

ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
Macedonia

CM - 14

mase@gf.ukim.edu.mk
http://mase.gf.ukim.edu.mk

Ana TROMBEVA-GAVRILOSKA¹, Meri CVETKOVSKA², Viktor GAVRILOSKI³,
Marijna LAZAREVSKA⁴, Todorka SAMARDZIOSKA⁵

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FRP MATERIALS

SUMMARY

Increasing interest about composite materials and their use in the field of civil engineering offer possibility for development of new innovative materials, which could be used as constructive elements. The concept of the composite materials itself, offers possibility of effective exploitation of mechanical characteristics of the separate components till their limit. Mechanical characteristics of each composite material depend on its components. In this paper experiments of different series composite materials, which are different according to used reinforcement and matrix, are presented. Mechanical characteristics of different types of composite materials are discussed in dependence on their components.

Keywords: composite materials, mechanical characteristics, experiments

Ана ТРОМБЕВА-ГАВРИЛОСКА¹, Мери ЦВЕТКОВСКА², Виктор ГАВРИЛОСКИ³,
Маријана ЛАЗАРЕВСКА⁴, Тодорка САМАРЦИОСКА⁵

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА FRP МАТЕРИЈАЛИ

РЕЗИМЕ

Зголемениот интерес за композитните материјали и нивната примена во градежништвото нуди можност за развој на нови иновативни материјали, за примена како конструктивни елементи. Концептот за композитен материјал, сам по себе, нуди можност за искористување на механичките карактеристики на поделните компоненти. Механичките карактеристики на секој композитен материјал зависат од неговите составни компоненти. Во овој труд презентирани се експериментални испитувања на различни серии композитни материјали, кои се разликуваат според типот на применетата арматура и матрица. Механичките карактеристики на различните типови композитни материјали се анализирани во зависност од составните компоненти.

Клучни зборови: композитни материјали, механички карактеристики, експерименти

¹ Assoc. Prof. PhD, Faculty of Architecture, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, agavriloska@arh.ukim.edu.mk

² Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, cvetkovska@gf.ukim.edu.mk

³ Prof. PhD, Faculty of Mechanical Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, viktor.gavriloski@mf.ukim.edu.mk

⁴ Assis. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, marijana@gf.ukim.edu.mk

⁵ Assoc. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, samardzioska@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

На макроскопско ниво композитен материјал е комбинација од два или повеќе материјали, произведени како мешавина од две главни компоненти како влакна и матрица. Истотака, FRP композитен материјал може да се дефинира како полимерна матрица зајакната со влакна кои обезбедуваат армирање во еден или повеќе правци. Кај композитните материјали влакната ја обезбедуваат јакоста и крутоста, додека матрицата делува како врзно средство кое обезбедува јакост на притисок, отпорност од удар и корозија.

FRP композитните материјали имаат предност во однос на конвенционалните материјали, како: повисока јакост и пододбра крутост во однос на нивната тежина. Истотака, модуларијацијата може да придонесе инженерите да проектираат поефикасни и поисплатливи конструктивни материјали и системи [4]. Проектирајќи го композитниот материјал, инженерот може да ги искористи предностите од двата составни материјали со цел да ги постигне проектираните карактеристики на крајниот производ.

Нормалната јакост и крутост на композитните материјали нагласува Barbero [3] зависат од изборот на типот на матрицата, додека јакоста на притисок и затегнување нормално на влакната се функции од јакоста на матрицата, од контактната јакост помеѓу влакната и матрицата и од дефектите присутни во матрицата, како шуплини и микропукнатини.

Во многу трудови кои се однесуваат на композитните материјали [2, 3, 5] се презентирани нивните одлични механички карактеристики. Во истите се нагласува дека механичките карактеристики на композитните материјали зависат од изборот на матрицата и армируните влакна. И покрај фактот дека механичките карактеристики на композитните материјали може да бидат определени од претходно стекнатото знаење, доколку се развива нов композитен материјал мора да се изведе експериментално испитување за истиот со цел да се добијат неговите точни механички карактеристики. Експериментално добиените резултати може да дадат јасна слика за механичките карактеристики како последица на промената на компонентите или промена на експлоатационите услови, помагајќи му на проектантот аналитички да го определи однесувањето на една комплексна структура.

Во овој труд презентирани се експериментални испитувања на композитни материјали, како дел од истражување поврзано со FRP сендвич плочи за примена во градежништвото. Во трудот се презентирани експериментални испитувања за определување на јакоста на затегнување на три видови композитни материјали, кои се разликуваат според типот на матрицата и армируните влакна. Со цел да се анализира влијанието на различните компоненти врз крајните механички карактеристики на композитните материјали од експериментално добиените σ - ϵ дијаграми за поделните материјали беа определени јакоста на затегнување и модулот на еластичност. Експериментално добиените резултати се анализирани и дискутирани во зависност од составните компоненти на композитните материјали.

2. ПРИПРЕМА НА ЕПРУВЕТИТЕ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИСПИТУВАЊЕ

2.1. Составни компоненти на композитните материјали

Предмет на експерименталните испитувања презентирани во овој труд е анализа на механичките карактеристики на композити зајакнати со стаклени влакна. За целите на експерименталното истражување беа изработени три различни серии на ламинати. Сериите ламинати се разликуваа според видот на армиатурата, видот на матрицата и слоевите за армирање. Ламинатите беа изработени применувајќи два вида матрица и два вида стаклени влакна за армирање распределени во два и три слоја. За производство на композитните ламинати се применети следните материјали:

- Матрица
 - Полиестерска смола (P), ортофтална киселина, тип DUGAPOL H230, и
 - Двокомпонентна епоксидна (E) смола, тип ADINGEPOKS-1;

- Арматурни влакна
 - Matta (M) со густина $0,315 \text{ kg/m}^2$, и
 - Rowing (R) со густина $0,535 \text{ kg/m}^2$.

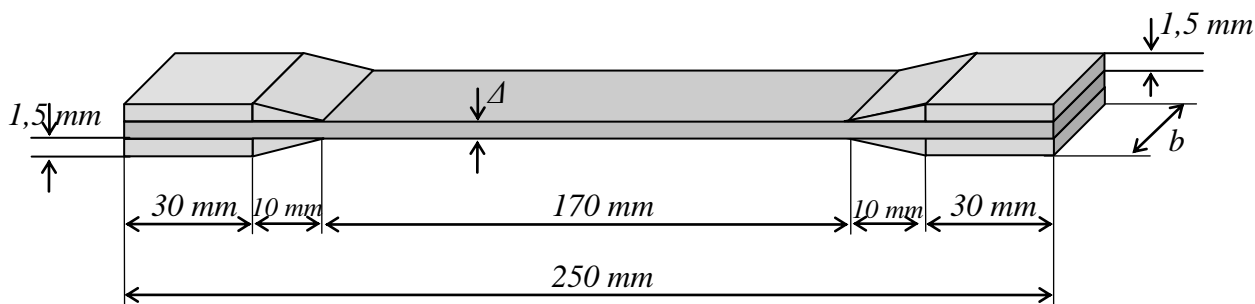
Означувањето на испитуваните епрувети беше извршено според нивните составни компоненти: првата ознака се однесува на видот на матрицата (P или E), втората ознака го означува бројот на арматурни слоеви, третата ознака се однесува на видот на употребената арматура (M или R). Типовите на експериментално испитуваните композитни материјали и нивните поделни компоненти се сумирани во Табела 1.

Епрувета	Матрица	Слоеве на армирање	Вид на арматура
P3M	Полиестерска смола	3	Matta
P2R	Полиестерска смола	2	Rowing
E2R	Епоксидна смола	2	Rowing

Табела 1. Составни компоненти на испитувани епрувети

2.2. Геометрија на епруветите

Епруветите за испитување беа исечени од изработениот ламинат. Нивната геометрија беше дефинира согласно американскиот стандард ASTM D 3039 [1], слика 1. Сите испитувани епрувети беа со константен правоаголен пресек по целата должина и задебелувања на двата краја, изработени од ламинат G11, епоксидно матричен материјал армиран со E-стаклена ткаенина под висока температура. Со цел да избегнат контактни напрегања во врската помеѓу епруветите и задебелувањата, истата беше изведена со аралдит, епокси и полиуретански базиран адхезив со високи истегнувачки карактеристики, кој беше рамномерно распределен на самата контактна површина.



Слика 1. Геометрија на FRP епрувета

2.3. Експериментални испитувања

Постапката за испитување на FRP епруветите беше дефинира согласно американскиот стандард ASTM D 3039 [1]. Пред да се започне со експерименталните испитувања за секоја епрувета поделно беше внимателно испитана финалната обработка. Димензиите на секоја епрувета поделно пред испитувањето беа измерени на три места и беше определена соодветната површина на епруветите со цел да се определи средната површина

Експерименталните испитувања беа изведени на уред за испитување тип SCHENCK HYDROPLUS-PSB, со капацитет од 250 kN, во лабораторијата за испитување на материјали во склопот на фабриката „11 ОКТОМВРИ ЕУРОКОМПОЗИТ“-Прилеп. За потребите на експерименталното истражување мерењата беа изведени во подрачје до 25 kN.

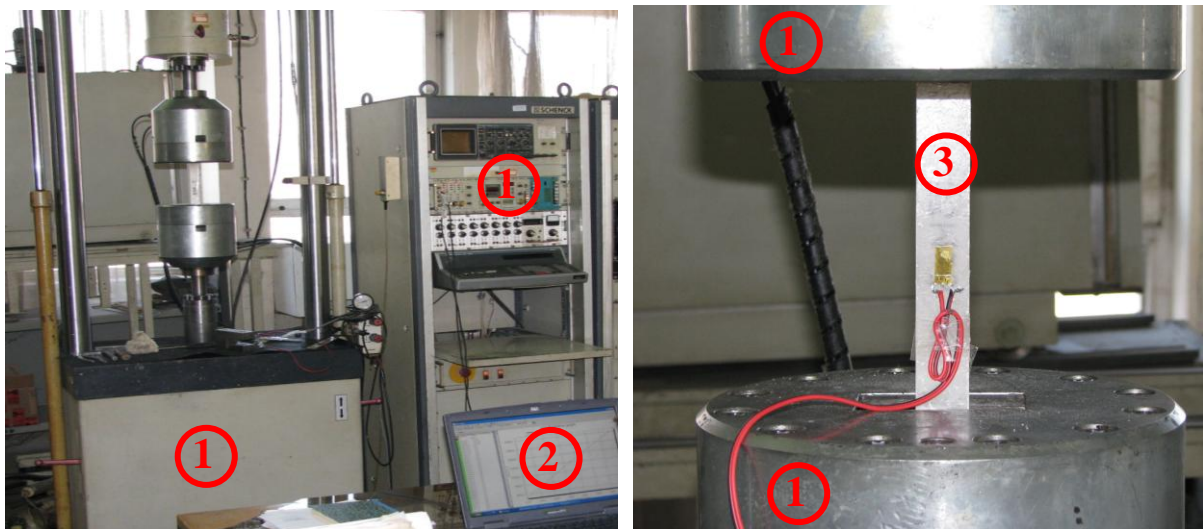
Епруветите беа поставувани во хидраулични фаќалки од уредот за испитување, водејќи сметка нивната оска да се поклопува со правецот на нанесувањето на силата на затегнување. Со цел да се определи соодветен притисок на хидрауличните фаќалки беа испитани пробни епрувети.

Силата на затегнување беше нанесувана постепено, со брзина од 1 mm/min, со цел да се добие константна дилатација во делот на мерната лента.

Силата на затегнување беше добиена преку давачот за сила вграден во уредот за испитување, чија конструктивна изведба е со тензометарски ленти поврзани во целосен мост. Поместувањето на главата од уредот беше добиено преку давачот за поместување вграден во уредот за испитување, чија конструктивна изведба е од индуктивен тип. Дилатацијата беше определена со примена на мерни ленти поставени во надолжен правец. Со цел да се намалат ефектите од загревање кои се должат на ниската кондуктивност на испитуваните композитни материјали беа приемени тензометарски ленти со електричен отпор 350 Ω , тип HBM 10/350LY11. Површинската припрема и изборот на лепакот за поставување на мерните ленти беа направени во консултации со производителот на мерните ленти. Компензацијата на температурата беше изведена со поставување на пасивна лента поставена на композитна епрувета поврзана со полу-мост. Користејќи го факторот К на тензометарската лента ($K=2,08$) дилатацијата се добиваше и запишуваше во [$\mu\text{m}/\text{m}$].

За аквизиција на мерните големини беше користена аквизициона единица HBM Spider 8 и софтвер за аквизиција HBM CATMAN 4.0. Излезниот сигнал од давачите преку A/D и D/A конвертори беше обработуван како излезен аналоген сигнал од уредот за испитување ($\pm 10\text{V}$), кој беше доведуван во аквизиционата единица со семплирање од 50 Hz, а со линеарно скалирање согласно карактеристиките на давачите, со што се добиваа износите на силата во [N] и поместувањето во [mm].

Експерименталните испитувања за определување на јакоста на затегнување на композитните епрувети беа изведени на собна температура од 22° C, слика 2.



Слика 2. Уред и опрема користени при испитување на FRP епрувети при аксијално напрегање на затегнување: 1) уред за испитување; 2) компјутер; 3) епрувета

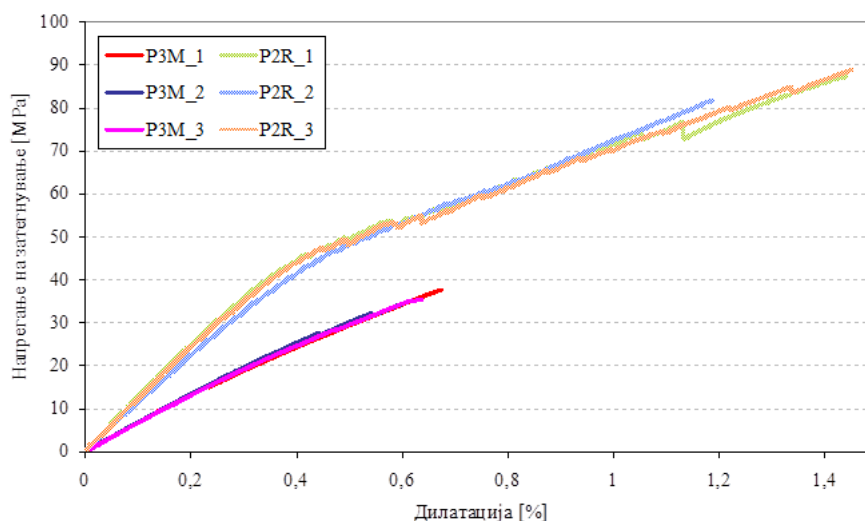
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Испитувањето беше изведено на три различни серии епрувети, при што секоја беше испитувана на собна и зголемена температура. За целите на експериментот беа испитани по три примероци од секоја поделна серија. Геометриските карактеристики и добиените резултати од експерименталните испитувања на собна температура за секоја FRP епрувета, се прикажани во табела 2.

Епрувета	b [mm]	Δ [mm]	Јакост на затегнување [MPa]	Модул на еластичност [MPa]	Просечна јакост на затегнување [MPa]	Просечен почетен модул на еластичност [MPa]
P3M_1	25	3	37,71	6600	35,96	6583,3
P3M_2	24,5	2,8	34,68	6570		
P3M_3	25	2,9	35,48	6580		
P2R_1	25	1,5	87,33	12200	86,02	11445
P2R_2	25,1	1,6	81,77	10850		
P2R_3	25,2	1,6	88,96	11285		
E2R_1	25,1	1,4	91,66	12160	92,01	12170
E2R_2	25,2	1,3	85,41	12150		
E2R_3	25,2	1,3	98,96	12200		

Табела 2. Геометриски и механички карактеристики на FRP епрувети при аксијално напрегање на затегнување на собна и на зголемена температура

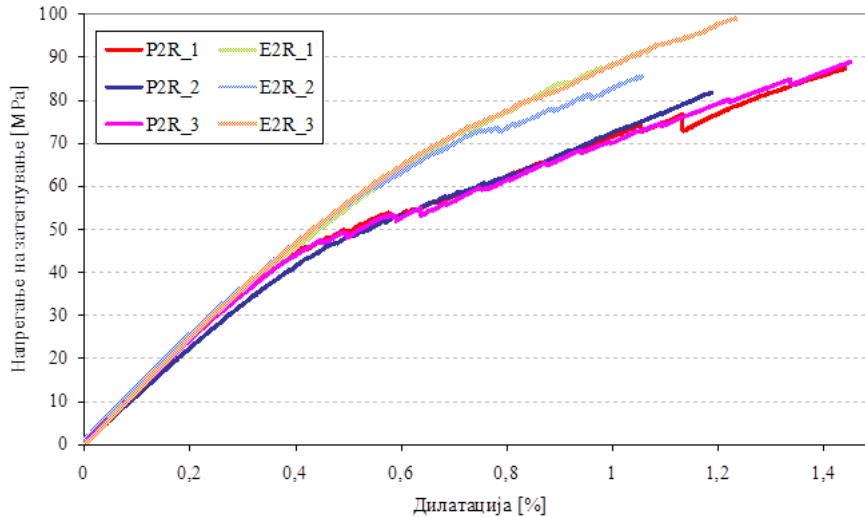
Со цел да оцени влијанието на компонентите врз механичките карактеристики на композитните материјали беше изведена споредбена анализа на експериментално определените резултати. Влијанието на применетата арматура беше анализирано споредувајќи ги резултатите добиени за сериите епрувети P3M и P2R, слика 3.



Слика 3. σ - ϵ дијаграми за серии епрувети P3M и P2R при аксијално напрегање на затегнување

Анализата на σ - ϵ дијаграмите, слика 3 и резултатите прикажани во табела 2 покажуваат дека композитните материјали армирани со ткаенина се карактеризираат со приближно два и пол пати поголема јакост на затегнување, двојно поголем модул на еластичност и максимална дилатација во споредба со композитните материјали армирани со произволно ориентиранни влакна.

Со цел да се согледа влијанието на матрицата врз крајните карактеристики на материјалот беше спроведена анализа на експериментално определените резултати за сериите епрувети P2R и E2R, слика 4.



Слика 4. σ - ϵ дијаграми за серии епрувети P2R и E2R при аксијално напрегање на затегнување

Од σ - ϵ дијаграмите прикажани на слика 4 и резултатите прикажани во табела 2 може да се заклучи дека јакоста на затегнување и модулот на еластичност се незначително поголеми за композитните материјали кај кои матрицата е од епоксидна смола. Од слика 4 може да се види дека композитните материјали кај кои матрицата е од полиестерска смола имаат поизразена преодна граница на билинеарниот σ - ϵ дијаграм во споредба со композитните материјали кај кои матрицата е од епоксидна матрица.

4. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд презентирани се резултати од експериментални испитувања на три серии композитни материјали при аксијално напрегање на затегнување на собна температура. Од добиените σ - ϵ дијаграми определени се основните механички карактеристики, јакост на затегнување и модул на еластичност, со цел да се изврши анализа на влијанието на различните компоненти врз крајните механички карактеристики на композитниот материјал.

Експериментално определените резултати покажуваат дека изборот на матрицата и арматурните влакна имаат големо влијание врз механичките карактеристики на композитните материјали. Композитните материјали армирани со ткаенина се карактеризираат со поголема јакост на затегнување како резултат на поголемата носивост во правец на силата на затегнување. Од анализата може да се заклучи дека максималната јакост на композитните материјали зависи од носивоста на арматурата во целина. Имено, појавата на микропрнатини не влијае врз максималната носивост. Дилатациите на композитните материјали пред појава на првите микропрнатини зависат од жилавоста и карактеристиките на матрицата. Може да се заклучи дека видот на употребената матрица влијае на деформациите на композитниот материјал, но не и на неговите крајни механички карактеристики.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ASTM D3039/D 3039M-08: Standard Test Method for Tensile Properties of polymer Matrix Composite Materials (ASTM International, USA 2008)
- [2] A. Russo and B. Zuccarello: Composite Structures, Vol. 81 (2007), p. 575
- [3] E. J. Barbero: Introduction to Composite Materials Design (Taylor & Francis, USA 1999)
- [4] F. Seible and V. Karbhari: Journal of Structural Engineering ASCE, Vol.66, No. 8 (1996), p. 44
- [5] K. K. Chawla: Composite Materials (Springer-Verlag, USA 1998)