosila -2,85 mm.

4. ZAKLJUČAK

GFRP se koristi sve više kao alternativna zamjena za čelik u ojačavanju betonskih građevina. Uz svoju nehrđajuću prirodu, GFRP odlikuje mnogim svojstvima koja su bolja u usporedbi sa čelikom što je ovim radom dokazano za vlačna i savojna svojstva, svojstva prijanjanja i savojne krutosti.

Provođenjem vlačnog ispitivanja dokazano je da GFRP podnosi skoro dvostruko veće naprezanje (805.64 MPa) nego čelik (480 MPa). Također je pokazano da promjena temperature ne utječe znatno na GFRP materijal te su tlačna naprezanja koje materijal može podnijeti približno jednaka. Prosječno naprezanje pri temperaturi od 50°C iznosi 752.69 MPa, za temperaturu od 100°C iznosi 687.39 MPa, za temperaturu od 150°C iznosi 648.7 MPa te za temperaturu od 200°C iznosi 673.9 MPa.

Također u testu prijanjanja sa betonom GFRP je pokazao bolje rezultate od čelika tj. podnosi veća naprezanja. Najveće naprezanje je izdržala GFRP šipka promjera 7 mm u iznosu od 545.67 MPa nakon čega je uslijedio lom šipke. Uzorak sa čeličnom šipkom promjera 9 mm ima jako nizak iznos opterećenja i naprezanja (91.91 MPa) jer je glatke površine. Čelična šipka promjera 12 mm ima nabore stoga podnosi veće opterećenje i naprezanje.

Izvođenjem testa na savijanje uočeno je i lošije svojstvo GFRP-a u odnosu na čelik; manja elastičnost tj veća savojna krutost GFRP-a (otpornost na deformaciju savijanja) što je pokazano veličinom kuta savijanja. Čelične šipke su se savile pod većim kutom (23°57`32``) nego GFRP šipke (8°5`29``) te nisu doživjele lom. Naprezanje koje podnosi čelik prilikom savijanja iznosi 0.126 MPa što je više od tri puta veće od naprezanja koje podnosi GFRP- 0.038 MPa. Za GFRP šipke koje su čuvane pri različitim temperaturama jedan dan, primijećeno je da nema velike razlike u naprezanju za šipke manjih promjera (7 mm), dok kod šipki sa većim promjerima (10 mm) razlika u naprezanju je znatno veća tj povećanjem temperature naprezanje se smanjuje: 100°C -> 21.01 MPa, 150°C -> 6.43 MPa.

Ispitivanjem savojne čvrstoće GFRP-om armirane betonske grede nisu uspoređivani rezultati sa čelično armiranom gredom nego je zabilježeno koliko savijanje i opterećenje može podnijeti greda prije loma. Greda je počela pucati pri sili od 9806.65 N, dok je potpuni lom doživjela pri opterećenju od 50386.57 N.
Savojna deformacija je -2,8540 mm.

Navedeni rezultati su očekivani. GFRP se može koristiti umjesto čelika u mnogim područjima u građevinarstvu ovisno o zahtjevima buduće građevine te sukladno sa svojstvima GFRP-a. GFRP povoljno utječe na životni vijek građevine, ekonomski je prihvatljiviji te omogućuje lakši transport i postavljanje.

5. LITERATURA

[1] Stromberg architectural products- brochure (https://www.strombergarchitectural.com/files/GFRP_brochure.pdf)

[2] Vojnović, V.: *Ispitivanje pravokutnih šupljih profila od stakloplastike*, 2015., Završni rad, Fakultet građevine, arhitekture i geodezije, Split

[3] ASLAN FRP- Owens Corning- brochure (http://aslanfrp.com/resources/Aslan-100-GFRP-Rebar-brochure.pdf)

[4] Ashour, A.F.: *Flexural and shear capacities pf concrete beams reinforced with GFRP bars*, 2005., School of engineering, Design and Technology, University of Bradford, United Kingdom

[5] Mphamed S. Issa, Ibrahim M. Metwally, Sherif M. Elzeiny : *Influence of fibers on flexural behavior and ducility of concrete beams reinforced with GFRP rebars*, 2015., Znanstveni rad, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Benha University, Cairo, Egypt.

[6] http://kompozitna-armatura.com/data/uploads/doki/smernice-za-koriscenje-kompozitne-armature.pdf

[7] https://hr.wikipedia.org/wiki/Vla%C4%8Dno_ispitivanje

[8] Nemčić, I.: *Završni rad*, 2015., Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje (http://repozitorij.fsb.hr/2916/1/18_09_2014_Zavrsni_rad_-_Ivan_Nemcic.pdf)

[9] http://civilblog.org/2015/06/22/how-to-determine-of-bond-strength-between-steel-concrete-pull-out-test/

[10] https://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-c1609-fiber-reinforced-concrete-flexural-test-equipment/

[11] Jain L. K., Gettu R. , Balasubramaniam K., Bharatkumar B. H.: *Test Method for the Flexural Strength and Toughness Parameters of Fibre Reinforced Concrete.* http://www.indianconcreteinstitute.org/newsletters/ICI%20TC%20001%2003%20FRC%20Flexural%20Toughness%20Test%20FINAL%20(7-4-14).pdf