

САВЕТОВАЊЕ
Нови материјали и могућности њихове примене



Друштво хемичара, технолога
и металурга Пожаревац



Савез друштава инжењера
и техничара града Пожареваца

Организатори



Извршни организатор
Друштво ХТМ Пожаревац



СДИТ Пожаревац



ВТШ Пожаревац

Генерални
покровитељ



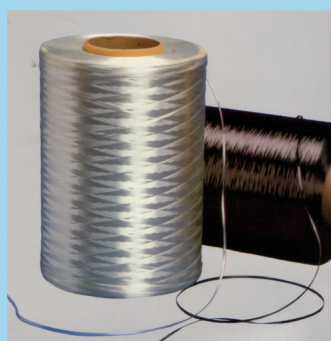
Град Пожаревац

НОВИ МАТЕРИЈАЛИ И МОГУЋНОСТИ ЊИХОВЕ ПРИМЕНЕ

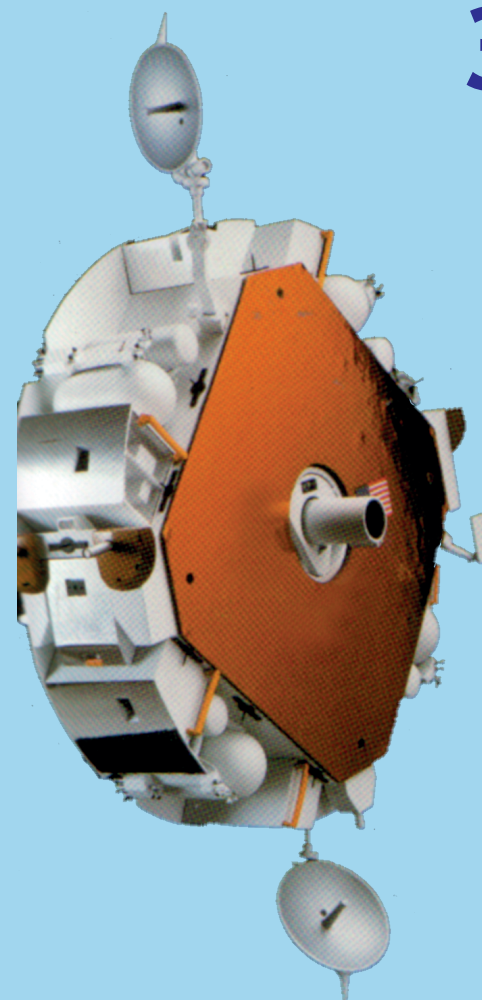
саветовање

НОВИ МАТЕРИЈАЛИ
И МОГУЋНОСТИ ЊИХОВЕ ПРИМЕНЕ

ЗБОРНИК РАДОВА



ISBN 978-86-911159-8-2



Пожаревац
2019.

САВЕТОВАЊЕ

НОВИ МАТЕРИЈАЛИ И МОГУЋНОСТИ
ЊИХОВЕ ПРИМЕНЕ

ЗБОРНИК РАДОВА

Пожаревац, 19. новембар 2019. године

Саветовање: Нови материјали и могућности њихове примене

Зборник радова

Издавач

Друштво хемичара, технолога и металурга Пожаревац,
Пожаревац, Вељка Дугошевића 14

За издавача

Мирољуб Трифуновић, дипл. инж., председник Друштва-ХТМ

Уредник

Мирољуб Трифуновић, дипл. инж.

Област

Савремени материјали

Табеле, слике и формуле: Аутори

Припрема за штампу:

Мирољуб Трифуновић

Штампа

’’Ситографрм’’ , Пожаревац

Тираж: 100 примерака

ISBN 978-86-911159-8-2

Пожаревац, 2019.

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР	5
Стеван МАКСИМОВИЋ ¹ , Зоран ВАСИЋ ² , Катарина МАКСИМОВИЋ ³ , Ивана ВАСОВИЋ-МАКСИМОВИЋ ⁴ , Мирко МАКСИМОВИЋ ⁵ ^(1, 2) ВТИ Београд, ⁽³⁾ Градска управа града Београда, ⁽⁴⁾ Лола институт, Београд, ⁽⁵⁾ Водовод и канализација Београд	
CFD АНАЛИЗА ОПТЕРЕЂЕЊА И АНАЛИЗА ЧВРСТОЋЕ РЕПНИХ ПОВРШИНА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ОД КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА	11
CFD LOAD ANALYSIS AND STRENGTH ANALYSIS OF TAIL CONSTRUCTION OF TACTICAL UNMANNED AERIAL VEHICLE MADE FROM COMPOSITE MATERIALS	20
Драгица ЈЕВТИЋ ¹ , Димитрије ЗАКИЋ ² ^(1, 2) Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Београд	
МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ВИДНОГ - НАТУР БЕТОНА У ФУНКЦИЈИ ЊЕГОВИХ СВОЈСТАВА	21
POSSIBLE APPLICATION OF EXPOSED CONCRETE IN RELATION TO ITS PROPERTIES	29
Vanja MALIŠIĆ ¹ , Aleksandra JELIĆ ² , Nataša TOMIĆ ³ , Aleksandar MARINKOVIĆ ⁴ , Slaviša PUTIĆ ⁵ ^(1, 2, 4, 5) Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd ⁽³⁾ Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd	
ТЕРМИЧКА I МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА НА ВАЗИ АКРИЛАТА	30
Abstract	37
Александра ЈЕЛИЋ ¹ , Вања МАЛИШИЋ ¹ , Марина СТАМЕНОВИЋ ² , Славиша ПУТИЋ ¹ ¹ Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду ² Висока школа струковних студија Београдска политехника, Београд, Србија	
НУМЕРИЧКО ОДРЕЂИВАЊЕ НАПОНА И ДЕФОРМАЦИЈЕ У ТРЕНУТКУ ПОЧЕТКА ЛОМА ПРВОГ СЛОЈА У УГЉЕНИК-ЕПОКСИ КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИЈАЛУ	38
Abstract	44
Мирко МАКСИМОВИЋ ¹ , Ивана ВАСОВИЋ МАКСИМОВИЋ ² Катарина МАКСИМОВИЋ ³ ⁽¹⁾ Водовод и канализација Београд, ⁽²⁾ Лола институт, Београд, ⁽³⁾ Градска управа града Београда,	
АНАЛИЗА ЧВРСТОЋЕ КОМПОЗИТНЕ ЦЕВИ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ И РЕЗУЛТАТИ НУМЕРИЧКИХ СИМУЛАЦИЈА	45
STRENGTH ANALYSIS OF COMPOSITE TUBES: EXPERIMENTAL DATA AND RESULTS OF NUMERICAL SIMULATIONS	55
Marina KNEŽEVIĆ ¹ , Ana KRAMAR ² , T. NIKOLIĆ ³ , M. KORICA ⁴ , Mirjana KOSTIĆ ⁵ ^(1, 2, 4, 5) Tehnološko-metalurški fakultet, Katedra za tekstilno inženjerstvo, Univerzitet u Beogradu ⁽³⁾ Visoka tehnološko umetnička strukovna škola Leskovac	
БИОЛОШКИ-АКТИВНА ВЛАКНА, НЈИHOVA ПРИМЕНА У МЕДИЦИНИ	56
Abstract	60

Јелена ДРОБАЦ¹, Весна АЛИВОЈВОДИЋ², Предраг МАКСИЋ³, Марина СТАМЕНОВИЋ⁴
Славиша ПУТИЋ⁵

(1, 2, 3, 4) Београдска политехника, Београд

(5) Технолошко-металуршки факултет, Београд

ДИЗАЈН АМБАЛАЖЕ: САВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ

ЗА САВРЕМЕНЕ ИЗАЗОВЕ61

Abstract65

Predrag MAKSIC¹, Vesna ALIVOJVODIC², Jelena DROBAC³, Marina STAMENOVIC⁴
Slaviša PUTIĆ⁵

(1, 2, 3, 4) Beogradska politehnika, Beograd

(5) Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

РАМЕТНИ I МАТЕРИЈАЛИ ВИСОКИХ PERFORMANSI U DIZAJNU66

SMART AND HIGH PERFORMANCE MATERIALS IN DESIGN70

О организаторима саветовања71

Помогли одржавање саветовања 72

ПРЕДГОВОР

Овај зборник радова, обухвата радове по позиву, који ће бити саопштени у Пожаревцу на саветовању 28. новембра 2019. године, под називом "Нови материјали и могућности њихове примене". Саветовање о новим материјалима, организују Друштво хемичара, технолога и металурга Пожаревац и Савез друштава инжењера и техничара града Пожаревца, чији је друштво чланица. Суорганизатор овог скупа је Висока техничка школа Пожаревац.

Овим саветовањем, које је осмо по реду у последњих десет година, организатори су желели да наставе подстицање сарадње и размене мишљења истраживача разних аспеката нових материјала.

Радовима аутора који су представљени у зборнику радова, обухваћене су тематске области које се односе на теме о материјалима обрађене су превасходно са становишта постизања оптималних својстава, економичности израде и могућности њихове примене у модерним технологијама и конструкцијама.

Тако су у радовима представљени различити аспекти композитних материјала: анализа чврстоће репних површина беспилотне летилице од композитних материјала; термичка и механичка својства композитних материјала на бази акрилата; испитивање угљеник-епокси композитног материјала; анализа чврстоће и димензионисање цеви од композитног материјала. Такође, у радовима аутора, представљене су и друге групе савремених материјала: могућност примене видног - натур бетона у функцији његових својстава; паметни материјали и трендови њихове примене у дизајну нових производа; текстилни материјали и њихова примена у медицини; савремени материјали за примену у индустрији амбалаже, трендови развоја новог концепта амбалаже и примена креативне рециклаже.

Аутори радова су истакнути професори и стручњаци са Технолошко-металуршког факултета у Београду, Војно техничког института Београд, Грађевинског факултета Београд, Високе школе Политехника Београд, Лола института Београд, Водовода и канлизације Београд и Градске управе града Београда. Верујемо да ћемо бити у прилици да се упознамо са најновијим трендовима развоја и примене материјала.

Зборник радова у коме су обједињена савремена знања и искуства наших истакнутих стручњака је прикладан водич за све оне који желе да се упознају са достигнућима у области истраживања и примене нових материјала.

Овом приликом организатори захваљују свима који су помогли и омогућили реализацију саветовања, а тиме и објављивање овог зборника.

Уредник

Организациони одбор

Др Радиша Перић, председник
Мирољуб Трифуновић, секретар
Милутин Станковић
Константин Лекић
Татјана Стефановић
Др Драгиша Обрадовић
Војислав Пајић
Миодраг Радовић
Србивоје Крга
Др Новица Грујић

Програмски одбор

Проф. др Стеван Максимовић, Проф. др. Славиша Путић,
Проф. др Драгица Јевтић, Мирољуб Трифуновић, Ана Крамар,
Др Звонимир Благојевић, Милутин Станковић, Вања Малишић,
Др Ивана Васовић, Др Радиша Перић, Др Мирко Максимовић,
Др Катарина Максимовић, Марина Кнежевић, Мирјана Костић,
Проф. др Новица Грујић, Александар Маринковић, М. Корица,
Др Марина Стаменовић, Весна Аливојводић, Александра Јелић,
Јелена Дробац, Предраг Максић, Зоран Васић, Наташа Томић,
Т. Николац, Предраг Максић

Секретаријат

*Мирољуб Трифуновић, Драгана Милић,
Драгана Стојковић, Ненад Стевановић*

Организатори саветовања

СД И Т Пожаревац



**Друштво хемичара, технолога
и металурга Пожаревац**
Вељка дугошевића 14. Пожаревац



**Савез друштава инжењера и
техничара града Пожареваца**
Вељка дугошевића 14. Пожаревац

Суорганизатор



**Висока техничка школа
Пожаревац**
Немањина 2, Пожаревац

**Генерални покровитељ
Саветовања**



Град Пожаревац

40 ГОДИНА ПОСТОЈАЊА И РАДА

**Савез друштава инжењера и техничара
града Пожаревца**

1979 – 2019.

Савез друштава инжењера и техничара града Пожаревца, у години када обележава 40 година постојања и рада (23. 11. 2019), и овом приликом и на овај начин изражава захвалност свим учесницима свих досадашњих манифестација, који су својим радом и учешћем доприносили унапређењу развоја Савеза, и не само подручја Браничевског округа на коме Савез егзистира, већ и целе наше Републике.

РАДОВИ ПО ПОЗИВУ

САОПШТЕНИ НА САВЕТОВАЊУ

**НОВИ МАТЕРИЈАЛИ И МОГУЋНОСТИ
ЊИХОВЕ ПРИМЕНЕ**

Пожаревац, 28. новембар 2019. године

Стеван МАКСИМОВИЋ¹
Зоран ВАСИЋ²
Катарина МАКСИМОВИЋ³
Ивана ВАСОВИЋ-МАКСИМОВИЋ⁴
Мирко МАКСИМОВИЋ⁵

ЦФД АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА И АНАЛИЗА ЧВРСТОЋЕ РЕПНИХ ПОВРШИНА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ОД КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

РЕЗИМЕ

Пажња у раду је усмерена на ЦФД нумеричку симулацију оптерећења тактичке беспилотне летелице (ТБЛ) с једне и анализу чврстоће њених репних површина с друге стране. За прецизно одређивање оптерећења репних површина ТБЛ коришћен је софтверски пакет ФЛУЕНТ. Испитивање хоризонталног репа, оба вертикална репа и репних греда вршено је истовремено у ансамблу са трупом. Дат је кратак приказ резултата испитивања чврстоће структуре репних површина (ТБЛ) која је пројектована у ВТИ. Структура летелице је урађена доминантно од композитних материјала. Примарна пажња у раду је усмерена на експерименталну анализу статичке чврстоће репних површина код беспилотне летелице. Током испитивања мерени су напони и померања за шта су биле коришћене мерне траке и сензори за мерење померања. Испитивања су рађена до граничног и ломног оптерећења.

Кључне речи: Тактичка беспилотна летелица, ЦФД нумеричке симулације оптерећења, Конструкција репних површина, Композитни материјали, Чврстоћа.

УВОД

Предмет разматрања у раду је анализа чврстоће хоризонталног репа тактичке беспилотне летелице израђене од композитних материјала [1]. За анализе чврстоће структуре летелица се по правилу користе прорачунске и експерименталне методе [2,3]. Важан аспект у пројектовању структуре летелица представља прецизно дефинисање оптерећења. За ту сврху се по правилу користе аналитичко емпиријске методе с једне и нумеричке симулације на бази ЦФД метода [4,7] с друге стране. Управо за прорачун оптерећења беспилотне летелице коришћена је нумеричка симулација оптерећења беспилотне летелице користећи ФЛУЕНТ софтверски пакет [17].

За прорачуне чврстоће сложених конструкција летелица користе се аналитичке и нумеричке методе на бази МКЕ. У ранијим разматрањима илустрована је детаљно структурална анализа репних греда ТБЛ израђене од композитних материјала [4]. Овде ће се разматрати комплетна процедура експерименталне верификације чврстоће хоризонталног репа ТБЛ израђене од композитних материјала. Добра својства

¹Проф др Стеван Максимовић, дипл. инж. маш., Војнотехнички институт, Ратка Ресановића 1, Београд

²Мр Зоран Васић, дипл. инж. маш., Војнотехнички институт, Ратка Ресановића 1, Београд

³Др Катарина Максимовић, виши научни сарадник, Градска управа града Београда

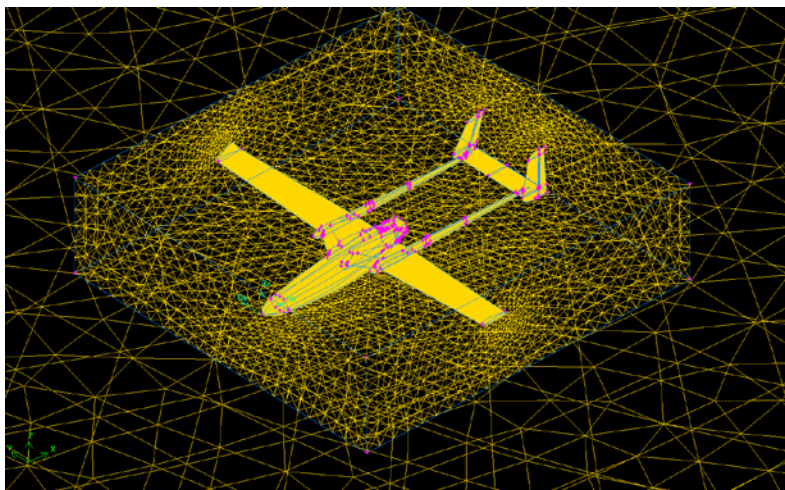
⁴Др Ивана Васовић-Максимовић, научни сарадник, Лола институт, Београд

⁵Др Мирко Максимовић, научни сарадник, Водовод и канализација, Београд

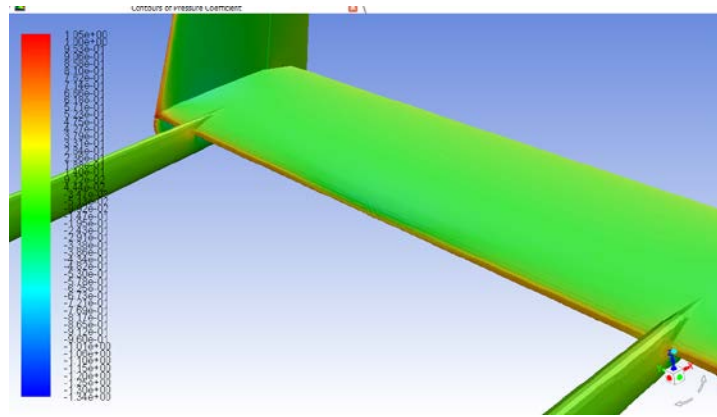
композитних материјала са аспекта чврстоће и крутости летелица су разматрана у референцама [5-10]. За прецизно дефинисање оптерећења летелица коришћене су ЦФД (Computation Fluid Dynamics) нумеричке симулације [11-16]. Експериментална верификација чврстоће структуре летелице подразумева испитивања до граничног и прорачунског ломног оптерећења. Захтевани фактори граничне и ломне чврстоће су: $j_g = 1,15$ и $j_l = 1,5$. Када се ради о граничној чврстоћи склопа структуре летелице она у основи подразумева да структура која се испитује после растерећења нема трајних пластичних деформација као ни отказа структуре. Када се ради о ломној чврстоћи то у основи подразумева да на предметној структури која се испитује нема лома до достизања оптерећења које одговара фактору ломне чврстоће. У овом раду је илустрована експериментална процедура за утврђивање граничне и ломне чврстоће хоризонталног репа тактичке беспилотне летелице (ТБЛ) израђене од композитних материјала.

ДЕФИНИСАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА ТБЛ

Као што је напред поменуто за прецизно дефинисање оптерећења користе се ЦФД нумеричке симулације за шта је у овом случају коришћен ФЛУЕНТ софтверски пакет. На Сл. 1 приказан је нумерички модел ТБЛ за дефинисање оптерећења. Нумерички модел укључује комплетну структуру беспилотне летелице као и одговарајући ваздушни простор колики је неопходан за прецизну нумеричку симулацију оптерећења. На Сл. 2 приказана је расподела притисака на хоризонталном репу ТБЛ за симетрични случај лета. Оптерећења су рађена за меродавне симетричне и несиметричне случајеве лета са којим је вршено димензионисање и испитивање структуре хоризонталног репа ТБЛ.



Сл. 1 Модел мреже комплетне ТБЛ

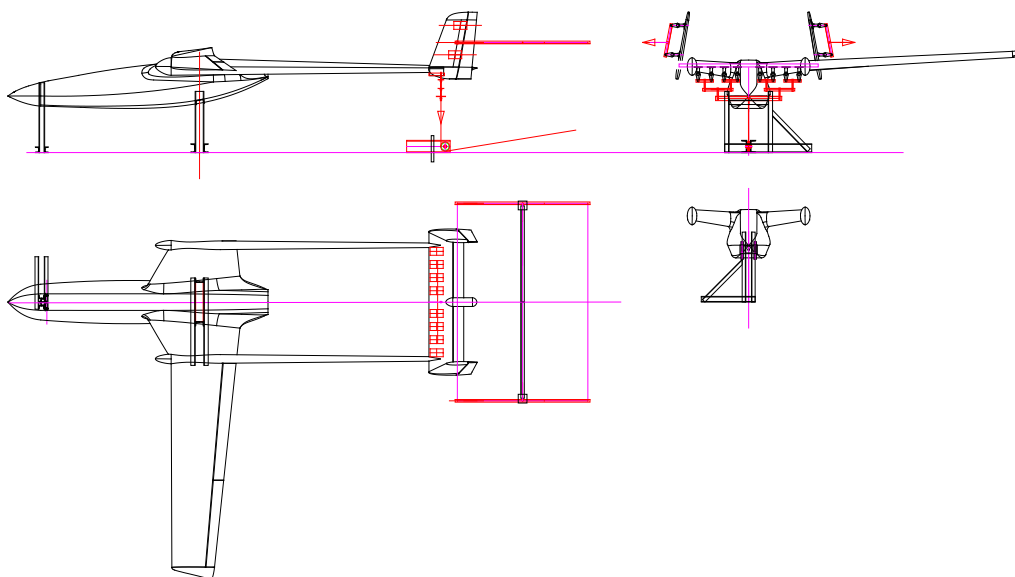


Сл. 2 Распоред притисака на хоризонталном репу ТБЛ

НАЧИН УГРАДЊЕ И МЕРНА МЕСТА

Испитивање спољног полукрила вршено је на посебном постољу, Сл. 3 и 4, које симулира реалне услове на вези са околном структуром. Испитивање хоризонталног репа и репних греда вршено је истовремено у спрези са трупом. Труп је ослоњен на практично круто челично постоље на местима везе гибња главног стајног трапа и везе носне ноге. Ослонац на месту гибња је обртан око попречне y -осе, док је предњи ослонац обртан око подужне x -осе, тако да структура трупа прима само реактивне силе, које су унутар анvelope дозвољеног оптерећења локалне структуре. На труп су уграђени лево полукрило и атрапа десног полукрила који обезбеђују бочно ослањање репних греда.

Увођење оптерећења се врши посредством амова и платнених налепки, а остварује се актуатором сервохидрауличког уређаја MTS. Мерење резултујуће силе крила се врши додатним електронским динамометром.



Сл. 3 – Шема уградње и увођења оптерећења

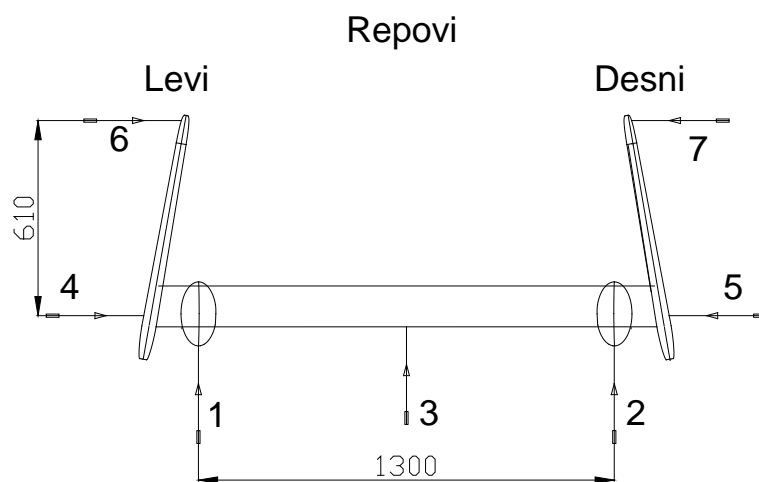


Сл. 4 – Начин уградње и увођења оптерећења у хоризонтални реп

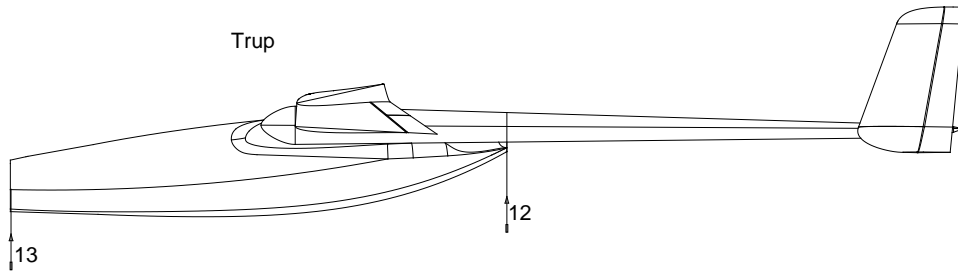
Мерење померања конструкције под оптерећењем врши се на 16 мерних места истовремено са мерењем оптерећења. Ознаке и распоред мерних места приказани су скицама на сликама 5 и 6.

Мерење напонских стања вршено је на 14 мерних места помоћу 42 мерне траке, које су распоређене у розете (од по три мерне траке под углом од 45°). Ознаке и распоред мерних места на хоризонталном репу приказан је на слици 7.

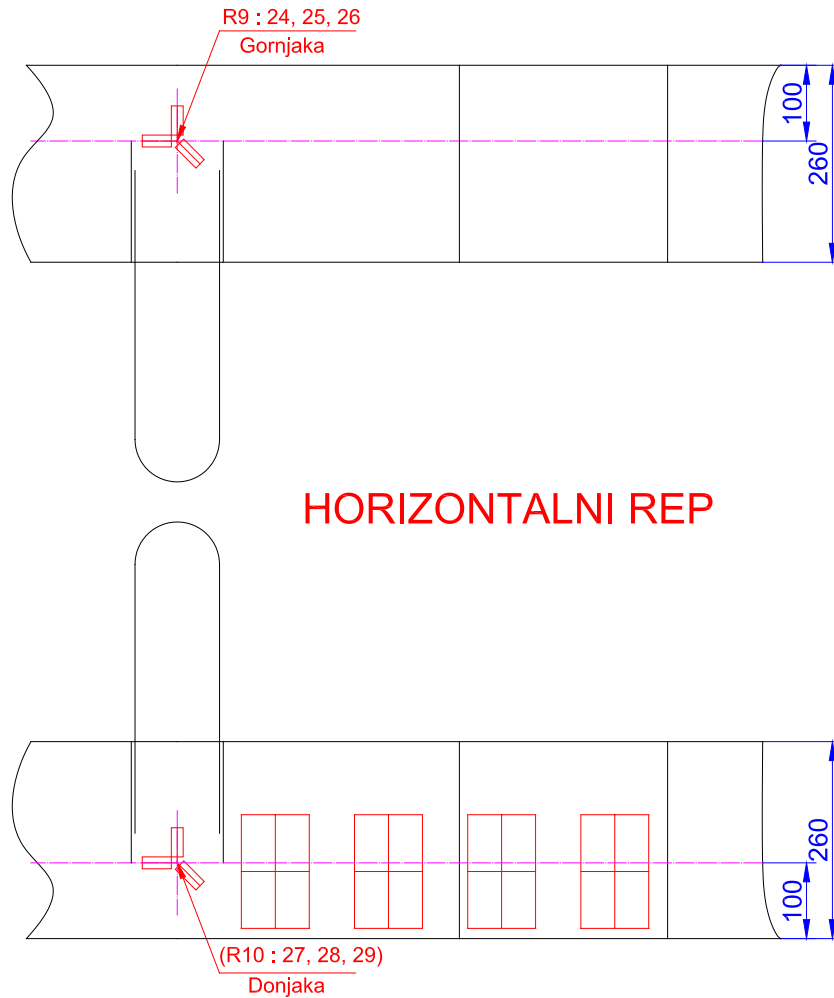
Мерење је вршено уређајем Hottinger Baldwin Messtechnik типа UGR 100.



Сл. 5 – Распоред давача померања на реповима



Сл. 6 – Распоред давача померања на трупу



Сл. 7 – Распоред мерних трака на хоризонталном репу

Оптерећење у хоризонтални реп се уводи платненим налепкама у осам тачака, а резултанта се мери електронским давачем силе (слика 2).

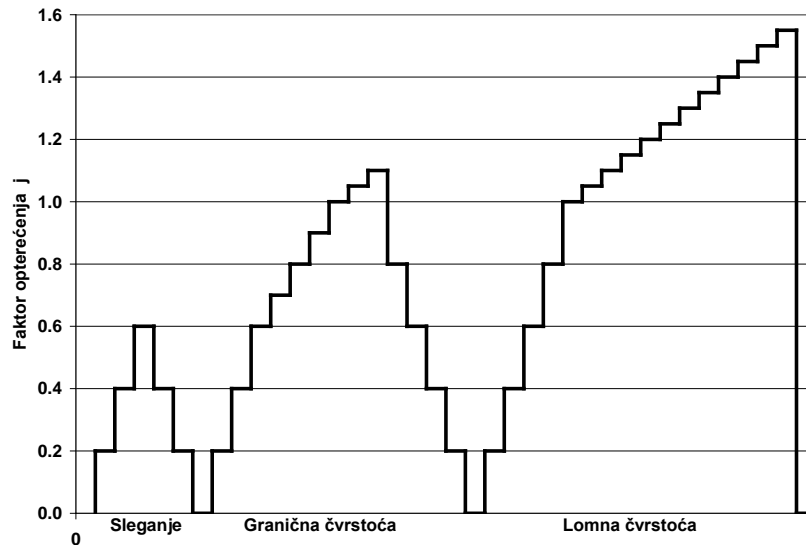
ПРОГРАМ ИСПИТИВАЊА И ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Увођење оптерећења вршено је према програму приказаном на слици 8, где је на ординату нанета вредност фактора уведеног оптерећења.

Слегање конструкције је извршено оптерећењем које одговара фактору $j = 0,6$, у трајању од пет минута. После слегања и читавања реперног стања инструмената, прешло се на испитивање са мерењем померања и напона.

У циклусу до $j = 1,1$, којим се проверава захтевана гранична чврстоћа структуре, задржавање на појединим нивоима оптерећења трајало је по три минута, за које време су мерени померања и напони на свим мерним местима.

Са оптерећења $j = 1,1$ конструкција је према програму растерећена, а двадесет минута после потпуног растерећења измерени су заостали напони и померања на свим мерним местима.



Сл. 8 – Програм увођења оптерећења

У циклусу до $j = 1,55$, којим се проверава прорачунска ломна чврстоћа структуре, задржавање на појединим нивоима оптерећења трајало је по пет секунди, за које време су мерени померања и напони на свим мерним местима.

Осим мерења померања и напона, током испитивања су визуелно и аудиелно праћени понашање и изглед конструкције под оптерећењем, а запажања у том смислу се користе при анализи и извођењу закључака о утврђеној чврстоћи испитиваног објекта. Након тога проверава се ломна чврстоћа (Ultimate load test) најчешће до $j = 1,5$. На овом оптерећењу дозвољено је да се структура пластично деформише али не сме да дође до отказа (лома) конструкције.

Оптерећења за симетрични случај су:

На хоризонталном репу $R_z = 962 \text{ N}$ наниже и

На вертикалним реповима $R_y = 126 \text{ N}$ упоље.

Мерење напона вршено је на 14 мерних места помоћу розета 0° , 45° , 90° , а мерење померања на 16 мерних места електронским давачима.

ТОК И РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

Како приликом слегања, тако и током циклуса до $j = 1,1$, није запажено ништа што би указивало на скоро попуштање структуре опитног узорка. Оптерећење од $j = 1,1$ опитни узорак је издржао безбедно у трајању од пет минута без видљивих знакова или наговештаја скорог попуштања.

У наставку испитивања, оптерећење од $j = 1,55$, структура је издржала безбедно у трајању од десет секунди и том приликом није запажено ништа што би указивало на лом структуре.

По завршетку испитивања извршен је визуелни преглед испитане структуре и том приликом на њој нису уочене никакве трајне деформације или иницијалне прелине.

Резултати мерења су приказани:

У циклусу до $j = 1,1$:

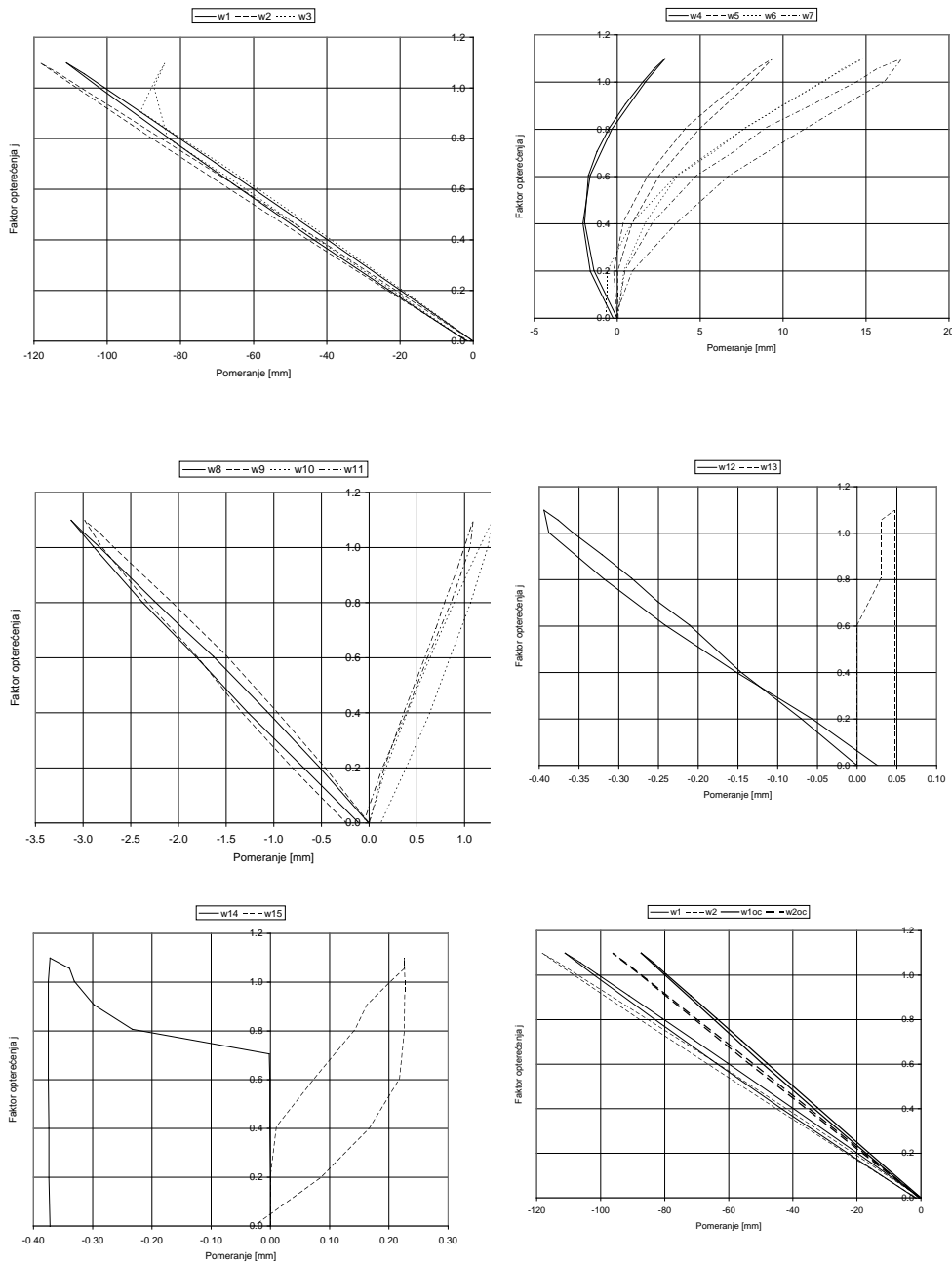
– измерена померања под оптерећењем – табелама 1 и 2 и дијаграмима на слици 9.

Табела 1: Измерена померања у циклусу до $j=1.1$

J	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	-20.08	-21.31	-19.43	-1.41	-0.23	0.40	0.47
0.41	-40.44	-42.67	-39.36	-1.97	0.37	1.71	2.15
0.60	-60.37	-63.77	-59.13	-1.74	1.85	3.64	4.78
0.71	-70.60	-74.79	-69.48	-1.22	2.89	5.85	7.04
0.81	-80.86	-85.92	-80.40	-0.47	4.13	7.71	8.95
0.91	-91.14	-96.94	-90.90	0.50	5.83	10.10	11.85
1.00	-100.97	-107.43	-87.82	1.57	7.47	12.49	14.49
1.06	-106.29	-113.11	-85.96	2.22	8.37	13.56	15.66
1.10	-111.13	-118.27	-84.22	2.88	9.36	14.80	17.16
1.00	-102.33	-108.65	-87.25	1.72	8.05	12.38	16.12
0.80	-83.12	-87.88	-83.52	-0.32	4.94	7.62	11.29
0.60	-64.00	-67.03	-62.61	-1.63	2.54	3.57	6.76
0.40	-43.65	-45.26	-42.58	-2.07	0.89	0.84	3.54
0.20	-22.72	-23.37	-21.93	-1.62	0.03	-0.62	0.90
0.00	-1.40	-1.10	-1.35	-0.23	0.06	-0.65	-0.19
δ_{tr}	1.26%	0.93%	1.60%	-7.92%	0.66%	-4.39%	-1.10%

Табела 2: Измерена померања у циклусу до $j=1.1$

J	w8	w9	w10	w11	W12	w13	w14	w15	w16
	Mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm	Mm	Mm
0.00	-0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	-0.522	-0.467	0.179	0.160	-0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
0.41	-1.076	-0.975	0.408	0.370	-0.148	0.000	-0.001	0.010	0.000
0.60	-1.634	-1.490	0.645	0.588	-0.211	0.000	-0.001	0.074	0.000
0.71	-1.951	-1.780	0.770	0.699	-0.251	0.000	-0.002	0.098	0.000
0.81	-2.255	-2.084	0.901	0.797	-0.284	-0.030	-0.233	0.143	-0.030
0.91	-2.552	-2.394	1.032	0.909	-0.321	-0.030	-0.298	0.163	-0.030
1.00	-2.833	-2.684	1.163	1.000	-0.358	-0.030	-0.331	0.203	-0.030
1.06	-3.001	-2.835	1.233	1.050	-0.376	-0.030	-0.339	0.226	-0.030
1.10	-3.126	-2.984	1.300	1.091	-0.394	-0.047	-0.372	0.226	-0.047
1.00	-2.892	-2.807	1.245	1.060	-0.388	-0.047	-0.375	0.227	-0.047
0.80	-2.378	-2.327	1.065	0.860	-0.318	-0.047	-0.375	0.226	-0.047
0.60	-1.821	-1.807	0.852	0.617	-0.242	-0.047	-0.375	0.218	-0.047
0.40	-1.273	-1.335	0.637	0.389	-0.152	-0.047	-0.374	0.167	-0.047
0.20	-0.683	-0.801	0.385	0.137	-0.056	-0.047	-0.374	0.085	-0.047
0.00	-0.098	-0.230	0.116	-0.064	0.027	-0.047	-0.372	-0.030	-0.047
δ_{tr}	3.13%	7.71%	8.92%	-5.87%	-6.85%	100%	100%	-13.27%	100%



Сл. 9 – Измерена померања под оптерећењем

ЗАКЉУЧАК

У раду је илустрована прорачунска процедура за прорачун оптерећења ТБЛ применом ЦФД нумеричког метода као и експериментална процедура за верификацију чврстоће склопа структуре хоризонталног репа беспилотне летелице израђеног од композитних материјала. За дефинисање оптерећења моделирана је комплетна беспилотна летелица. Статичка испитивања чврстоће вршена су како за меродалне симетричне инесиметричне случајеве лета. У раду је приказан део експерименталних резултата који се односе на чврстоћу хоризонталног репа тактичке беспилотне летелице дугог домета

(ТБЛ) израђеног од композитних материјала. На основу запажања о понашању и изгледу конструкције током испитивања, као и на основу резултата о измереним померањима и напонима, закључује се да испитани узорак задовољава пројектне захтеве у погледу статичке граничне и ломне чврстоће за испитани симетрични случај оптерећења. Испитивањем утврђени фактори чврстоће за овај случај износе: $j_g \geq 1,15$, за граничну и $j_l \geq 1,55 > 1,5$, за ломну чврстоћу.

Испитана структура хоризонталног репа испитивањем није оштећена, нити су на њој уочене трајне деформације или иницијалне прскотине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maksimovic S., Maksimovic K., Vasovic I., CFD CALCULATION OF COMPOSITE UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR ITS STRENGTH ANALYSIS, Nonlinear Dynamics – Scientific work of Prof. Dr Katica (Stevanovic) Hedrih Mathematical Institute of SASA, Belgrade, 04.-06. September, 2019.
2. Maksimović S., Maksimovic M., Maksimović K., Vasović I., Stamenković D., NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS OF LAYERED COMPOSITE STRUCTURES SUBJECT TO MECHANICAL AND HYGROTHERMAL LOADS, Časopis INTEGRITET i vek konstrukcija: casopis Društva za integritet i vek konstrukcija = Structural Integrity and Life: journal of the Society for Structural Integrity and Life; (Vol.19, No.1, (2019) pp. 45- 49); ISSN 1451-3749
3. Maksimović S., Maksimović K., Vasović I., Maksimović M., Stamenković D., STRENGTH ANALYSIS OF HELICOPTER MAIN ROTOR BLADE MADE FROM COMPOSITE MATERIALS, 14th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, 24.-25. maj. 2019., pp. 403-408, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, ISBN 978-99938-39-85-9, COBISS.RS-ID 8166456.
4. Vasić Z., Maksimović S., Georgijević D., Applied Integrated Design in Composite UAV Development, Appl Compos Mater, (2017), DOI 10.1007/s10443-017-9611-y
5. MAKSIMOVIĆ, S.: *Some Aspects of Application and Experimental Verification of Construction made From Composite Materials*, Application of Modern Materials in Technology and Constructions Primena Savremenih Materijala u Tehnologijama i Konstrukcijama, Požarevac, 2012, pp.19-28.
6. Maksimović S., Janković D., Ognjanović O., Bojanić M., Analiza čvrstoće elemenata konstrukcije bespilotne letelice od kompozitnih materijala, Primena novih materijala u tehnologijama i konstrukcijama, Požarevac 2016.
7. Jankovic D., Maksimovic S., Kozic M., Stupar S., Maksimovic K., Vasovic I., Maksimovic M., CFD Calculation of Helicopter Tail Rotor Airloads for Fatigue Strength Experiments, JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING, (2017), vol. 30 No. 5.
8. SULLIVAN, R.W., HWANG, Y., RAIS-ROHANI, M., LACY, T.: *Structural Analysis and Testing of an Ultra light Unmanned-Aerial- Vehicle Carbon-Composite Wing*, Journal of aircraft, May–June 2009, Vol.46, No.3.
9. GÜRDAL, Z., HAFTKA, R.T., HAJELA, P.: *Design and Optimization of Laminated Composite Materials*, John Wiley and Sons Inc. 1999.
10. Maksimović S., Vasović I., Maksimović M., Đurić M., COMPUTATIONS AND EXPERIMENTAL STRENGTH OF HELICOPTER TAIL ROTOR BLADES MADE FROM COMPOSITE MATERIALS, 13th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, 26.-27. maj 2017., Banja Luka, Republic of Srpska, ISBN 978-99938- 39-73- 6.

11. Novaković Z., Vasić Z., Ilić I., Medar N., Stevanović D., OTEH 2016., 7th International Scientific Conference and Defensive Technology, Belgrade, Serbia, 6-7 October 2016.
12. MAKSIMOVIĆ, S.: *Failure analysis of layered composite structures: Computation and Experimental Investigation*, 16th European Conference of Fracture, ECF 16, Alexandroupolis, Grčka, 2006.
13. Maksimović S., Vasović I., Maksimović M., Đurić M., COMPUTATIONS AND EXPERIMENTAL STRENGTH OF HELICOPTER TAIL ROTOR BLADES MADE FROM COMPOSITE MATERIALS, 13th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, 26.-27. maj. 2017., Banja Luka, Republic of Srpska, ISBN 978-99938- 39-73- 6,
14. Maksimovic S., Kozic M., Stetic-Kozic S., Maksimovic K., Vasovic I., Maksimovic M., Determination of Load Distributions on Main Helicopter Rotor Blades and Strength Analysis of the Structural Components, Journal of Aerospace Engineering, Vol. 27, Number 6, November/December 2014.
15. Jankovic D., Maksimovic S., Kozic M., Stupar S., Maksimovic K., Vasovic I., Maksimovic M., CFD Calculation of Helicopter Tail Rotor Airloads for Fatigue Strength Experiments, JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING, (2017), vol. 30 br. 5.
16. Maksimovic K., Maksimovic M., Stamenkovic D., Vasovic I., Maksimovic S., STABILITY AND FAILURE ANALYSIS OF LAYERED COMPRESSED PANELS USING FEM, The 3rd International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies- CNN TECH 2019, Zlatibor, July 02-05, 2019., ISBN: 978-86-6060-009-9. Editors: N. Mitrovic, M. Milošević, G. Mladenovic.
17. ANSYS FLUENT 12.0 Users Guide, ANSYS Inc.

Stevan MAKSIMOVIĆ¹

Zoran VASIĆ²

Katarina MAKSIMOVIĆ³

Ivana VASOVIĆ-MAKSIMOVIĆ⁴

Mirko MAKSIMOVIĆ⁵

CFD LOAD ANALYSIS AND STRENGTH ANALYSIS OF TAIL CONSTRUCTION OF TACTICAL UNMANNED AERIAL VEHICLE MADE FROM COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

Attention in this work is focused to CFD numerical load simulation od tactical unmanned vehicle with one side and strength analysis of horizontal lail composite structure with other side. For precise determination loads of horizontal tail of unmanned aerial vehicle (UAV) here FLUENT software code is used. The above case studies demonstrate that CFD is a versatile and essential tool for analyzing many flow problems involving UAVs and their subsystems. The strength analysis of horizontal tail of UAVs carried out experimentaly. Measurement of deformations and stresses is performed through system of strain gauges. Horizontal tail of UAV were tested for proof and ultimate loading conditions.

Key words: *Tactical unmanned aerial vehicle (UAV), Horizontal tail construction, CFD load simulations, Composite materials, Experimental strength analysis*

Драгица ЈЕВТИЋ¹, Димитрије ЗАКИЋ²

МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ВИДНОГ - НАТУР БЕТОНА У ФУНКЦИЈИ ЊЕГОВИХ СВОЈСТАВА

Резиме:

У раду се говори о различитим аспектима употребе натур (видног) бетона. Приказан је кратак историјат примене натур бетона на простору Београда и Србије, са карактеристичним примерима армиранобетонских објеката чије су видне површине (фасаде) директно изложене спољашњим утицајима. Такође, посебна пажња је посвећена проблемима који се јављају при грађењу и експлоатацији објеката од натур бетона. Наглашава се значај који имају врста и квалитет оплате предвиђене за израду видног бетона. Даје се и преглед релевантне техничке регулативе из ове области. На крају, дају се закључци у вези са могућностима примене видног бетона у савременом грађевинарству.

Кључне речи: натур (видни) бетон, примена, експлоатација, оплата, техничка регулатива.

1 УВОД

Позната је чињеница да је бетон у савременом свету убедљиво најзаступљенији грађевински материјал. Наиме, укупна годишња производња бетона премашила је 25 милијарди тона, што представља око 3,8 тона по глави становника планете Земље. Дуготрајна светска економска криза је можда успорила глобални тренд повећања производње цемента и бетона, али је овај материјал и даље присутан свуда око нас. Било да се ради о зградама, мостовима, индустријским објектима, тунелима или бранама, бетон је данас без конкуренције водећи конструкциони материјал. При томе, најчешће је реч о цементном бетону армираном класичном челичном арматуром, али су у пракси присутни и бројни други типови бетонских композита, код којих су могућности варирања и комбиновања компонентних материјала (везива, агрегата, хемијских и минералних додатака), типова арматуре (челична, синтетичка, микроарматура), као и технологија справљања, транспорта и уградње – практично бесконачне.

У многим случајевима примене, бетон је сакривен од ока посматрача. Он се често налази под земљом, под водом, испод различитих облога (термоизолационих, хидроизолационих, звукоизолационих), заклоњен фасадама од опеке, камена, метала или стакла, прекривен малтером или заштитном бојом. Па ипак, нису тако ретки ни случајеви када баш бетонска површина представља ону завршну, видну површину неког објекта, односно конструкције. Тада говоримо о тзв. натур или видном бетону (eng: Exposed concrete, nem: Sichtbeton). Према немачком стандарду DIN 18217: "Betonoberflächen und Schalhaut" [1], под натур (видним) бетоном подразумева се бетон чија видна (горња) површина мора да одговара тачно утврђеним захтевима у вези са њеним изгледом (у смислу структуре, текстуре, боје, уједначености изгледа, равности површине, начина извођења спојница, типа оплате, итд.). У оквиру упутства DBV/BDZ-Merkblatt "Sichtbeton" [2], Немци дају и одговарајуће категорије, односно класе видних бетона, које се крећу од SB1 (видни бетон са ниским захтевима) до SB4 (видни бетон са посебним захтевима).

¹Проф. др. Грађевински факултет Универзитета у Београду

²В. Проф. др. Грађевински факултет Универзитета у Београду

Дакле, посматрано у ужем смислу, натур (видни) бетон је обичан, необрађен цементи бетон чија видна површина показује структуру оплате (глатка или рељефна), а која је директно изложена спољашњим утицајима. С друге стране, ако бисмо овај појам посматрали у ширем смислу, онда бисмо под натур бетоном подразумевали сваки бетон са изложеном, односно видном површином [4]. У том случају, у ову групу би спадали и бетони са модификованим површинским слојем (терацо, кулије, пиковани, штоковани, печатни бетон), затим префабриковани бетонски елементи (конструктивни елементи, фасадни елементи, бетонска галантерија, вештачки камен), као и неке специјалне врсте бетона (самозбијајући – SCC бетон, микроармирани – FRC бетон, полимер бетони, бетони високих перформанси – НРС, лакоагрегатни бетони, итд.).

Завршни изглед површине натур бетона није важан само у естетском (архитектонском) смислу, већ и у смислу функционалности и трајности предметног композита. Наиме, с обзиром да овакав бетон није ни на какав начин заштићен од спољашњих утицаја, његов експлоатациони век ће бити у директној сразмери са оствареним квалитетом изложене површине. У истим условима спољашње средине (тј. при истој класи изложености), бетон који је хомогенији, компактнији, без присуства прслина и ваздушних "мехурића" на површини биће, по правилу, и отпорнији на различите утицаје и трајнији.

Планирање и извођење објеката од натур (видног) бетона је сложен и веома захтеван задатак, пре свега због великог броја фактора који утичу на квалитет и изглед завршне површине бетона [3]. Ти фактори могу се поделити у неколико група:

- утицај компонентних материјала
 - употребљени цемент (количина, састав, боја),
 - врста и гранулометријски састав агрегата (речни или дробљени агрегат, садржај ситних честица, облик зрна, боја агрегата),
 - примењени водоцементи фактор (на пример, промена v/c фактора од свега 0,02 јединице доводи до јасно изражене промене боје и контраста бетонске површине),
 - количина воде и остварена конзистенција (конзистенција треба да буде пластична или текућа, али се не сме ни у ком случају дозволити појава издвајања воде на површини свежег уграђеног бетона - "bleeding"),
 - употреба хемијских и минералних додатака (мора се претходним пробама доказати утицај ових додатака на квалитет видне површине бетона),
 - утицај оплате
 - врста материјала од ког је направљена оплата,
 - да ли оплата упија вишак ваздуха и воде који настају током уграђивања свежег бетона,
 - каква је текстура оплате (глатка или рељефна),
 - какви су спојеви елемената оплате,
 - да ли су предвиђене видљиве спојнице-фуге,
 - које се средство за премазивање оплате користи (са техничко-технолошког и еколошког аспекта),
 - какав је начин анкерисања оплате,
 - начин справљања, транспорта и уграђивања свежег бетона
 - поступак и време транспорта,
 - технологија уграђивања (in situ, префабрикација, пумпани бетон, SCC бетон),
- дебљина слојева у којима се врши бетонирање,

- густина арматуре,
- тип вибратора и дужина трајања вибрирања,
- евентуална примена ревибрирања,
- наставци бетонирања,
- начин и дужина трајања неге бетона (евентуална употреба специјалних средстава за негу увек мора да буде верификована кроз претходне пробе),
- време скидања оплате,
- дебљина заштитног слоја (усвојити дебљину према ЕС2, а не према ПБАБ-87),
- утицај спољашње средине (температурне промене, киша, снег, ветар, сунчеви зраци, кондензација, аерозагађење),
- утицај дуготрајних деградирајућих процеса (корозија, карбонатизација, дејство мраза, ерозија, скупљање, течење),
- надзор током извођења радова и контрола оствареног квалитета површине бетона.

2 ИСТОРИЈАТ ПРИМЕНЕ НАТУР БЕТОНА

Употреба натур (видног) бетона на простору Београда, а и шире – на просторима Србије и бивше Југославије, прошла је кроз неколико фаза. При томе, треба имати на уму да је натур бетон у конструкцијама типа мостова, вијадукта, брана, тунела, гаража, као и објеката телекомуникационе и енергетске инфраструктуре био увек у великој мери присутан, како током XX века, тако и у данашње време. Наиме, код оваквих објеката веома ретко се јавља потреба да се бетон, као главни конструктивни материјал, прекрива неким другим заштитним или декоративним материјалима. Са објектима из области зградарства, како пословним, тако и стамбеним, ситуација је у великој мери другачија. У овој области, током времена, мењали су се архитектонско/грађевински трендови – од масовне градње у натур бетону за време послератне социјалистичке изградње земље, па до данашњег стања – када је готово немогуће наћи новије зграде са фасадом урађеном у натур бетону.

У периоду пре Другог светског рата, архитектура у Србији била је заснована на традицио-налном учењу и утицајима професора Београдског универзитета, групе архитеката- модерниста, као и великог броја образованих руских архитеката и инжењера који су у Србију дошли у периоду након Совјетске Револуције [5]. Ипак, у то време бетон није интензивно примењиван ни као конструкциони материјал, а немоли као завршни – фасадни грађевински материјал (натур бетонска фасада).

Након Другог светског рата, архитектура у Београду и Србији променила је правац свог развоја. Нарочито током 50-тих и 60-тих година XX века, домаће грађевинарство је било усмерено према задовољавању нараслих потреба које је поставило ново социјалистичко друштво. Међу тим потребама, веома значајно место је заузимала индустријализација, која је захтевала и убрзану изградњу градова као индустријских центара. То је наравно подразумевало и захтев за изградњом великог броја стамбених јединица у што краћем временском периоду. Као најпластичнији пример за овакав тренд развоја социјалистичког друштва у то време, може да послужи Нови Београд, који је за само неколико деценија израстао из мочваре и постао, за наше услове, велерад.

У периоду између 1960-1970. године појавио се велики број конкурса за пројектовање и изградњу стамбених блокова у читавој Србији, а нарочито на територији Новог Београда. Узимајући у обзир нарасле потребе за стамбеним јединицама и пратећом инфраструктуром, грађевински инжењери и архитекте су се

окренули стварању нових стамбених комплекса, као што су на пример тзв. "новобеоградски блокови". У то време, примена натур бетонских фасада била је посебно присутна на пољу префабрикованих фасадних елемената - панела (носећих и неносећих), односно у оквиру различитих префабрикованих (монтажних или полумонтажних) система грађења целокупних објеката - скелетних, панелних и др. [6]. Разлози за то су били следећи:

- брза израда и монтажа,
- могућност прилагођавања димензија елемената захтевима пројекта,
- трајност, стабилност и носивост,
- квалитет - као резултат индустријског начина израде,
- економичност,
- могућност великог избора завршних обрада.

Неки историчари и теоретичари архитектуре дефинишу стилске карактеристике периода који је трајао у српској и југословенској архитектури средином и почетком друге половине XX века употребљавајући термин "социјалистички естетизам". Назив је преузет из књижевности и односи се првенствено на карактер архитектуре који је настао из социјалних друштвених утицаја и потреба тзв. "новог друштва" [5]. Нову естетику у архитектури карактерише, између осталог, употреба натур бетона као доминантног материјала. Одлике овог периода су и непрекинути нивои прозора, равни кровови, као и одсуство боја или било каквих других украсних фасадних елемената. Иако прилагодјена новом социјалистичком курсу и укусу тадашњих урбаниста, ова архитектура садржи и карактеристичне особине покрета "брутализма" који је у то време (или неку деценију раније), био присутан и на европској сцени, одакле је пренет и у САД.

Утицај брутализма на стамбену архитектуру Београда нарочито се види на примеру блокова 61 и 62 (пројектаната Миленије и Дарка Марушића, са почетка 1970-тих). Сличан начин решавања простора и употребе сировог бетона као завршног-архитектонског материјала, садрже и реализовани пројекти чувеног архитекте из тог периода Михајла Митровића. Његов Пословно-стамбени комплекс "Генекс" (из 1970. године) представља комбинацију архитектонских стилова "метаболизма" и "брутализма", уз употребу натур бетона који је ливен на лицу места (видети слику 1 - лево). Ова зграда и данас представља један од симбола Београда, који попут монолитне скулптуре стоји на улазу у град поред ауто-пута из правца Загреба, па се често назива и *Западном капијом Београда*. Митровићев хотел »Путник« у Београду такође представља значајан пример употребе натур бетона, али је овај објекат »умекшан« увођењем архитектонске пластике – орнаментација на фасади. У исто време, још један значајан архитекта из овог периода - Бранислав Јовин, пројектовао је зграду Урбанистичког завода у Београду употребивши комбинацију стилских елемената брутализма и метаболизма.

Што се тиче објеката који немају стамбени или пословни карактер, а рађени су у натур (видном) бетону, као један од најзначајнијих пројеката може се издвојити комплекс Београдског сајма (архитекте Милорада Пантовића и конструктора Милана Крстића и Бранка Жежеља, из 1954. године). Као конструкторско достигнуће вредно пажње, свакако треба издвојити и ТВ торањ на Авали (пројекат архитеката Угљеше Богуновића и Слободана Јањића, конструктор Милан Крстић, завршен 1965. године). Овај објекат је у то време представљао конструктивну новину: стуб торња није фундиран директно у земљи, већ је преко три ноге елегантно ослоњен на темељну подлогу. Овај торањ је познат и по томе што је срушен током НАТО бомбардовања

1999. године, али је у периоду 2006-2009. године поново изграђен као важан и препознатљив симбол Београда и Србије, иако је у међувремену изгубио свој значај као телекомуникациони објекат (видети слику 1 - десно).

Мост на Ади преко реке Саве (аутора архитекте Петера Габријелчича и конструктора Виктора Маркеља, завршен 2011. године), који са својим пилоном висине 200 м представља нови симбол Републике Србије и њеног главног града, такође може да се посматра као пример употребе натур бетона у ширем смислу (видети слику 2).

Па ипак, савремени трендови у којима значајно место заузимају принципи одрживог развоја и енергетске ефикасности, потиснули су у други план натур бетон као завршни - видни слој објеката у зградарству.



Слика 1. Пословно-стамбени комплекс "Генекс" (лево) и Авалски торањ (десно)



Слика 2. Мост на Ади преко реке Саве

3 СВОЈСТВА НАТУР БЕТОНА И ТЕХНИЧКА РЕГУЛАТИВА

Као што је већ истакнуто, за разлику од периода између 60-тих и 70-тих година прошлог века, данас је тешко наћи примере савремених зграда са фасадом урађеном у натур бетону. Неки од разлога за то већ су поменути у претходним поглављима. Генерално, на избор фасаде утичу расположива материјална средства, тип објекта и естетски захтеви. С друге стране, са данашњег аспекта, један од основних задатака фасаде представља топлотна изолација коју она обезбеђује, а то су условили високи трошкови грејања, као и тежња за смањењем емисије штетних гасова и заштитом човекове околине. Осим тога, фасаду треба да карактерише и висок степен трајности, што се постиже избором адекватних материјала и њиховом стручном уградњом [6].

Генерално посматрано, на нашим просторима бетонске фасаде изведене од "обичног" бетона (мада оне могу да буду урађене и од лаких бетона), нису се показале као довољно функционално, трајно и естетски прихватљиво решење. Овакав тип завршне обраде "лица" неке пословне, стамбене или јавне зграде посебно је "пао" на испиту енергетске ефикасности. Као последица тога, данас не само да се више масовно не граде пословни и стамбени објекти од натур бетона, већ се и они постојећи, након неколико десетина година експлоатације, све више "облаче" у ново рухо - употребом "Демит" фасаде и сличних система изолационе заштите. Разлог за ово је, пре свега, недовољна и неадекватно изведена термоизолација, уз често постојање термичких мостова на крајевима (спојевима) бетонских елемената.

Код савремених објеката у зградарству, површине бетона остају видне углавном само у случају мање "атрактивних" простора, као што су подруми, гараже, подземни пролази, магацини, склоништа, итд. У таквим ситуацијама, од натур бетона се углавном не траже специјални захтеви у вези са његовим изгледом (на пример у смислу структуре, текстуре или боје). Па ипак, постоје и случајеви из савремене праксе, када наизглед једноставни захтеви инвеститора могу да направе проблеме извођачу радова на градилишту.

С обзиром на релативно велики број објеката који су у Београду изведени од натур бетона (нарочито током 1960-тих и 1970-тих), данас се све чешће јавља потреба за санацијом, односно реконструкцијом таквих објеката након њихове полувековне експлоатације. Стање предметних објеката је различито, има и бољих и лошијих примера, али на свима њима су присутне одређене промене и дефекти, као последица неумитног "зуба времена".

Од дефеката који се најчешће јављају на видним површинама фасадних елемената од натур бетона овде се наводе следећи [6]:

- абразија и еродираност површине бетона,
- "гнезда" и сегрегације у бетону,
- прслине и пукотине,
- корозија "плитко" постављене арматуре, уз откидање заштитног слоја бетона (услед експанзије продуката корозије челика).

Овде се напомиње да се "гнезда" и сегрегације, као и прслине и пукотине у бетону, у оквиру фасадних елемената (панела) јављају релативно ретко, што се посебно односи на пукотине - које најчешће у спољашњим бетонским слојевима настају услед неких механичких утицаја (на пример, при неадекватном транспорту и уграђивању префабрикованих елемената). Међутим, корозија "плитко" постављене арматуре, уз откидање заштитног слоја бетона, је врло честа појава, која је условљена малим

заштитним слојевима бетона до арматуре. У таквим случајевима, чак и при одсуству посебно агресивних агенаса, а услед неизбежне карбонатизације бетона, отпочиње процес корозије арматуре. Овај процес се на почетку испољава у виду појаве прелина и пукотина дуж праваца пружања арматурних шипки, доцније и кроз појаву жуте боје од рђе, да би коначно дошло до откидања комада бетона услед експанзије продуката корозије челика.

Када се натур бетон нађе у експлоатацији, од посебне је важности и питање ко и на који начин врши процену оствареног квалитета видне површине тог бетона (боје, структуре, текстуре, величине и распореда пора, итд.). Нарочито је важно да растојање од бетонског елемента који се посматра/оцењује буде у границама уобичајеног растојања на коме се налазе корисници предметног објекта. Наиме, оптички утисак је субјективна категорија, која се мења у зависности од тога ко врши опажање, као и од положаја посматрача. Зато је један од основних проблема везан за питање: како да се обезбеди релативно објективна оцена квалитета видног бетона? У ту сврху, [2] даје одговарајуће табеле, са категоријама и детаљним описима, као што је приказано у наредној табели 1.

Табела 1 - Класе видног (натур) бетона према смерницама DBV/BDZ

Класа видног бетона	Опис класе (захтеви квалитета)	Примери примене
SB1	Бетон са ниским захтевима	Подрумски зидови, складишта
SB2	Бетон са нормалним захтевима	Степеништа, потпорни зидови
SB3	Бетон са високим захтевима	Фасадни елементи
SB4	Бетон са изразито високим захтевима	Репрезентативни елементи

Осим ових основних категорија, у пратећим табелама дају се додатни захтеви које видни бетон треба да испуни да би припадао одређеној класи. Ови захтеви односе се на: тип структуре-порозности, остварену текстуру, уједначеност боје, равност површине, обраду спојница-фуга и класу (квалитет) примењене оплате.

Поред већ поменутих стандарда DIN 18217 ("Betonoberflächen und Schalhaut") и смерница DBV/BDZ-Merkblatt ("Sichtbeton"), проблематику видног (натур) бетона третирају и наредне одреднице техничке регулативе: ÖNORM B2211 ("Beton- und Stahlbetonarbeiten"), ÖVBB-Richtlinie "Geschallte Betonflächen (Sichtbeton)", DIN 18202 ("Toleranzen im Hochbau"), EN 13670 ("Execution of concrete structures") и TP CEN/TR 15739 ("Precast concrete products").

4 ЗАКЉУЧАК

На основу свега напред наведеног, може се извући закључак да планирање и извођење објеката од натур (видног) бетона представљају сложене и веома захтевне задатке. Још при изради пројекта бетона, потребно је дефинисати класу којој треба да припада натур бетон (SB1 до SB4), уз евентуално прецизирање додатних услова у погледу квалитета видне површине бетона - њене порозности, текстуре, боје, равности, спојница-фуга и класе (квалитета) примењене оплате. Такође, могу се прецизирати и услови у погледу дебљине заштитног слоја бетона до арматуре, начина извођења прекида и наставака бетонирања, методологије и дужине трајања неге бетона, итд. На тај начин, може се смањити опасност од појаве напред описаних дефеката видних површина бетона, односно повећати трајност натур бетона.

Као видни грађевински материјал, натур бетон може да опонаша традиционалне камене мотиве, омогућавајући реализацију сложених и инспиративних пројеката по прихватљивој цени. Тако се постиже комбиновање функционалности и практичности са савременим изгледом, уз могућност изражавања комплексних и динамичних форми. На тај начин, језик бетона има сопствену креативну форму као метод изражавања и постаје, поред свеprisутних физичко-механичких захтева и трајности, важан естетски елемент у реализацији грађевинско-архитектонских објеката.

Што се тиче могућности употребе видног бетона у савременом зградарству (као области у којој се овај материјал најчешће примењује), без обзира на чињеницу да се на нашим просторима бетонске фасаде изведене од "обичног" бетона нису показале као довољно функционално и трајно решење, овакав тип завршног омотача зграда ипак није без перспективе. Међутим, да би завршна обрада "лица" неке модерне пословне, стамбене или јавне зграде била изведена у натур бетону морају се поштовати строги принципи одрживог развоја и енергетске ефикасности. То значи да за извођење савремених бетонских фасада уместо "обичног" бетона треба употребити нове генерације композита, као што су на пример SCC бетони, FRC бетони, НРС бетони и лакоагрегатни бетони. Примену ових и других специјалних врста бетона као натур (видних) бетона, свакако мора да прати и усвајање, односно примена одговарајуће техничке регулативе (међународне и домаће) из предметне области. Једино на тај начин, оцена квалитета видног бетона неће бити резултат субјективног осећаја појединца, већ ће заснивати на објективним квантитативним показатељима квалитета.

ЗАХВАЛНОСТ

У раду је приказан део истраживања које је помогло Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру технолошког пројекта ТР 36017 под називом: "Истраживање могућности примене отпадних и рециклираних материјала у бетонским композитима, са оценом утицаја на животну средину, у циљу промоције одрживог грађевинарства у Србији".

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Standard DIN 18217:1981 - "Betonoberflächen und Schalhaut", Ausgabe 12/1981.
- [2] DBV/BDZ-Merkblatt: "Sichtbeton", Köln, Ausgabe 2004.
- [3] Thomas Freimann, Sehnde-Höver: "Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen", Sonderdruck aus Beton-Informationen, Heft 5/2004.

- [4] М. Мурављов, Д. Јевтић: "Грађевински материјали 2", Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2003.
- [5] Електронско издање часописа "Пулс", адреса: <http://pulse.rs/stilovi-i-pokreti-u-srpskoj-arhitekturi-krajem-xx-pocetkom-xxi-veka>.
- [6] М. Мурављов, Б. Стевановић: "Карактеристична оштећења и могућности санације бетонских фасада", Конференција "Фасаде и кровови у зградарству, савремени и традиционални материјали и системи у функцији енергетске ефикасности, трајности и естетике", Зборник радова, ДИМК Србије, стр. 1-16, 2013.
- [7] Студија: "Испитивање физичко-механичких својстава грађевинских материјала и производа који се примењују у области градитељства у Србији", Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2013.
- [8] Приручник за примену Правилника БАБ'87 о техничким нормативима за бетон и армирани бетон, ЈУДИМК и СДГКЈ, Београд, 1989.
- [9] М. Мурављов, С. Живковић, Д. Јевтић, Д. Закић: "Утицај додатка полипропиленских влакана на смањење скупљања и фисурацију композита типа малтера и бетона", научни рад, Материјали и конструкције 1-2/2002, стр. 11-19.
- [10] Jevtić D., Zakić D.: Exposed concrete application – once and nowadays, 21. Slovenski kolokvij o betonih "Vidni beton", Zbornik gradiv in referatov, Ljubljana, Slovenija, 21. 5. 2014, pp. 37-48, ISBN 978-961-93671-0-0.
- [11] Korla J.: Measuring quality of visible concrete, 21. Slovenski kolokvij o betonih "Vidni beton", Zbornik gradiv in referatov, Ljubljana, Slovenija, 21. 5. 2014, pp. 63-69, ISBN 978-961-93671-0-0.
- [12] Horvath J.: Construction technology and formed surfaces with visible concrete, 21. Slovenski kolokvij o betonih "Vidni beton", Zbornik gradiv in referatov, Ljubljana, Slovenija, 21. 5. 2014, pp. 5-7, ISBN 978-961-93671-0-0.

POSSIBLE APPLICATION OF EXPOSED CONCRETE IN RELATION TO ITS PROPERTIES

Summary:

Different aspects of exposed concrete application are discussed in this paper. Short historical review of exposed concrete application in Belgrade area and in Serbia is presented. Also, special attention is paid to the problems related to construction and exploitation of exposed concrete structures. The significance of formwork's type and quality is also underlined. The review of relevant technical regulation covering this area is given. Finally, conclusions related to possible application of exposed concrete in contemporary civil engineering are derived.

Key words: exposed concrete, application, exploitation, formwork, technical regulation

Vanja MALIŠIĆ, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Aleksandra JELIĆ, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Nataša TOMIĆ, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd

Aleksandar MARINKOVIĆ, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Slaviša PUTIĆ, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

TERMIČKA I MEHANIČKA SVOJSTVA KOMPOZITNIH MATERIJALA NA BAZI AKRILATA

Rezime:

Pod dentalnim materijalima podrazumevamo one materijale koji se koriste u različitim stomatološkim zahtevima, bilo da su određeni za stalnu ili privremenu primenu u ustima pacijenta. Iz tog razloga, oni imaju posebne zahteve u vezi sa ponašanjem u uslovima eksploatacije. Poli(metil metakrilat) (PMMA) ima široku primenu u protetici i predstavlja jedan od često korišćenih materijala. Cilj ovog rada je ispitivanje toplotnih svojstava kompozita na bazi akrilata. Kao matrica je korišćen komercijalni poli(metil metakrilat) (PMMA) sa dodatkom dimetil itakonata (DMI), dok su modifikovane čestice aluminijum oksida korišćene kao pojačanje. Modifikacija čestica je vršena u dva koraka: dodatkom 3-aminopropil-trimetoksilana (AM) i metil estra masnih kiselina lanenog ulja (BD). Nakon toga je upoređena matrica polimera sa pripremljenim kompozitima koji su imali 1 mas. %, 3 mas. % i 5 mas. % modifikovanih čestica Al_2O_3 -AM i Al_2O_3 -BD. Pokazano je da Jungov modul elastičnosti zavisi od količine dodatih čestica. Za ispitivanje morfološke strukture i toplotnih svojstva hibridnih kompozita korišćeni su skenirajući elektronski mikroskop (SEM) i test zatezanja.

Ključne reči: kompozitni materijali, PMMA matrica, Al_2O_3 ojačanje, aluminijum oksid, termalna svojstva, modul elastičnosti.

UVOD

Poli(metil metakrilat) (PMMA) je transparentan i tvrd plastični material koji ima široku primenu u biomedicini. Unutar ljudskog tela PMMA je pokazao dobru kompatibilnost i dobra mehanička svojstva. U biomedicini se koristi za pravljenje zubnih proteza [1], cementa za fiksiranje proteza [2], kontaktnih sočiva i inhalatora [3,4]. Važno je napomenuti da PMMA ima i svoja ograničenja. Kao rezultat ovih nedostataka, mogu se pojaviti toksičnost zaostalog monomera [5-7] i ograničenja koja se tiču mehaničkih svojstava, naročito u pogledu modula elastičnosti, zatezne čvrstoće [8, 9].

Itakonska kiselina je prirodno, netoksično i biorazgradivo jedinjenje. Rastvara se u vodi, etanolu i acetonu. U stomatologiji su itakonska kiselina i njeni estri dobro poznati. Imaju široku primenu u proizvodnji ionomernog cementa [10-12]. Zbog svoje niske toksičnosti, itakonati se koriste u različite svrhe [13]. Dodavanjem itakonatnog derivata u PMMA se smanjuje sadržaj zaostalog metilmetakrilata MMA [14,15] u dobijenom proizvodu. Itakonatni derivati i metakrilat imaju sličnu strukturu i mogu dati kopolimere [16]. Zbog steričnog ometanja alkilne grupe, metakrilati su reaktivniji od itakonata [17, 18]. Kako bi prevazišli nedostatke i ograničenja osnovnih materijala na bazi PMMA, ispitivana je mogućnost modifikacije PMMA upotrebom derivata itakonske kiseline. Itakonska kiselina i itakonati su prihvatljivi u smislu ekologije i održivog razvoja [19], bez obzira na to što je tržišna cena itakonske kiseline veća od cene metakrilne kiseline. Razlog je taj što se itakonska kiselina dobija iz biljaka (transformacijama enzima melase), dok se metakrilna kiselina dobija iz petrohemijskih izvora. Itakonska kiselina je dvobazna kiselina i pruža više mogućnosti u sintezi estera u poređenju sa metakrilnom kiselinom. Utvrđeno je da dodavanje dietil itakonata u PMMA značajno smanjuje količinu zaostalog monomera

(metil metakrilata), što ove materijale čini manje toksičnim. S druge strane, smanjena količina zaostalog monomera dovodi do pogoršanja mehaničkih svojstava materijala [20]. Termička nestabilnost je, nažalost, jedno od ograničenja PMMA. Dodavanjem različitih nanočestica u polimerni matriks u vidu punioca, mogu se poboljšati njihova fizičko-mehanička svojstva [21]. Neorganske čestice koje se često dodaju polimernim kompozitima, radi poboljšanja njihove krutosti, tvrdoće i modula elastičnosti, su mikro- ili nano- SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, čestice stakla ili CaCO_3 [22, 23]. Aluminiјum oksid (Al_2O_3) je keramički material koji ima izuzetna mehanička, fizička i hemijska svojstva. U prirodi se pojavljuje u 3 oblika: kao korud (Al_2O_3), dijaspora ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) i gigabit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) [24]. Zbog svog izuzetnog hemijskog svojstva, Al_2O_3 je zbog svoje stabilnosti i visokog modula elastičnosti, jedan od najčešće korišćenih materijala. U kompozitnim materijalima su od posebnog interesa različite strukture aluminiјum-oksida koje se mogu dobiti termičkom obradom [25].

Termografija je popularna metoda nerazornog ispitivanja koja se koristi za otkrivanje oštećenja na kompozitnim strukturama. Ova metoda se koristi za uzorke debljine do 15 mm zbog širenja toplote kroz veliku debljinu, što rezultira u lošoj definiciji oštećenja [26]. Za termomehantičku analizu ponašanja mnogih materijala, razvoj infracrvenih kamera sa efikasnim metodama obrade slike, se uspešno koriste u poslednjih nekoliko decenija. Ova nerazorna metoda omogućava merenje površinskog temperaturnog polja i njegov razvoj [27]. Ako se plastični materijal deformiše, temperature će se promeniti a količina i smer promene će zavistiti od prirode i veličine deformacije kao i primenjene čvrstoće. U procesu deformacije svaka komponenta daje određenu vrstu toplotnog efekta, tako da su termička i mehanička merenja neophodna za tumačenje mehaničkog ponašanja kompozitnog materijala [28]. Toplotna provodljivost je važan parameter kod problema koji uključuju stabilan prenos toplote jer određuje nivo radne temperature materijala ili određuje gradiјent temperature unutar ovog materijala. Ova osobina igra važnu ulogu u učinku materijala na visokim temperaturama. Niske vrednosti toplotne provodljivosti su od presudnog značaja kada su potrebni niski gubici toplote. Sa druge strane, kada je poželjan prenos toplote sa jednog mesta na drugo, tada se moraju odabrati materijali veće toplotne provodljivosti. Mnogi faktori mogu uticati na toplotnu provodljivost materijala, kao što su: temperature, gustina, vlaga, kristalnost, orijentacija zrna itd. [29].

Cilj ovog rada je bio da se napravi kompozitni material sa matricom izrađenom od kopolimera PMMA/itakonata ida se ispita toplotno ponašanje, zavisno od dodavanja različitih punioca na bazi aluminiјum oksida sa površinskom modifikacijom. Termičko ponašanje polimernih kompozita biće termoviziјski praćeno kako bi se dobio uvid u širenje pukotine kao i zavisnost temperature u zoni pukotine od toplotne provodljivosti.

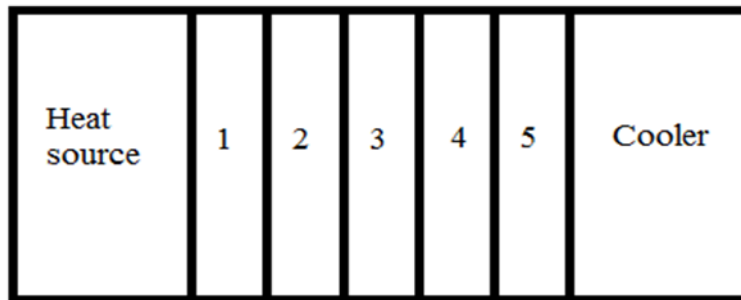
EKSPERIMENTALNI DEO

Za proizvodnju uzorka su korišćeni komercijalni PMMA (Biocril (Galenika AD, Srbija)) i dimetil-itakonat (DMI) (Sigma-Aldrich). Priprema PMMA se sastoji od dvokomponentnog sistema: prvi je tečna komponenta - metilmetakrilat (MMA) kao monomer i etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) kao umreživač, a drugi je komponenta praha - prepolimerizovana PMMA obložena dibenzoil peroksidom kao inicijatorom. Biokril, njegova komponenta praha, je u literaturi okarakterisana na sledeći način: molekulska masa je $M_n = 1,27 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$, $M_v = 3,82 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$, a indeks polisiprstivosti $PI = 3,01$, sa 4,3 mas. % sadržaja monomera i prosečne veličine čestica od $55 \mu\text{m}$ [30].

Čestice aluminiјum oksida dopirane gvožđe oksidom, koje su korišćene kao ojaćanje, su pripremljene sol-gel tehnikom. Modifikacija čestica se vrši u dva koraka: sa 3-aminopropil) tri-metoksisilanom (AM) i metil esterima masnih kiselina lanenog ulja (biodizel - BD)

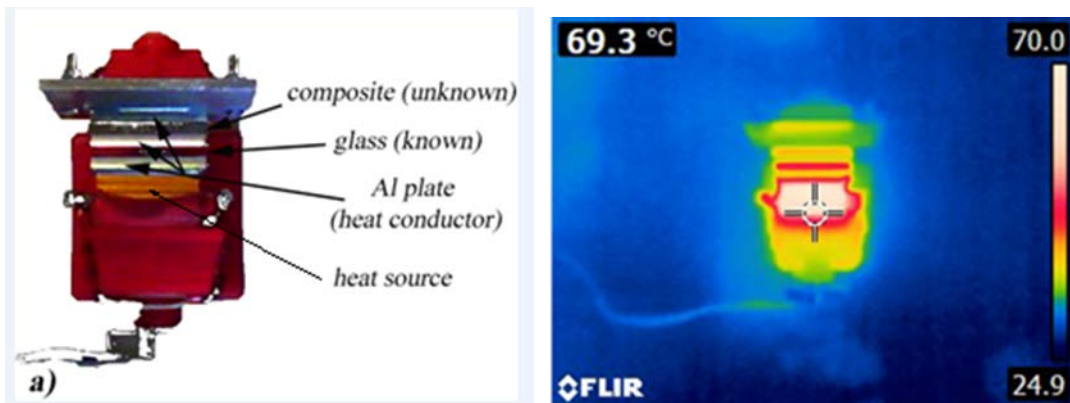
[31]. Pripremljene čestice modifikovane sa AM i BD označene su kao Al_2O_3 -AM, Al_2O_3 -BD, Al_2O_3 -Fe-AM i Al_2O_3 -Fe- BD.

Morfologija kompozita sa modifikovanim česticama je ispitivana korišćenjem elektronskog mikroskopa za skeniranje emisija polja (FESEM), MIRA3 TESCAN, koji radi na 3 kV. Instron mašina za testiranje (modelni broj 6025) T, je bila mašina za ispitivanje koja se koristila za ispitivanje zatezanjem. Za test zatezanja, uzorak je imao standardne dimenzije. Za merenje modula elastičnosti kompozita korišćeni su dobijeni podaci. Specifična toplotna provodljivost merena je u posebno pripremljenom aparatu prilagođenom veličini i obliku uzoraka (slika 1.)



Slika 1. Skica uređaja za merenje specifične toplotne provodljivosti

1 – Provodnik toplote (aluminijum); 2 – referentni element; 3 - Provodnik toplote (aluminijum); 4 - uzorak; 5 - Provodnik toplote (aluminijum)



Slika 2. Eksperimentalna postavka

Ako zanemarimo efekat ivica, može se smatrati da je toplotni tok kroz elemente uređaja isti. U tom slučaju se postupak merenja specifične toplotne provodljivosti svodi na merenje padova temperature na referentnom elementu (2) i uzorku (4). U slučaju da je staklo odabran kao referentni element, dobija se specifična toplotna provodljivost uzorka u $V / (m \cdot K)$

$$\lambda = 0.84 \frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_5}$$

Za merenje temperature elemenata u opisanom aparatu je korišćena digitalna termovizijska kamera FLIR E6, zasnovana na nehlađenom detektoru mikroblometra. On formira toplotnu sliku merenjem infracrvenog zračenja određenog tela ili cele scene. Naknadna obrada se vrši uz pomoć profesionalnog softvera FLIR Tools +.

REZULTATI

Rezultati dobijeni mehaničkim ispitivanjima predstavljeni su u Tabeli 1. Vrednosti toplotne provodljivosti su izmerene a zatim upoređene.

Tabela 1. Toplotna provodljivost uzoraka

Uzorak	λ	Uzorak	λ
PMMA	0.7862	1 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	0.6794
1 wt. % Al₂O₃-AM	0.5023	3 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	0.8889
3 wt. % Al₂O₃-AM	0.5425	5 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	0.6300
5 wt. % Al₂O₃-AM	0.7008	1 wt. % Al₂O₃-BD	0.5961
1 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	0.6685	3 wt. % Al₂O₃-BD	0.6345
3 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	0.6708	5 wt. % Al₂O₃-BD	0.6368
5 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	0.6737		

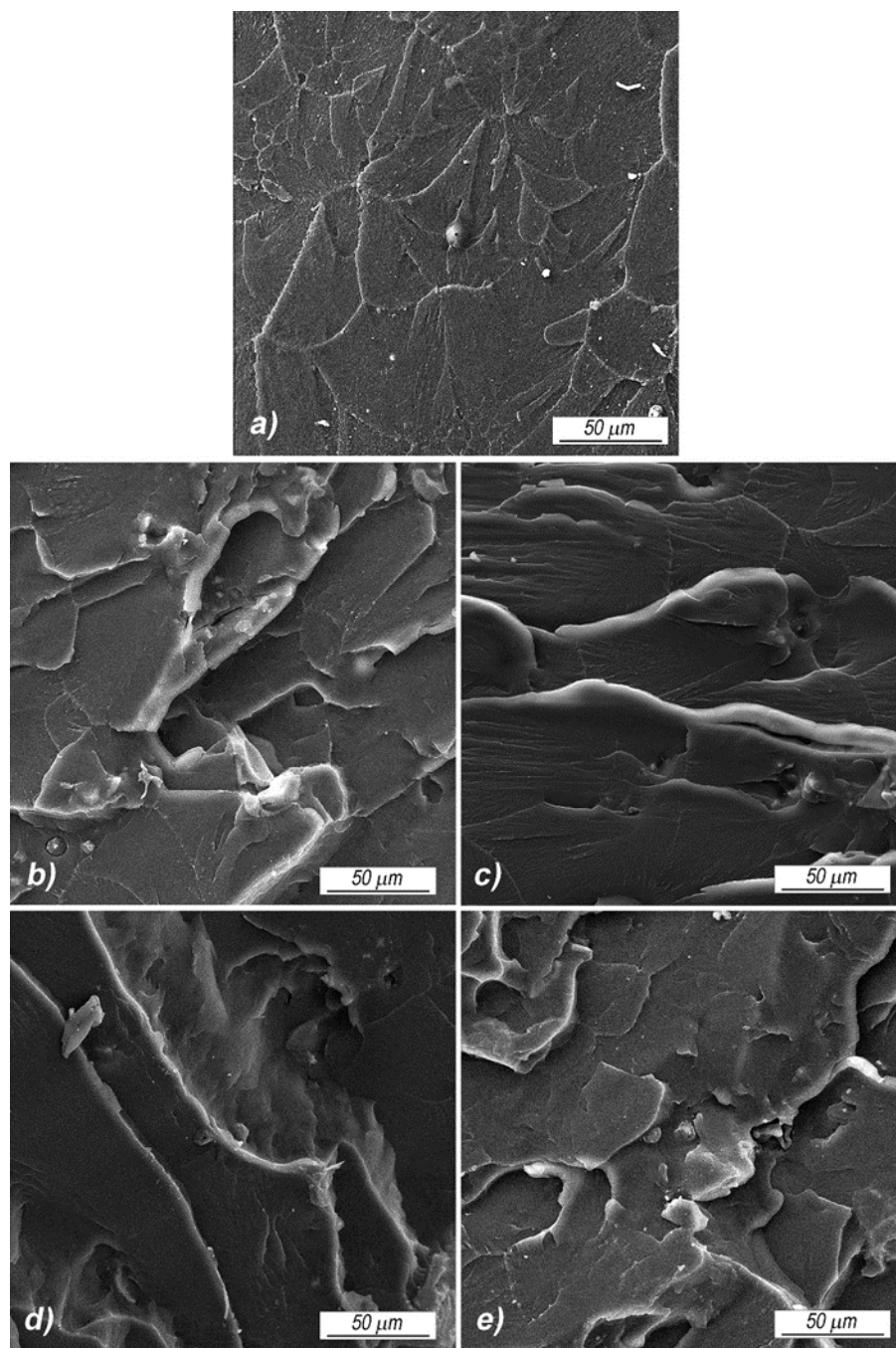
Ključna uloga u predviđanju svojstva zapaljivosti je toplotna difuzivnost. To je sposobnost materijala da prenosi toplotu a ne da je apsorbuje. Poznato je da pojačanje, na primer, nanočestice metalnog dioksida kao što aluminijum oksid, titanijum dioksid i sl. mogu da modifikuju termičku razgradnju polimera [32]. Povećanjem temperature do temperature stakla (T_g) povećava se toplotna provodljivost PMMA. S druge strane, kada temperature ode iznad T_g, ona se smanjuje [33]. Punioci mogu smanjiti zapaljivost i poboljšati termičku stabilnost. U Tabeli 1 je predstavljeno kako se vrednost toplotne provodljivosti smanjuje u odnosu na PMMA. Iz predstavljenih rezultata se može zaključiti da je najveća toplotna provodljivost uočena kod kompozita sa 3 mas. % Al₂O₃Fe-AM koji je povećan na 0,8889, tj. 10,57% u poređenju sa PMMA. Na osnovu rezultata možemo zaključiti da se toplotna provodljivost polimera povećava dodatkom nanočestica aluminijum oksida [34].

Tabela 2. Karakteristike PMMA matrice I dobijenih kompozita

	Uzorak	Sila zatezanja (σ_t), MPa	Procenat izduženja (ϵ_t), %	Modul elastičnosti (E _t), MPa
1	PMMA 1			
2	PMMA 2	39.5	7.88	800.0
3	1 wt. % Al₂O₃-AM	38.4	9.50	569.2
4	3 wt. % Al₂O₃-AM	46.3	12.2	590.2
5	5 wt. % Al₂O₃-AM	35.4	8.85	473.1
6	1 wt. % Al₂O₃-BD	48.1	7.58	762.8
7	3 wt. % Al₂O₃-BD	49.0	11.9	838.3
8	5 wt. % Al₂O₃-BD	25.4	5.09	549.5
9	1 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	37.9	6.45	896.7
10	3 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	39.1	6.59	1092.7
11	5 wt. % Al₂O₃-Fe-AM	29.3	4.96	825.4
12	1 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	37.0	9.49	747.4
13	3 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	47.9	9.50	776.5
14	5 wt. % Al₂O₃-Fe-BD	35.7	8.76	629.6

Izvršeno je mehaničko ispitivanje uzoraka. U tabeli 2 su predstavljeni rezultati koji pokazuju da je u svim uzorcima sa 3 mas.% čestica konstatovano značajno povećanje σ_t , ϵ_t i E_t. Ovaj priraštaj se može prepisati efikasnoj disperziji čestica Al₂O₃-Fe, što znači da je utvrđena veća količina intermolekularnih (dipola / dipola) interakcija između površinskih hidroksilnih grupa čestica i polarnih privezanih grupa PMMA / DMI matriksa. Modul

elastičnosti je uvećan za 26,79% u poređenju sa PMMA. Suprotno time, dodavanje čestica Al_2O_3 -AM dovodi do pogoršanja zateznog naprezanja i modula elastičnosti. Pomoću površinskog skenirajućeg mikroskopa smo dobili strukturne slike uzoraka, prikazane na slici 3.

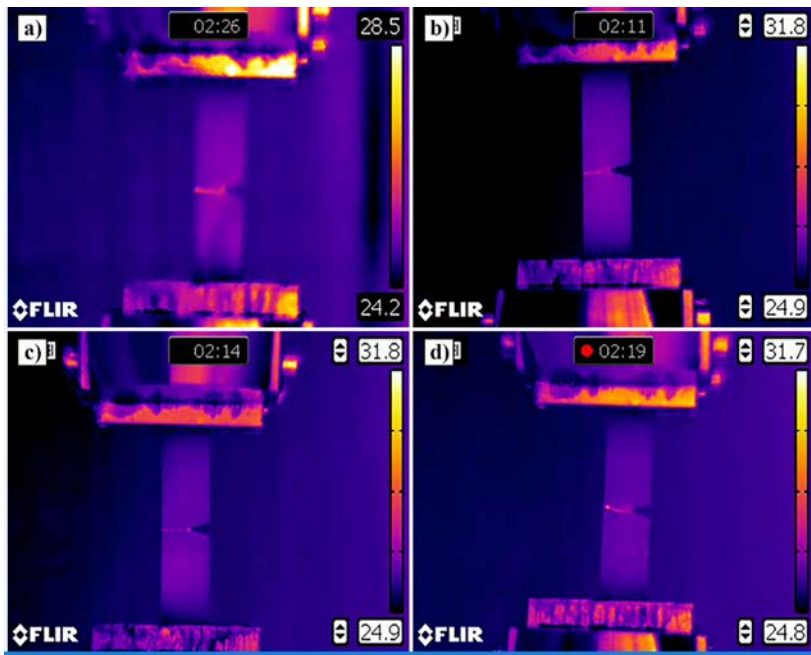


Slika 3. FE-SEM slike površine loma uzorka: a) PMMA / DMI i kompoziti ojačani sa b) 5 mas. % Al_2O_3 -AM, c) 5 mas. % Al_2O_3 -BD, d) Al_2O_3 -Fe-AM i e) Al_2O_3 -Fe-BD

SEM slike kompozita 3 b-c) pokazuju sličnu morfologiju kao i matrica (slika 3a). Na slikama se vidi da su uzorci sa PMMA / DMI i sa 5 mas. % Al_2O_3 -BD + PMMA / DMI

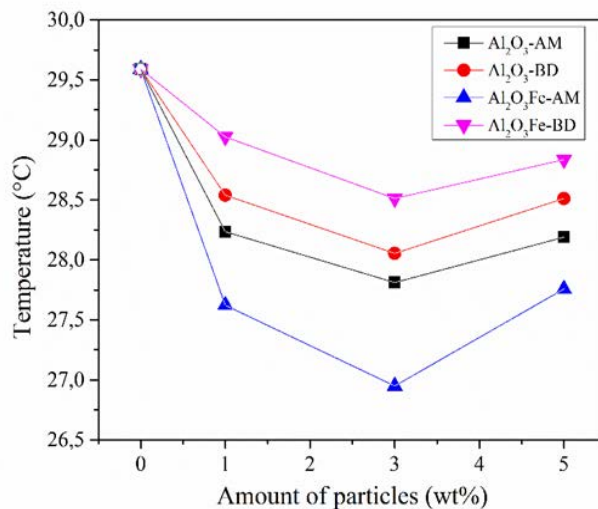
pokazali glatku i kompaktniju strukturu u odnosu na drugogi uzork sa 5 mas. % Al_2O_3 -AM + PMMA / DMI. Primećeno je da su čestice formirale grozdaste strukture unutar matriksa smole. Ono što je zajedničko svim uzorcima to je što nema pojave agregata ni u jednom od njih.

Pošto pojava agregata nije uočena ni na jednom uzorku, može se zaključiti da je modifikacija površine čestica doprinela homogenoj disperziji čestica u matrici. Termička kamera korišćena je za nadgledanje promene temperature materijala u području loma tokom ispitivanja zatezanja materijala. Termografija se zasniva na korišćenju toplotne energije i njenoj apsorpciji i disperziji u uzorku. Infracrvena termografija je beskontaktna tehnika optičkog snimanja za otkrivanje pukotina i mikropukotina. Raspodela temperature jasno ukazuje na oblik i lokaciju područja oštećenja. Termografi neispravnih kompozita pokazuju anizotropiju toplotnog toka [35]. Termogrami uzoraka tokom ispitivanja zatezanja prikazani su na slici 4.



Slika 4. Termogrami uzoraka prilikom testa na zatezanje: a) Al_2O_3 -AM, b) Al_2O_3 -BD, c) Al_2O_3 -Fe-AM i d) Al_2O_3 -Fe-BD

Termogravimetrijske krive PMMA I kompozita su prikazani na slici 5.



Slika 5. Grafik temperatura-količina čestica

Na grafiku je prikazana vrednost temperature u tački inicijacije pucanja. Veoma je zanimljivo da svi uzorci pokazuju isti trend. Temperature vrednosti svih kompozita koje sadrže 3 mas. % su u padu. Sa uzorcima od 5 mas.% je uočeno povećanje temperature kompozita. Zanimljivo je da imaju skoro istu vrednost kao i 1 mas. % kompozita. Termička stabilnost PMMA se najviše poboljšava u uzorku kome je dodat Al_2O_3 -Fe-AM. Najveće smanjenje je za kompozit sa 3 mas. % Al_2O_3 -Fe-AM i iznosi 10,28% u odnosu na PMMA.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ove studije, toplotna provodljivost, modul elastičnosti i čvrstoća su poboljšani dodavanjem itakonata u matricu, koja je napravljena od kopolimera PMMA itakonata. Čestice na bazi aluminijum-oksida korišćene su kao pojačanje sa modifikovanom površinom 3-aminopropil tri-metoksisilanom (AM), a u drugom stepenu sa metil-esterima masnih kiselina (biodizel-BD). Čestice za modifikaciju površine uspostavljaju bolju vezu sa polimernim matriksom kroz kovalentne i vodonične veze i interakcije dipola i dipola. Termo grammi tokom ispitivanja zatezanjem pokazuju razlike u temperaturama koje se javljaju u zoni loma kompozitnih materijala. Temperatura u zoni loma usko je povezana sa efikasnošću prenosa opterećenja i temperaturnom provodljivošću samog materijala. Mehanička svojstva materijala poboljšavaju se dodavanjem anorganskih čestica na bazi aktivirane površine aluminijum oksida, stvarajući tako novi kompozitni materijal sa poboljšanim mehaničkim i termičkim svojstvima.

Rezultati pokazuju značajno poboljšanje toplotne provodljivosti kompozita dodavanjem svih vrsta čestica na bazi aluminijum oksida. Takođe se poboljšava I modul elastičnosti. Najbolji rezultati se dobijaju kod 3 mas. % Al_2O_3 -Fe-AM.

Abstract

The aim of this work is to examine the thermal properties of acrylate-based composite combined with alumina-based particles. The composite was made of PMMA poly (methyl methacrylate) as matrix and alumina particles modified with 3-aminopropyl-trimethoxylane (AM) and flax oil fatty acid methyl esters (biodiesel-BD) which were used as reinforcement. . It is being perceived that Young's modulus of the composite is depending on the quantity of the particles which are added. Scanning electron microscope (SEM) and tensile test were used to test the morphological structure and thermal properties of hybrid composites.

Keywords: *composite materials, PMMA matrix, Al_2O_3 reinforcement, aluminium oxide, thermal properties*

LITERATURA

1. Moshaverinia A., *et al.*, *Dent. Mater.*, 25 (2009), pp. 1240
2. Moshaverinia A., *et al.*, *Dent. Mater.*, 24 (2008), pp. 1381

3. Kinashita K., *Chem J., Soc. Japan*, 50 (1929), pp. 583
4. Frazer R.Q., *et al.*, *J. Long Term Effects Med. Implants*, 15 (2005), pp. 629
5. Tate B.E., *Vinyl and Diene Monomers*, Wiley-Interscience, New York, USA, 1970, pp. 205
6. Fernández-García M., *et al.*, *Polymer*, 37 (1996), pp. 263
7. Madruga E.L., Fernández-García M., *Polymer*, 35 (1994), pp. 4437
8. Fernández-García M., *et al.*, *Polymer. Eng. Sci.*, 41 (2001), pp. 1616
9. Fernández-García M., *et al.*, *Polymer*, 38 (1997), pp. 1367
10. Giavaresi G., *et al.*, *J.Mater. Sci. Mater. Med.*, 23 (2012), pp. 1247
11. EN ISO 20795-1:2013 Dentistry – Base polymers- Part 1: Denture base polymers (ISO 20795-1:2013).
12. J. Zheng, *et al.*, *J.Mater. Sci. Mater. Med.*, 22 (2011), pp. 1063
13. Shtilman MI. *Polymeric Biomaterials*, VSP BV, Utrecht, 2003.
14. Spasojević P., *et al.*, *Polym. Int.*, 61 (2012), pp. 1272
15. Spasojević P., *et al.*, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80 (2015), pp. 1177
16. Fernández-García M., *et al.*, *A kinetic study on the radical copolymerization of dimethyl itaconate and methyl methacrylate in benzene*, *Polymer*, 37 (1996), No. 2, pp. 263-268
17. Fernández-García M., *et al.*, *Polymer*, 37 (1996), pp. 263
18. Madruga E.L., Fernández-García M., *Polymer*, 3 (1994), pp. 4437
19. Veličković J., Vasović S., *Relations and unperturbed dimensions of poly (di-n-alkyl itakonates)*, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 153 (1972), pp. 207-218
20. Spasojević P., *et al.*, *Poly(methyl methacrylate) denture base materials modified with ditetrahydrofurfuryl itaconate: Significant applicative properties*, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80 (2015), No. 9, pp. 1177-1192
21. Almbrok A. Ashor, Marija M. Vuksanović, Nataša Z. Tomić, Miloš Petrović, Marina Dojčinović, Tatjana Volkov Husović, Vesna Radojević, Radmila Jančić Heinemann, Optimization of modifier deposition on the alumina surface to enhance mechanical properties and cavitation resistance, *Polymer Bulletin Vol.* (2019)
22. Fu SY, Feng XQ, Lauke B, *et al.* *Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites*. *Compos Part B – Eng.* 39 (2008) pp. 933-961
23. Johnsen BB, *et al.*, *Preparation and characterization of epoxy/alumina polymer nanocomposites*. *Compos Interfaces.*, 20 (2013), pp. 721-740
24. Baudin C., *et al.*, *Processing of alumina and corresponding composites*, *Comprehensive Hard Materials*, 2, 2014.
25. J. Ma, B. Wu, *Effect of surfactants on preparation of nanoscale-Al₂O₃ powders by oil-in-water microemulsion*, *Advanced Powder Technology*, 24 (2013), pp. 354-358
26. K. Srinivas, A.O. Siddiqui and J. Lahiri, *Thermographic Inspection of Composite Materials*, *Non-Destructive Evaluation* 2006
27. Mathieu A, Mattei S, Deschamps A, Martin B, Grevey D. Temperature control in laser brazing of a steel/aluminium assembly using thermographic measurements, *NDT & E Int* 39 (2006) 272-6: Chrysochoos A. Infrared thermography, a potential tool for analysing the material behaviour. *Mecan Indus* (2002) 3, 3-14

28. R.N. Haward, Heating effects in the deformation of thermoplastics, *Thermochimica Acta* 247 (1994) 87-109
29. W.N. dos Santos, J.A. de Sousa, R. Gregorio, Thermal conductivity behaviour of polymers around glass transition and crystalline melting temperatures, *Polymer Testing*, 2013 10.1016/j.polymertesting.2013.05.007
30. Lazouzi G. A., *et al.*, Dimethyl itaconate modified PMMA – alumina fillers composites with improved mechanical properties, *Polym. Composite*, 2018.
31. A.A. Ashor, M.M. Vuksanović, N.Z. Tomić, A. Marinković, R. Jančić Heinemann, The influence of alumina particle modification on the adhesion of the polyacrylate matrix composite films and the metal substrate, *Composite Interfaces* 26 (2019) 417–430. <https://doi.org/10.1080/09276440.2018.1506240>
32. Friedrich B, *et al* Investigation of fire resistance mechanisms of the ternary system (APP/MPP/TiO₂) in PMMA; *Polym Degrad Stab.* 2012; 97(11):2154-2161
33. dos Santos WN, *et al* Thermal conductivity behaviour of polymers around glass transition and crystalline melting temperatures; *polym Test* 2013; 32 (5):987-994
34. Friedrich B, *et al* Tentative links between thermal diffusivity and fire-retardant properties in poly(methylmethacrylate)-metal oxide nanocomposites; *Polym Degrad Stab.* 2010; 95(7):1183-1193
35. Firas Awaja, Shengnan Zhang, Manoj Tripathi, Anton Nikiforov, Nicola Pugno, Cracks, microcracks and fracture in polymer structures: Formation, detection, autonomic repair, *Progress in Materials Science* 83 (2016) 536–573

Александра ЈЕЛИЋ¹
Вања МАЛИШИЋ¹
Марина СТАМЕНОВИЋ²
Славиша ПУТИЋ¹

¹Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

²Висока школа струковних студија Београдска политехника, Београд, Србија

НУМЕРИЧКО ОДРЕЂИВАЊЕ НАПОНА И ДЕФОРМАЦИЈЕ У ТРЕНУТКУ ПОЧЕТКА ЛОМА ПРВОГ СЛОЈА У УГЉЕНИК-ЕПОКСИ КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИЈАЛУ

РЕЗИМЕ

Предмет испитивања је угљеник-епокси композитни материјал оптерећен на уздужно испитивање претходно подвргнут механичком испитивању у циљу добијања вредности затезне чврстоће и модула еластичности, података неопходних за нумеричку анализу засновану на механици ламинатних композитних материјала.

Добијени резултати дају увид у процену могућности испитиваних структура композитних материјала и представљају основ за даљу примену, обликовање или даља испитивања. Основни циљ овог рада је добијање података о преосталом веку трајања композитног материјала до коначног лома.

Кључне речи: композитни материјали, механичко испитивање, напон, деформација, коначни лом

УВОД

Како би била добијена сазнања о потенцијалној примени композитних материјала, потребно је извести адекватно испитивање материјала према стандардима. На основу изведених испитивања је могуће добијање података о материјалу, на пример вредности затезне чврстоће, деформације и слично. Карактеризацијом композитних материјала добијају се подаци о могућностима материјала да испуне техничке захтеве примене. У односу на друге конструкционе материјале, композитни материјали имају широку примену захваљујући специфичној структури и механизмима оштећења и малој маси.

Различита структура код ламината омогућава да упркос појави првих оштећења у виду прелина, раскидања веза између влакана и матрице и деламинација, иницијалних ломова, композитни материјал је у могућности да носи оптерећење до коначног лома. Нумеричким одређивањем вредности напона и деформација при чему настаје лом првог слоја у ламинату, могуће је доћи до података о преосталом веку трајања композитног материјала до коначног лома. Како би било могуће извођење микромеханичке анализе ламината, изведена је механичка анализа сваког слоја ламината појединачно.

На основу теоријских сазнања о механичким својствима ламината, процесима израде материјала и испитивањима материјала, дошло се до података о материјалу, слагању експерименталних и нумеричких вредности које могу бити добијене без будућих испитивања, а односе се на овај материјал и њему сличне материјале.

Испитивање материјала је изведено применом ASTM (*American Society for Testing and Materials*) стандарда. На основу стандарда су дефинисане карактеристике материјала, методе, машине и апарати за испитивање карактеристика материјала и др.

Испитивани материјал је исецан у облику епрувета димензија прописаних ASTM стандардом.

МАТЕРИЈАЛ

Испитивани материјал је угљеник-епокси композитни материјал. Својства материјала су дата у Табели 1. Након обликовања материјала и слагања влакана, изведена је полимеризација у аутоклаву.

Табела 1 Својства угљеник-епокси композитног материјала

Величина	Вредност
Специфична густина ρ , [kg/m ³]	1600
Пречник влакна d , [μ m]	7 \div 15
Дебљина слоја t , [mm]	0,150
Затезна чврстоћа у уздужном правцу Rm_1 , [MPa]	1400
Затезна чврстоћа у попречном правцу Rm_2 , [MPa]	79
Модул еластичности у уздужном правцу E_1 , [GPa]	133
Модул еластичности у попречном правцу E_2 , [GPa]	8,5
Модул смицања G_{12} , [GPa]	5,8
Интерламинарна смицајна чврстоћа τ_{12} , [MPa]	78
Poisson-ов коефицијент [ν_{12}]	0,33

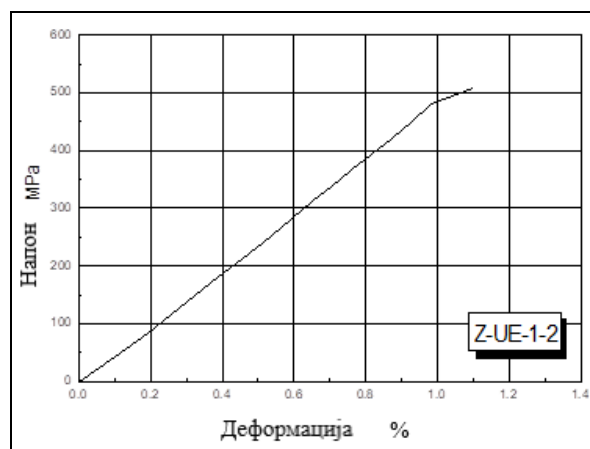
Слагање 0°/90° (Z-UE-1) је коришћено за испитивање затезне чврстоће. Димензије епрувета испитиваних на затезање су биле $l=200$ mm, $b=20$ mm, $d=2,3$ mm ($\pm 0,1$ mm).

Слагање $\pm 45^\circ$ је коришћено за испитивање смицајне чврстоће у равни 1-2. Димензије епрувета испитиваних на смицање су биле $l=250$ mm $b=20$ mm и $d=2,5$ mm ($\pm 0,1$ mm).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Испитивања су изведена помоћу опреме која има напонски капацитет хелије до 200 kN. Испитано је 10 епрувета на затезање. Брзина испитивања је била 2 mm/min.

Након испитивања на затезање, добијен је карактеристичан дијаграм напон-деформација са уређаја за испитивану епрувету Z-UE-1-2 (Слика 1).



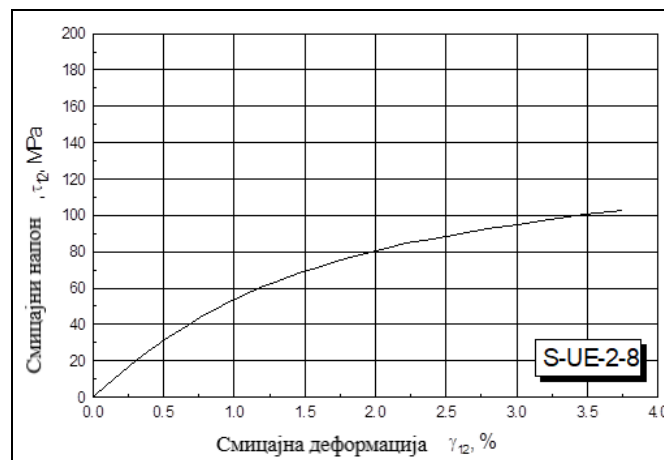
Слика 1 Дијаграм напон-деформација за Z-UE-1-2

Након испитивања на затезање, добијене су вредности максималне силе кидања, затезне чврстоће, модула еластичности и деформације епрувета на основу којих је закључено да су одступања добијених вредности минимална. (Табела 2)

Табела 2 Резултати испитивања епрувета на затезање (Z-UE-1)

Ознака епрувете	Ширина епрувете b , mm	Дебљина епрувете d , mm	Максимална сила кидања P_{max} , kN	Затезна чврстоћа R_{mI} , MPa	Модул еластичности E_I , GPa	Деформација ε_I , %
Z-UE-1-1	20,00	2,35	23,34	496,5	48,2	1,4
Z-UE-1-2	20,00	2,30	23,34	507,3	46,1	1,2
Z-UE-1-3	20,00	2,30	23,47	510,2	49,3	1,8
Z-UE-1-4	20,00	2,35	23,27	495,1	47,3	1,5
Z-UE-1-5	20,00	2,30	23,24	505,3	46,2	1,3
Z-UE-1-6	20,00	2,30	23,39	508,4	48,8	1,7
Z-UE-1-7	20,00	2,30	23,54	511,6	47,2	1,4
Z-UE-1-8	20,00	2,30	23,62	491,8	46,6	1,8
Z-UE-1-9	20,00	2,30	23,12	502,5	47,1	1,4
Z-UE-1-10	20,00	2,30	23,31	506,8	46,6	1,2

Испитивањем на смицање, добијен је специфичан дијаграм смицајни напон (τ_{12}) – смицајна деформација (γ_{12}) за испитивану епрувету S-UE-2-8. (Слика 2)



Слика 2 Дијаграм смицајни напон – смицајна деформација за S-UE-2-8

На основу резултата добијених након испитивања епрувета из групе S-UE-2, добијене су вредности максималне силе кидања, смицајне чврстоће, модула смицања, Poisson-ов коефицијент приказане у Табели 3.

Табела 3 Резултати испитивања епрувета на смицање S-UE-2

Ознака епрувете	Ширина епрувете b , mm	Дебљина епрувете d , mm	Максимална сила кидања P_{max} , kN	Смицајна чврстоћа τ_{12} , MPa	Модул смицања G_{12} , GPa	Poisson-ов коефицијент ν
S-UE-2-1	19,10	3,15	12,31	102,3	5,7	0,725
S-UE-2-2	19,00	3,10	12,28	104,3	5,5	0,728

S-UE-2-3	19,00	3,10	11,99	101,8	5,7	0,713
S-UE-2-4	19,20	3,10	11,96	100,5	5,1	0,709
S-UE-2-5	19,10	3,15	11,95	99,3	5,2	0,732
S-UE-2-6	19,20	3,15	12,47	103,1	5,3	0,724
S-UE-2-7	19,10	3,10	12,07	101,9	5,6	0,718
S-UE-2-8	19,10	3,10	12,35	104,3	5,3	0,719
S-UE-2-9	19,00	3,15	12,25	102,3	5,2	0,722
S-UE-2-10	19,20	3,10	11,99	100,7	5,3	0,711

НУМЕРИЧКО ОДРЕЂИВАЊЕ НАПОНА И ДЕФОРМАЦИЈА

Лом у композитном материјалу се манифестује појавом првих прслина у матрици, пуцањем влакана, деламинацијом и тада материјал више није у могућности да носи оптерећење. На основу адекватног алгоритма и података добијених испитивањем материјала на затезање и смицање, дошло се до података о појави првих прслина у неком од слојева ламината и моменту коначног лома у композитном материјалу. Материјал се састоји из 20 слојева, а у раду је нумеричко одређивање напона и деформација изведено на 4 слоја од којих се сваки састоји од 5 слојева стварне дебљине препрега. На основу теоријских разматрања, изведено је нумеричко одређивање напона и деформација, па ће у наставку рада бити приказане коначне вредности података који ће помоћи разумевање појаве првих прслина и коначног лома.

Еластичне инжењерске константе препрега су: $E_1=133\text{ GPa}$, $E_2=8,5\text{ GPa}$, $\tau_{12}=78\text{ MPa}$, $G_{12}=5,8\text{ GPa}$, на основу којих су одређени елементи „compliance” матрице. Минорни Poisson-ов однос је $\nu_{21}=0,021$.

У Табели 4 приказани су локални напони и локалне деформације по слојевима у ламинату. Применом Tsai-Wu теорије добијене су вредности чврстоће за све слојеве у ламинату (Табела 4).

Табела 4 Локални напони, локалне деформације и чврстоће по слојевима у ламинату

Слој	Позиција	σ_1	σ_2	τ_{12}	ϵ_1	ϵ_2	τ_{12}	Максимална деформација	Tsai-Wu критеријум
1 (0°)	Горња површина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
	Средина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
	Доња површина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
2 (90°)	Горња површина	-16,42	59,63	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$
	Средина	-16,42	59,63	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$
	Доња површина	-16,42	59,63	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$
3 (0°)	Горња површина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
	Средина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
	Доња површина	607,1	16,42	0,0	$4,010 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-10}$	0,0	$2,328 \times 10^6$	$2,149 \times 10^6$
4 (90°)	Горња површина	-16,42	59,42	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$
	Средина	-16,42	59,42	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$
	Доња површина	-16,42	59,42	0,0	$-2,405 \times 10^{-10}$	$4,010 \times 10^{-9}$	0,0	$1,313 \times 10^6$	$1,316 \times 10^6$

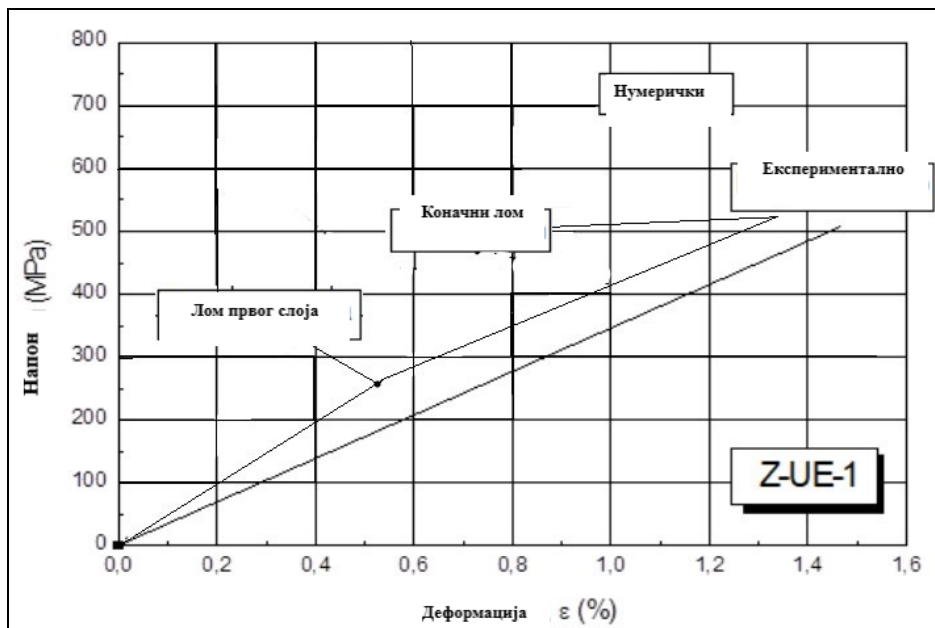
Вредности локалних напона и локалних деформација и чврстоће након лома првог слоја у угљеник-епокси композитном материјалу дате су у Табели 5.

Табела 5 Локални напони, локалне деформације и чврстоће након лома првог слоја у ламинату

Слој	Позиција	σ_1	σ_2	τ_{12}	ϵ_1	ϵ_2	τ_{12}	Максимална деформација	Tsai-Wu критеријум
1 (0°)	Горња површина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
	Средина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
	Доња површина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-2,405 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
2 (90°)	Горња површина	-	-	-	-	-	-	-	-
	Средина	-	-	-	-	-	-	-	-
	Доња површина	-	-	-	-	-	-	-	-
3 (0°)	Горња површина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-1,466 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
	Средина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-1,466 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
	Доња површина	$1,000 \times 10^2$	0,0	0,0	$2,52 \times 10^{-9}$	$-1,466 \times 10^{-9}$	0,0	$2,100 \times 10^6$	$2,100 \times 10^6$
4 (90°)	Горња површина	-	-	-	-	-	-	-	-
	Средина	-	-	-	-	-	-	-	-

Прорачуном су добијене следеће вредности: коначни лом $\sigma=530$ МПа, коначна деформација $\epsilon=1,36$ %, напон при лому првог слоја $\sigma=252$ МПа и деформација при лому првог слоја $\epsilon=0,53$ %.

На Слици 3 је приказан дијаграм напон – деформација на основу експериментално и нумерички добијених вредности за угљеник-епокси композитни материјал.



Слика 3 Упоредни приказ експерименталног и нумерички добијеног дијаграма напон – деформација за угљеник-епокси композитни материјал

ЗАКЉУЧАК

У раду је разматран угљеник-епокси композитни материјал испитан на затезање и смицање. Предмет и циљ рада је био утврђивање механичких својстава материјала.

Добијени резултати су задовољавајући и уједначени. Испитивањем је потврђено понашање структура композита истог слагања. Добијене су вредности коначног лома и деформације, напона и деформације при лому првог слоја, а одступања међу добијеним вредностима су мала. Израчунате су вредности модула еластичности лома првог слоја и

у тренутку коначног лома. Свакако, добијени резултати су оријентациони и представљају полазне вредности даљих истраживања ако се узме у обзир да се прорачун не односи на све слојеве ламината.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ASTM D 3039-76, "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites", Annual Book of ASTM Standard, Vol. 36, (1980), 734-739.
- [2] S. Putić, Mehanička svojstva polimernih kompozitnih materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 3 (2006)
- [3] R. Aleksić, I. Živković, P. Uskoković, "Kompozitni materijali", Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, (2015).
- [4] S. Putić, S. Milojević, "Vlaknima ojačani kompoziti u industriji motornih vozila", zbornik radova, Mašinski fakultet u Kragujevcu, (1995), 70-75.

Aleksandra JELIĆ¹
Vanja MALISIC¹
Marina STAMENOVIC²
Slavisa PUTIC¹

¹ Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

² Belgrade Polytechnic, Belgrade

ABSTRACT

The subject of the test is a carbon-epoxy composite material loaded on a longitudinal test previously subjected to mechanical testing to obtain tensile strength and modulus of elasticity, data required for numerical analysis based on the mechanics of laminated composite materials.

The obtained results give insight into the assessment of the possibilities of the investigated composite material structures and represent the basis for further application, design or further testing. The main objective of this paper is to obtain data on the remaining life of the composite material until the final fracture.

Key words: composite materials, mechanical testing, stress, deformation, final fracture

Acknowledgement

We would like to thank the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia for funding project TPP 35011.

Мирко МАКСИМОВИЋ¹
Ивана ВАСОВИЋ МАКСИМОВИЋ²
Катарина МАКСИМОВИЋ³

АНАЛИЗА ЧВРСТОЋЕ КОМПОЗИТНЕ ЦЕВИ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ И РЕЗУЛТАТИ НУМЕРИЧКИХ СИМУЛАЦИЈА

РЕЗИМЕ

Предмет разнотрања у раду се односи на димензионисање цеви од композитних материјала. Примарна пажња у раду се односи на валидацију метода прорачуна чврстоће композитне цеви под надпритиском применом нумеричких симулација на бази Методе Коначних Елемената (МКЕ). Поређењем вредности хидрауличког притиска прскања мокронамотаних узорака цеви полиестарска смола/стаклено влакно, добијених експерименталним путем, и особине модела цеви тј. вредности притиска при коме се јавља иницијални лом модела цеви, добијеног прорачуном на основу теорије чврстоће ортотропних вишеслојних композитних материјала, констатовано је добро слагање. Хидраулички притисак прскања мокронамотаних узорака цеви одређен је коришћењем алата специфичне конструкције, а прорачунавање особина модела цеви је извршено применом методе коначних елемената, критеријума лома и експериментално одређених механичких карактеристика мокронамотаног композита полиестарска смола/стаклено влакно. Успешна верификација прорачуна модела цеви показује да наведена теорија чврстоће може, са довољном поузданошћу, да се примени за мокронамотане елементе конструкције.

Кључне речи: *Композитни материјали, хидраулички притисак прскања, експериментални подаци, моделовање, прорачун, метода коначних елемената, верификација прорачуна.*

УВОД

Материјали представљају, поред енергетике и информатике, најважнији елемент даљег прогреса у техници. Један од битних фактора при изради елемената конструкције јесте избор материјала. Правилан избор подразумева коришћење материјала, за којег се основано процењује да ће моћи да задовољи функционалне захтеве. Како се пред елементе конструкције постављају све специфичнији и разноврснији захтеви, то се јављају и проблеми који материјали ће моћи да задовоље експлоатационе услове.

Инжењерски материјали се, на основу структуре и природе веза, могу, оквирно, поделити у четири групе: 1) метални материјали, 2) керамика и стакло, 3) полимерни материјали и 4) композитни материјали. Постоје процене да ће композитни материјали бити у првом плану, што се тиче ових решавања поменутих проблема. Композитни материјали се, најкраће речено, састоје од средства за ојачање и средства за импрегнацију, а понекад су присутни и адитиви. Средство за ојачање је носилац механичких карактеристика, док средство за импрегнацију повезује ојачање у компактну целину. Адитиви доприносе побољшању специфичних особина композитних материјала (ватроотпорност, цена, итд.). Композитни материјали поседују јединствен скуп посебних својстава тако да, с једне стране замењују класичне конструкционе материјале, а са друге стране, јесу једини избор за израду елемената нових конструкција [1].

¹ др Мирко Максимовић, дипл. инж. маш., ЈКП Београдски водовод и канализација, Београд

² др Ивана Васовић Максимовић, дипл. инж. маш., Лола институт, Београд

³ др Катарина Максимовић, дипл. инж. маш., Градска управа града Београда

За израду композитних материјала технологијом мокрог намотавања користе се средства за ојачање и виду континуалних влакана (стаклена, угљенична, арамидна, итд.) и средства за импрегнацију у виду течне смоле (полиестарске, епокси, итд.). Основу ове технологије чини намотавање влакна импрегнисаног смолом на алат и очвршћавање намотане структуре. У основи развијена за потребе војне индустрије, ова технологија омогућава да се влакно постави у правцу оптерећења, која се очекују у експлоатацији дела. Захваљујући овој јединственој околности, механичка својства влакана у уздужном правцу могу се искористити у највећој мери. На основу свега овога јасно је да се технологијом мокрог намотавања добијају материјали са особинама изразите анизотропије везане за правац у коме је влакно постављено. Другим речима, добија се материјал који поседује различите механичке карактеристике у различитим правцима. Композитни материјали урађени овом технологијом имају највећи процентуални садржај влакана од свих композитних материјала и малу густину. Ова чињеница је од битног значаја када су у питању оптерећени елементи конструкције, који морају да имају и малу масу. Пошто су полимери, понекад, средство за ојачање, а често, средство за импрегнацију, сматра се да постоји више од 5.000 полимерних композитних материјала [1-5]

Овај рад има три циља:

-први циљ је моделовање цеви, које ће бити урађене технологијом мокрог намотавања, односно прорачунавање хидрауличног притиска који изазива иницијални лом модела цеви. Прорачун је базиран на теорији чврстоће слојевитих композитних материјала са ортотропним својствима. Одабране су четири структуре намотавања цеви. Под структуром намотавања се подразумева број слојева и углови под којима је намотано средство за ојачање у односу на уздужну осу цеви.

-други циљ је експериментално одређивање хидрауличног притиска прскања узорака цеви, урађених технологијом мокрог намотавања стакленог влакна импрегнисаног полиестарском смолом. Узорци цеви су добијени коришћењем истог влакна и смоле, који су примењени за израду равних епрувета, чије експериментално одређене механичке карактеристике су употребљене за прорачун особина модела цеви [4,6]. Експериментално испитани узорци цеви су исте структуре намотавања, тј. имају исти број слојева и углове намотавања као и прорачунати модели цеви. За практично одређивање хидрауличног притиска прскања узорака цеви коришћен је алат специфичне конструкције.

-трећи циљ је поређење прорачуном добијене вредности притиска, који изазива иницијални лом модела цеви, и експериментално добијене вредности хидрауличног притиска прскања узорака цеви, односно верификација поступка моделовања цеви и прорачунавања особина модела цеви.

АНАЛИЗА ЧВРСТОЋЕ И КРИТЕРИЈУМИ ЛОМА

Прорачун чврстоће влакнима ојачаних композитних структура до иницијалног лома знатно је сложенији у односу на прорачун структура од изотропних материјала. Код теорије чврстоће изотропних материјала, функција напона изједначена са једним параметром (на пр. затезна чврстоћа материјала). Код теорија чврстоће анизотропних материјала функција напона има више од једног параметра чврстоће. Теорије лома композитних структура су функције напона и одговарајућих особина чврстоће материјала. Комплексност анализе лома композитних структура потиче и од чињенице да се материјал састоји од танких ортотропних слојева (ламина), а сваки слој од средства за ојачање (влакна) и средства за импрегнацију (смоле).

У већини теорија лома за композитне вишеслојне материјале тј. за ламинате користе се квадратне функције напона. Голденблант и Копнов су предложили да се функција чврстоће F прикаже као тензорско-полиномна апроксимација [5]:

$$F = (F_{ij} \sigma_{ij})^\alpha + (F_{ijkl} \sigma_{ij} \sigma_{kl})^\beta + (F_{ijklmn} \sigma_{ij} \sigma_{kl} \sigma_{mn})^\gamma - 1 \quad (1)$$

где су:

F_{ij} , F_{ijkl} , F_{ijklmn} - тензори чврстоће 2., 4. и 6. реда,

α, β и γ - константе материјала
 $\sigma_{ij}, \sigma_{ijk}, \sigma_{ijklmn}$ - тензори напона 2., 4. и 6. реда.

За одређивање иницијалног лома користе се различити критеријуми, а два најзначајнија критеријума лома ламината су лом смоле и лом влакана. Сматра се да је лом смоле најсложенији лом у ламинату. Најчешће коришћени критеријуми лома за влакнима ојачане композитне материјале заснивају се на тензорско-полиномној формулацији.

За случај $\alpha = \beta = \gamma = 1$ тензорско-полиномна апроксимација подразумева формирање полинома као скаларне функције компонената напона, који може да се напише у најопштијој форми као:

$$F_i \sigma_i + F_{ij} \sigma_i \sigma_j + F_{ijk} \sigma_i \sigma_j \sigma_k + \dots = 1 \quad i, j, k = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

где су:

$\sigma_i, \sigma_j, \sigma_k$ -компоненте тензора напона,
 F_i, F_{ij}, F_{ijk} -компоненте тензора чврстоће лома унидирекционалног материјала, које су биле 2., 4. и 6. реда.

Минимални ред тензорско-полиномне функције (једн. 2) зависи од анизотропије материјала. Уочено је да за материјале који поседују ортотропну симетрију, тензорско-полиномна функција може да се сведе на други ред.

За овакве вишеслојне композитне материјале може да се користи квадратна форма тензорско-полиномног критеријума лома у облику:

Tsai-Wu критеријум за срачунавање нивоа оптерећења при коме се јавља иницијални лом

$$F_i \sigma_i + F_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (= 1) \quad i, j, k = 1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

Нормалне и смичуће компоненте тензора чврстоће лома другог реда (F_{ij}) као и све компоненте тензора разлике чврстоће лома првог реда (F_i), у већини теорија лома анизотропних материјала, дефинишу се на следећи начин:

$$F_i = X_i^{-1} - X_c^{-1} \quad \text{и} \quad F_{ij} = (X_i X_c)^{-1} \quad i < 3 \quad (4)$$

$$F_i = Y_i^{-1} - Y_c^{-1} \quad \text{и} \quad F_{ij} = (Y_i Y_c)^{-1} \quad i \geq 3 \quad (5)$$

где је:

X_t - затезна чврстоћа у правцу влакана,
 X_c - притисна чврстоћа у правцу влакана,
 Y_t - затезна чврстоћа попречно на правац влакана,
 Y_c - притисна чврстоћа попречно на правац влакана.
 У ову једначину може да се уврсти и савојна чврстоћа.

Од више критеријума за лом смоле изабран је и примењен критеријум највеће деформације. Користећи одговарајуће релације, општи израз за иницијални лом за критеријум највеће деформације има следеће вредности за компоненте F_i и F_{ij} :

$$F_1 = (X_t^{-1} - X_c^{-1}) - \nu_{TL} (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}) \quad (6)$$

$$F_2 = -\nu_{TL} E_L E_T^{-1} (X_t^{-1} - X_c^{-1}) + (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}) \quad (7)$$

$$F_{11} = (X_t X_c)^{-1} + \nu_{TL} (X_t^{-1} - X_c^{-1}) (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}) + \nu_{TL}^2 (Y_t Y_c)^{-1} \quad (8)$$

$$F_{22} = -\nu_{TL} E_L^2 E_T^{-2} (X_t X_c)^{-1} + \nu_{TL} E_L E_T^{-1} (X_t^{-1} - X_c^{-1}) (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}) + (Y_t Y_c)^{-1} \quad (9)$$

$$F_{12} = -\nu_{TL} E_L E_T^{-1} (X_t X_c)^{-1} - 1/2 (1 + \nu_{TL}^2 E_L E_T^{-1}) (X_t^{-1} - X_c^{-1}) (Y_t^{-1} - Y_c^{-1}) - \nu_{TL} (Y_t Y_c)^{-1} \quad (10)$$

где су:

ν_{TL} - Поасонов коефицијент при затезању и притискању,
 E_L - модул еластичности у правцу влакана при затезању и притискању,
 E_T - модул еластичности попречно на влакна при затезању и притискању.

Прорачун чврстоће модела мокронамотаних цеви, базиран на теорији чврстоће слојевитих композитних материјала са ортотропним особинама, извршен је применом методе коначних елемената (МКЕ) и софтверског пакета MSC/NASTRAN [7]. Овај софтверски пакет, поред анализе напонских стања појединих слојева, омогућава и одређивање нивоа оптерећења, у овом случају унутрашњег хидрауличког притиска, при коме се јавља иницијални лом неког од

слојева. Практично, цев је моделирана коришћењем коначних елемената вишеслојних љуски за одређивање напонских стања слојевитих композитних материјала са ортотропним карактеристикама и критеријума лома на бази највеће деформације за иницијални лом, а сваки коначни елемент састоји од онолико слојева колико их има и одговарајућа цев која се прорачунава. Нивои оптерећења односно притиска у моделима цеви при којима се јавља иницијално прскање у неком од слојева, одређени су на основу радних напона, добијених анализом МКЕ, ломних чврстоћа материјала и поменутог критеријума лома.

Први податак који се добија при прорачуну хидрауличког притиска који изазива иницијални лом модела цеви је коефицијент иницијалног лома (Failure Index –F.I). Овај коефицијент представља однос између чврстоће компо-зитног материјала при лому и радних напона који се јављају у цевима, као последица деловања унутрашњег хидрауличког притиска. Уобичајено је да се за вредност хидрауличког притиска који делује унутар цеви узме вредност која стварно изазива прскање цеви. За случај када такав податак није доступан, узима се било која друга процењена вредност. После одређивања коефицијента иницијалног лома, израчунава се однос хидрауличког притиска који је узет у прорачун и поменутог коефицијента и тако се добија прорачунски притисак иницијалног лома цеви. Он практично представља притисак при коме се јавља иницијални лом, тј. прво прскање неког од слојева у цеви

Ако се за вредност хидрауличког притиска који делује унутар цеви узме вредност која стварно изазива прскање цеви и, ако би се при прорачуну за коефицијент иницијалног лома добила вредност 1.0, то би значило да се прорачун у потпуности слаже се експериментом. Ако се прорачуном добије вредност коефицијента иницијалног лома различита од 1.0, то је управо разлика између прорачуна и експеримента.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За израду цеви коришћени су систем полиестарске смоле трговачке ознаке ДУГАПОЛ Х230, произвођача "ДУГА", Београд и стаклени ровинг трговачке ознаке Р 2117 произвођача "ЕТЕКС", Баљевац на Ибру.

Цеви су урађене поступком мокрог намотавања помоћу машине PLASTREX тип PLA 500 произвођача PLASTEX - MANUHRIN, Француска.

Машинском обрадом из цеви су исечени узорци дужине 400 mm, а са спољне површине скинут је само слој чисте смоле, тако да завршни слој стакленог влакна остане неоштећен.

Ознаке четири групе узорака цеви, као и структура намотавања (идући од унутра према споља), унутрашњи пречник, спољашњи пречник и дебљина зида наведени су у табели 1.

Табела 1: Ознаке групе, структура, унутрашњи пречник, спољашњи пречник и дебљина зида узорака цеви

Ознака групе цеви	Структура Намотавања	Унутрашњи речник цеви (mm)	Спољашњи пречник цеви (mm)	Дебљина зида цеви (mm)
А	1 x 90° 2 x 61° 1 x 90°	64,20	67,60	1,70
Б	1 x 90° 2 x 45° 1 x 90°	64,20	67,60	1,70
В	2 x 90° 4 x 61° 2 x 90°	64,20	71,10	3,45
Г	2 x 90° 4 x 45° 2 x 90°	64,20	71,10	3,45

На спољну површину узорака цеви залепљена је мерна трака ознаке 10/120 XA 11 произвођача HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH, Немачка помоћу лепка ознаке X 60 истог произвођача.

Овако комплетирани узорци цеви монтирани су на алат специфичне конструкције за испитивање хидрауличног притиска њиховог прскања.

За експериментално одређивање карактеристика ових узорака цеви коришћени су уређај за хидраулички притисак произвођача WALTER & BAI опсега до 200 MPa са заштитном опремом, алат специфичне конструкције за испитивање хидрауличног притиска прскања цеви и пиезо-електрични претварач притиска ознаке 601H опсега до 100 MPa произвођача KISTLER, Немачка.

Дигитални осцилоскоп ознаке NICOLET 4094 B са припадајућом опремом, произвођача NICOLET INSTRUMENTS, САД коришћен је за истовремено регистровање унутрашњег хидрауличног притиска и деформација.

Резултати испитивања и анализа

Материјал цеви: полиестарска смола/стаклено влакно)

1. Карактеристике материјала су одређене са стандардним епруветама:

$X_t = 694,7$ MPa - затезна чврстоћа у правцу влакана

$X_c = 409,3$ MPa - притисна чврстоћа у правцу влакана

Y_t - затезна чврстоћа попречно на правац влакана = 9,72 MPa,

Y_c - притисна чврстоћа попречно на правац влакана = 11,05 MPa,

X_{LT} - смицајна чврстоћа = 11,06 MPa,

$E_{L,t} = 10,95$ GPa - модул еластичности при затезању у правцу влакана

$E_{L,c} = 1.171$ MPa - модул еластичности при притискању у правцу влакана = 1.171 MPa,

-

- модул еластичности при затезању попречно на правац влакана = 3,51 GPa,

- модул еластичности при притискању попречно на правац влакана = 767,1 MPa,

- Поасонов коефицијент при затезању у правцу влакана = 0,296

- Поасонов коефицијент при затезању попречно на правац влакана = 0,13,

- Поасонов коефицијент при притискању у правцу влакана = 0,312,

- Поасонов коефицијент при притискању попречно на правац влакана = 0,181,

- савојна чврстоћа = 1.097,9 MPa,

- интерламинарна чврстоћа = 44,3 MPa,

- модул смицања = 6,55 MPa.

2. Дефинисања димензија и структуре намотавања узорака цеви:

- унутрашњи пречник = 64,2 mm

- дужина = 400 mm

- спољашњи пречник (цеви групе А) = 67,60 mm

- број и углови намотавања слојева:

на пример, цеви групе А: 1 x 90°

2 x 61°

1 x 90°

3. Уношења услова ортотропности.

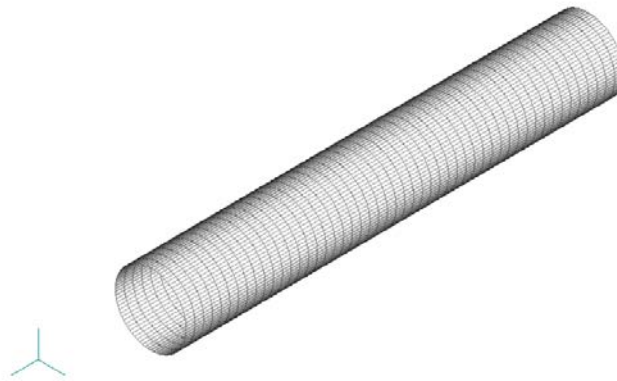
4. Дефинисања мреже коначних елемената за цеви наведених димензија. Изабрана је мрежа коначних елемената густине која, са једне стране даје довољну тачност, а са друге стране чини да прорачун није компликован, тј. модел цеви се састоји од око 4000 коначних елемената типа вишеслојних љуски ("laminated"). У анализи су коришћени 4-чворни коначни елементи вишеслојних љуски који задовољавају критичне "patch tests"-ове. Дефинисања услова испитивања. Пошто је узорак цеви ослоњен са оба краја на делове алата за испитивање, то конкретно значи да нема аксијалних, већ само радијалних деформација, и у програм се, такође, уноси податак да су цеви оптерећене унутрашњим хидрауличким притиском.

Прорачунате су особине четири модела цеви, оптерећених унутрашњим притиском, који су сви истих дужина и унутрашњег пречника. Разликују се само у структури намотавања као и дебљинама самих слојева. Модел коначних елемената композитне цеви, приказан је на Сл. 1, а расподела коефицијената иницијалног лома на Сл. 2.

МОДЕЛ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

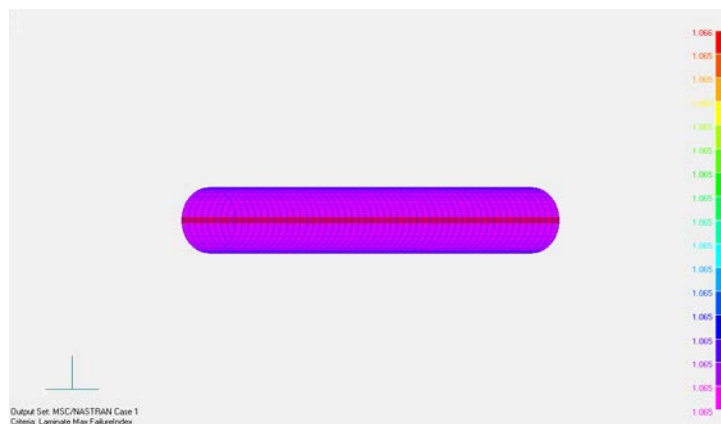
Цев је моделирана 4-чворним коначним елементима вишеслојних љуски

- Структурална анализа је урађено користећи метод коначних елемената (МКЕ) у оквиру софтверског пакета MSC/NASTRAN [7]
- Сваки од слојева има ортотропне карактеристике



Сл. 1 Модел коначних елемената композитне цеви

Резултати прорачуна чврстоће композитне цеви обухватају одређивање напонских стања у сваком слоју композитне цеви с једне и коефицијент иницијалног лома ($F.I$ - Failure Index) с друге стране. На Сл. 2 графички је приказан коефицијент иницијалног лома/отказа о композитној цеви.



Сл.2 Расподела коефицијената иницијалног лома

Анализа напонских стања, применом МКЕ, извршена је, узимајући одређену вредност хидрауличног притиска. На пример, за прорачун узорка цеви групе А изабрано је да хидраулички притисак буде 23,0 МПа. Овај притисак је изабран на основу експериментално одређене аритметичке средње вредности хидрауличног притиска прскања узорка цеви групе А, која износи 22,34 МПа. Избор може да се врши потпуно произвољно, али је овде искоришћена чињеница да је била позната експериментална вредност притиска прскања, па је једноставно

само извршено њено заокруживање. Тако је добијена прорачунска вредност коефицијента иницијалног лома (F.I.) за цеви групе А:

$$F.I. = 0,96$$

Комбинацијом већ постојећих података за чврстоћу и коефицијента иницијалног лома, према прорачунској анализи, добија се прорачунски притисак иницијалног лома цеви групе А:

$$23,0 / 0,96 = 23,96 \text{ МПа.}$$

Прорачунском анализом је, такође, утврђено да се иницијални лом јавља у унутрашњем слоју под углом од 90° код све четири групе цеви.

ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА СА ЕКСПЕРИМЕНТИМА

Ознака групе цеви, изабрани хидраулички притисак, коефицијент иницијалног лома и прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања наведени су у табели 2.

Табела 2: Ознака групе цеви, изабрани хидраулички притисак, коефицијент иницијалног лома и прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања

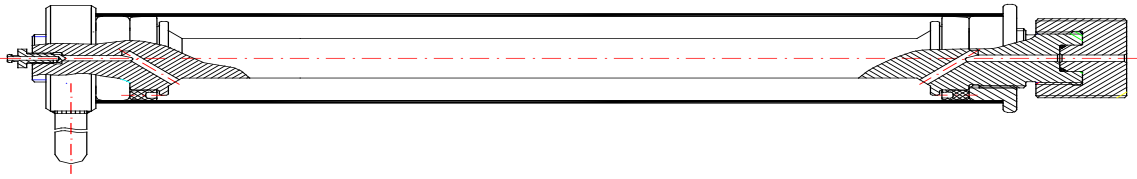
Својство	Ознака групе цеви			
	А	Б	В	Г
Изабрани хидраулички притисак (МПа)	23,0	18,0	49,0	38,0
Коефицијент иницијалног лома (F.I.)	0,96	0,70	1,02	0,74
Прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања (МПа)	23,9	25,7	48,0	51,3

За цеви група А и В, које имају средишње слојеве намотане под углом 61°, прорачуном су добијене вредности коефицијената иницијалног лома врло блиске вредности 1.0. Овај податак указује да код структура које имају овакве углове намотавања, требало би да постоји скоро идеално слагање реално добијених и теоријом предвиђених притисака прскања цеви.

За цеви група Б и Г, које имају средишње слојеве намотане под углом од 45°, прорачуном су добијене вредности коефицијената иницијалног лома различите од вредности 1.0, али се на основу искуства ово одступање сматра прихватљивим.

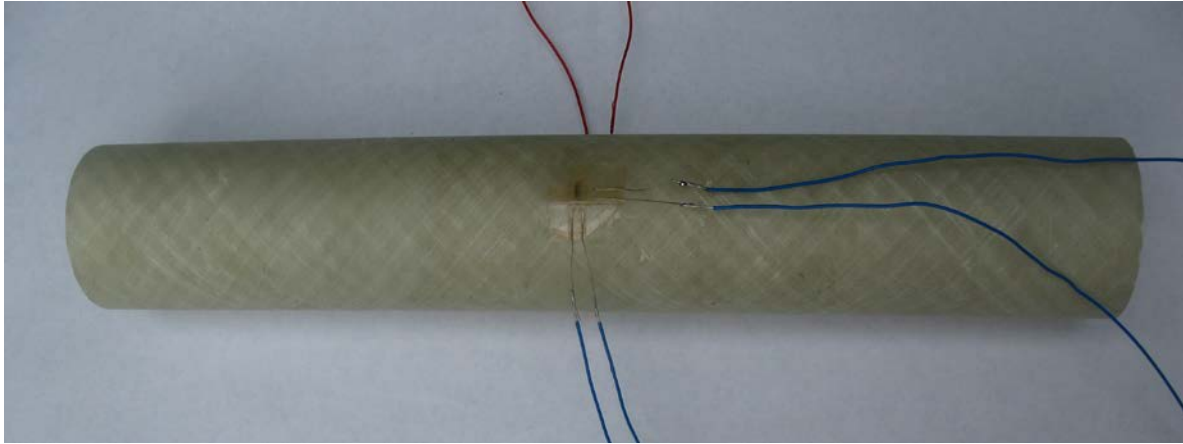
Резултати експерименталних испитивања узорака цеви и анализа

Узорци цеви подвргнути су деловању унутрашњег хидрауличног, при чему су регистровани хидраулички притисак и аксијалне деформације. Пораст унутрашњег хидрауличног притиска је равномеран и исти је оптерећивао узорке цеви до прскања. На слици приказан је алат специфичне конструкције за испитивање хидрауличног притиска прскања са монтираним узорком цеви. Практично, може да се сматра да је узорак цеви укљештен са оба краја.



Сл. 3: Алат за испитивање хидрауличког притиска прскања са узорком цеви

На слици 4 приказан је узорак цеви групе А са залепљеном двоосном мерном траком.



Сл. 4: Узорак цеви групе А са залепљеном двоосном мерном траком

Табела 3: Вредности хидрауличког притиска прскања узорка цеви

Ознака групе цеви	Хидраулички притисак прскања (МПа)	
	Појединачне вредности (X_i)	Аритметичка средња вредност и стандардна девијација ($\bar{X} \pm \sigma$)
A/1	23,08	22,34 ± 0,90
A/2	22,50	
A/3	23,49	
A/4	21,56	
A/5	21,10	
A/6	22,31	
B/1	19,04	18,04 ± 0,91
B/2	17,83	
B/3	17,25	
V/1	50,23	49,13 ± 1,54
V/2	48,04	
Г/1	36,01	38,53 ± 2,81
Г/2	41,56	
Г/3	38,02	

На основу података приказаних у табели 3 може да се закључи да постоји мало одступање појединачних резултата испитивања од аритметичке средње вредности хидрауличког притиска прскања, односно да су стандардне девијације сасвим прихватљиве за све четири групе цеви, тако да ће се у даљој анализи користити аритметичке средње вредности.

Вредности хидрауличног притиска и аксијалних деформација у тренутку прскања цеви ознака А/4 и Б/3 наведене су у табели 4.

Табела 4: Хидраулички притисак и аксијалне деформације у тренутку прскања цеви ознака А/4 и Б/3

Ознака узорка цеви	Хидраулички притисак (МПа)	Аксијална деформација (mm/m) x 10 ⁻⁴
А/4	21,56	1,559538
Б/3	17,23	0,850888

Прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања модела цеви групе А је 23,9 МПа (табела 2), а експериментално одређен хидраулички притисак прскања узорка исте групе цеви је скоро исти и износи 22,3 МПа (табела 3). Слично је и код цеви групе В, код које је прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања модела цеви 48,0 МПа (табела 2), а експериментални хидраулички притисак прскања узорка исте групе цеви 49,1 МПа (табела 3). На основу ових података, може да се закључи да постоји изразито добро слагање прорачуном модела предвиђених и експериментом утврђених вредности хидрауличног притиска прскања узорка ових цеви.

Прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања цеви групе Б је 25,7 МПа (табела 2), док је њихов експериментално одређен хидраулички притисак прскања 18,0 МПа, (табела 3), тако да се између њих јавља разлика од око 30 %. Слична је ситуација и код цеви групе Г, јер је прорачунски хидраулички притисак иницијалног прскања цеви 51,3 МПа (табела 2), а експериментално одређени 38,5 МПа (табела 3), тј. разлика је око 25 %. Међутим, на основу искуства, процењено је да ово одступање може да се толерише јер се прорачуном у овом случају одређује ниво оптерећења при коме се јавља иницијални лом неког од слојева, док се експериментом утврђује ефективни лом, тако да се констатује прихватљиво слагање прорачуном предвиђених и експериментом утврђених вредности хидрауличног притиска прскања и код ових цеви. Изнети подаци указују да су цеви, које имају средишње слојеве намотане под углом 61°, сасвим одговарајуће за предвиђено оптерећивање хидрауличким притиском, док су цеви са средишњим слојевима под углом 45° мање погодне за дефинисано оптерећење.

У прорачуну модела цеви дефинисан је реалан услов да нема аксијалних деформација, јер су при хидрауличком притиску прскања узорка цеви А/4 и Б/3 регистроване изузетно мале аксијалне деформације, реда 10⁻⁴ mm/m, које могу да се занемаре.

ЗАКЉУЧАК

У раду су изложени поступак израде цеви технологијом мокрог намотавања стакленог влакна импрегнисаног полиестарском смолом, поступак експерименталног испитивања узорака цеви под дејством унутрашњег хидрауличког притиска с једне, као и поступак структуралне анализе чврстоће структуре цеви од композитног материјала. За прорачун чврстоће композитне цеви под надпритиском коришћен је Метод Коначних Елемената (МКЕ).

На основу напред изнетог може да се закључи:

1. Извршена је верификација прорачуна чврстоће модела цеви. Константовано је изузетно добро слагање прорачунског модела цеви предвиђених хидрауличких притисака иницијалног прскања и експериментално одређених хидрауличких притисака прскања узорака цеви које имају средишње слојеве намотане под углом од 61° . Код цеви које имају средишње слојеве намотане под углом од 45° утврђено је прихватљиво одступање прорачуног модела цеви предвиђених хидрауличких притисака иницијалног прскања и експериментално одређених хидрауличких притисака прскања узорака цеви.
2. Теорија чврстоће композитних материјала са ортотропним карактеристикама слојева може да се примени за прорачун особина модела мокронамотаног елемента конструкције, ако су познате механичке карактеристике конкретног композитног материјала.

Захвалност

Аутори се захваљују Министарству просвете, науке и технолошког развоја Србије за финансијску подршку у оквиру пројеката ТР 35024 и ТР 35045.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Radulović J., "Characterization of Filamentwound Polymeric Composite Materials", Scientific Technical Review, Vol. LVIII, No 1., p 66-75, 2008, Beograd
- [2] F.M. Ashby, "*Materials selection in mechanical design*", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.
- [3] Maksimović, S., Postbuckling and failure analysis of axially compressed composite panels using FEM, Scientific Technical Review, Vol. LVII, No. 3-4, 2007.
- [4] Радуловић Ј. и Максимовић С., "*Прорачун и верификација прорачуна модела мокронамотаних цеви полиестарска смола/стаклено влакно на основу теорије чврстоће композитних материјала са ортотропним карактеристикама*", ТИ-382, Интерни рапорт ВТИ, Београд (2004).
- [5] Tsai C.W. and Wu B.M., "A General Theory of Strength for Anisotropic Materials", Journal of Composites, Materials, Vol. 5, 58-80, 1990,
- [6] Максимовић, С., Прорачун чврстоће и моделовање отказа код конструкција од композитних материјала, Кратка научнотехничка информација, ВТИ, Бр. 7, 2001,
- [7] Msc/NASTRAN Theoretical Manuals

Mirko MAKSIMOVIC¹
Ivana VASOVIĆ MAKSIMOVIC²
Katarina MAKSIMOVIC³

**STRENGTH ANALYSIS OF COMPOSITE TUBES:
EXPERIMENTAL DATA AND RESULTS OF NUMERICAL SIMULATIONS**

SUMMARY

Abstract: *Subject of this work is strength analysis of tube made from composite materials under internal pressure. Primary attention is focused to validate computation methods for strength analysis of composite tube using Finite Element Method (FEM). By comparison a level of hydraulic burst pressure of specimens of filamentwound tubes polyester resin/glass fiber, obtained experimentally, and properties of tube model ie. values of pressure at which an initial failure of tube model is occurred, obtained by calculation based on strength theory for orthotropic laminate composite materials, a good agreement was found. Hydraulic burst pressure of filamentwound tubes specimens was obtained using tool of specific design, and calculation of properties of tube model was done by applying finite element method, initial failure criterium and experimentally obtained mechanical characteristics of filamentwound composite material polyester resin/glass fiber. Sussesfull verification of calculation of tube model pointed out that mentioned strength theory can be applied, with enough confidentiality, to filamentwound element of construction.*

Key words: *Composite polymeric materials, hydraulic burst pressure, experimental data, modeling, calculation, strength analysis, finite element method, verification of computation resul*

Biološki-aktivna vlakna, njihova primena u medicini

M. Knežević¹, A. Kramar², T. Nikolic³, M. Korica⁴, M. Kostić⁵

^(1,2,4,5) Tehnološko-metalurški fakultet, Katedra za tekstilno inženjerstvo, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija

⁽³⁾ Visoka tehnološko umetnička strukovna škola Leskovac, Vilema Pusmana 17, 16000 Leskovac, Srbija

Rezime

Tekstilni materijali imaju veoma široku primenu u medicini. Ovoj grupi materijala pripadaju bolničke uniforme, posteljina, mantili, zavoji, gaze, hirurški konci, veštački organi i sl. Baza za izradu proizvoda od tekstila koji se koriste u medicini su najčešće biološki-aktivna vlakna. Obzirom da u bolnicama vrlo često mikroorganizmi stvaraju i pogoršavaju probleme prenošenjem bolesti i infekcija potrebna je adekvatna zaštita, odnosno obrada materijala kako ne bi dolazilo do njihovog razmnožavanja. Biološki-aktivna vlakna, pored primene u profilaksi, takođe, koriste se i u terapijske svrhe. Posebno su od velikog značaja u terapijama gde je neophodno da se nivo leka održava u dužem vremenskom intervalu. Može se slobodno reći da ova vlakna i materijali izrađeni od njih pripadaju savremenim medicinskim materijalima.

Ključne reči: *biološki-aktivna vlakna, tekstilni materijali u medicini, upotreba u profilaksi i terapiji*

Uvod

Zahvaljujući svim tehnološkim operacijama u tekstilnoj tehnologiji, od vlakana do dorade, danas se mogu realizovati novi tekstilni medicinski materijali koji svojim svojstvima pomažu, i preventivno, a i u lečenju nekih veoma čestih i ozbiljnih oboljenja [1].

Prva ispitivanja koja su dovela do pojave biomedicinskih vlakana vršena su na Petersburškom univerzitetu šezdesetih godina XX veka. Sa pojavom biomedicinskih vlakana vezuje se pojava pojma biološki-aktivnih vlakana. Biološki-aktivna vlakna se mogu svrstati u medicinska vlakna posebne namene. U zavisnosti od toga koju funkciju treba da vrši proizvod zavisi i odabir vlakna. Treba uzeti u obzir da se gotovo sva vlakna mogu modifikovati tako da imaju biološku aktivnost. Biološki-aktivna vlakna se dobijaju modifikovanjem polimera za proizvodnju vlakana u toku procesa polimerizacije, dodavanjem hemoterapeutskih sredstava (bioaktivnih aditiva) u rastop polimera (rastvor) polimera pre formiranja vlakana ili modifikovanjem površine tek modifikovanih vlakana [2,3,4].

Biološki-aktivna vlakna

Tekstilni materijali koji se koriste u medicini se mogu svrstati u četiri kategorije, odnosno, neimplatibilne materijale (zavoji, flasteri, gaze, itd.), veštačka pomagala (veštački bubreg, jetra i pluća), implantabilne materijale (hirurški konci, vaskularne proteze, veštački ligamenti, veštački zglobovi, itd.) i zdravstveno-higijenske proizvode (posteljina, odeća, hirurški mantili, operacioni čaršavi, krpe, itd.) [5].

U zavisnosti od karaktera i težine oboljenja ili povrede zavisi i koja su i kakva vlakna neophodna za efikasno lečenje. Samim tim, postoje različiti postupci za dobijanje biološki-aktivnih vlakana:

- Hemijsko modifikovanje koje obezbeđuje vezivanje biološki aktivnog preparata za vlakno hemijskim vezama
- Fiksiranje preparata u nadmolekulsku strukturu vlakna po tipu uključivanja (fizička veza) tj. fizička modifikacija
- Nanošenje preparata na vlakno u vidu teško rastvornih supstanci uz pomoć polimernih sredstava [6].

Za njihovo dobijanje kao polazni materijal mogu se koristiti tekstilna vlakna prirodnog porekla ili sintetska vlakna: vunena, pamučna, lanena, celulozna i celuloznih derivata, polietilenska, polipropilenska, poliamidna i druga[2].

Nanošenje biološki-aktivnog preparata na polimer obuhvata nekoliko postupaka:

- Provlačenjem vlakana kroz rastope, rastvore ili suspenzije polimera koji sadrže medikamentne preparate
- Ostvarivanjem polikondenzacije ili polimerizacije na vlaknima, određenih monomera koji mogu sami posedovati biološku aktivnost, polimerizovati se uz prisustvo biološki-aktivnog preparata ili da ulazeći u sastav polimera vezuju preparat za svoje aktivne grupe.

Među savremenim medicinskim vlaknima najpoznatija su: antimikrobna, anestezijska, radioaktivna, hemostatička, protivzapaljenska, ferment-aktivna vlakna, vlakna kao depoi nekih hormona, itd [6].

Antimikrobna vlakna

Na površini tela čoveka, životinja, biljaka i tekstila i drugih predmeta nalaze se neke od 100.000 vrsta gljiva, 16.000 vrsta bakterija, 17.000 vrsta algi i više od 2.000 virusa. Njihovo prisustvo je svugde osim u zatvorenim biološkim sistemima kao što su krvotok i fiziološki aktivna tkiva životinja i biljaka. Takođe, nema ih u dubokim slojevima zemlje i užarenoj vulkanskoj lavi. Tekstil koji je uskladišten u zatvorenom, vlažnom prostoru je idealno mesto za razvoj kolonija plesni i bakterija dok je za viruse potreban živi organizam: čovek, životinja ili biljka [7].

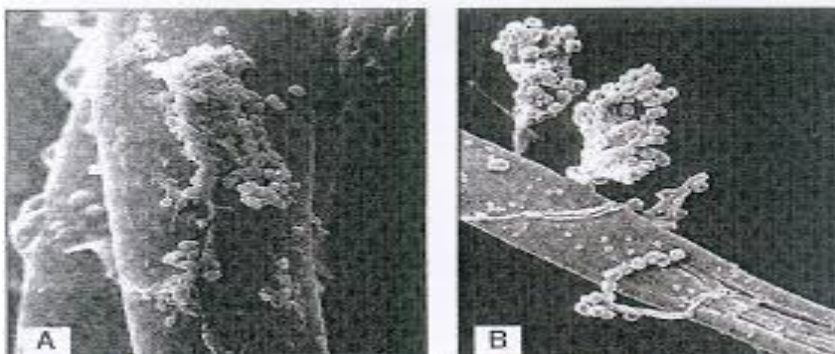
Bakterije su jednoćelijski organizmi koji vrlo brzo rastu pod uticajem toplote i vlažnosti. Bakterije se dele na gram-pozitivne (npr. *Staphylococcus aureus*), gram-negativne (npr. *Escherichia coli*) i spore različitog tipa. Neke specifične vrste bakterija su patogene i uzročnici raznih infekcija koje mogu imati fatalan ishod. Bolničke infekcije patogenim mikroorganizmima predstavljaju aktuelan i jedan od najtežih problema u savremenoj medicini zbog svoje učestalosti, produženja hospitalizacije i povećanja troškova lečenja. Najčešći fatalni ishod pri bolničkim infekcijama i infekcijama van bolnice daje *Staphylococcus aureus* zbog čega je jedan od najčešće ispitivanih i proučavanih patogenih mikroorganizama kada je u pitanju otpornost na biocide i antibiotike. *Pseudomonas aeruginosa* je gram-negativna patogena bakterija koja se često javlja kod rana i opekotina, ali i u zatvorenim prostorima za masovnu namenu (bolnice, domovi za stara lica, zatvori, itd.). *Staphylococcus epidermidis* je parazitska bakterija, ali u kombinaciji sa *Staphylococcus aureus* dovodi do bolničkih infekcija koje se prenose preko medicinskih instrumenata kao što je na primer, kateter ili hirurški konac [3].

Neki oblici gram-negativne bakterije *E. coli* mogu dovesti do patologija kao što su krvarenja (kada se javlja redak oblik koji se zove entero hemoragicna *E. coli*), septički šok, rane koje ne zarastaju i infekcije kože, respiratornog i urogenitalnog sistema. *Klebsiella pneumoniae* može da prouzrokuje pneumoniju i druge infekcije. *Candida albicans* izolovana je u slučajevima ojeda od pelena i različitih infekcija digestivnog i urogenitalnog trakta [3].

Antimikrobna vlakna imaju za cilj da suzbiju razmnožavanje ili da potpuno unište patogene mikroorganizme koji se razvijaju na površini vlaknastih materijala ili da postepenim otpuštanjem antimikrobnog sredstva zaštite površinu koju pokrivaju od patogene mikroflоре. Veliki broj postupaka za dobijanje biološki aktivnih vlakana sa baktericidnim delovanjem zasniva se na vezivanju antimikrobnih agenasa hemijskom vezom za vlakno. Najčešće korišteni polimeri za dobijanje antimikrobnih vlakana su polivinilalkohol-PVA, poliakrilonitril-PAN, poliamid-PA, poliestar-PES, polietilenteraftalat-PET i celuloza i njeni derivati [2].

PVA vlakna se mogu hemijski vrlo lako modifikovati, pa su zato pogodna polazna osnova za izradu mnogih tipova biološki aktivnih vlakana. Ona se mogu prevesti u baktericidno biološki aktivno vlakno modifikovanjem jedinjenjima 5-nitrofuranskog reda. Baktericidna PAN vlakna mogu se dobiti vezivanjem antibiotika na prethodno modifikovano vlakno, jonskim vezama. Antimikrobna svojstva PAN vlakana koja u svojoj strukturi sadrže sorbovane preparate žive ispoljavaju veoma veliku aktivnost prema stafilokoki i kandidi, ali zbog prisustva žive imaju ograničenu primenu. PES vlakna sa antimikrobnim svojstvima mogu se dobiti uvođenjem $-COOH$ grupa u strukturu vlakna delovanjem akrilnom kiselinom i naknadnim vezivanjem antibiotika. Antimikrobno PES vlakno dobijeno uključivanjem zeolite u njegovu strukturu može se koristiti za previjanje rana. Za hirurške i ortopedske potrebe proizveden je alifatični poliestar poli-3-hidroksibutirat-3-hidroksivalerat. Ova vlakna mogu se dobiti iz rastvora i rastopa, pokazujući odličnu biokompatibilnost i bioresorptivnost. Takođe, koriste se i antimikrobna vlakna na bazi PA i PP, gde se još u fazi procesa formiranja vlakna uvode antiseptic [6].

Na tržištu se nalaze različita klasična i specijalna antimikrobna sredstvakoja se međusobno razlikuju po hemijskoj strukturi, načinu primene na tekstilnim proizvodima kao i uticaju na okolinu i ljude. Mogu se podeliti na biocide (baktericidi, fungicidi i insektisidi) koji bakterije, gljivice i insekte uništavaju i biostate (bakteriostate i fungistate) koji usporavaju brzinu i stepen razmnožavanja [7].



Slika 1: Rast bakterije (a) i gljive (b) na tekstilnom vlaknu [7]

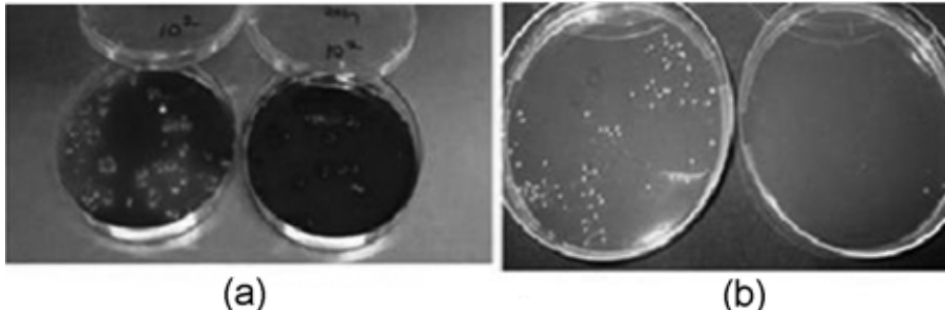
Antimikrobnim efektom vlakna treba da onemoguće razmnožavanje ili direktno da unište patogenu mikroflору i druge mikroorganizme, uzročnike infekcija i raznih oboljenja, a svojom fungicidnošću da na sličan način deluju na gljivice i protozoe. Ovaj efekat se postiže uvođenjem odgovarajućih preparata, antibiotika, različitih jedinjenja, elemenata i jona metala u strukturu vlakna [8].

Antimikrobni tretman tekstilnih materijala potrebno je izvršiti sa ciljem:

- Sprečavanje infekcija patogenim mikroorganizmima
- Sprečavanje širenja mikroba

- Usporavanje metabolizma mikroba kako bi se smanjilo stvaranje mirisa
- Zaštite tekstilnih proizvoda od fleka, obezbojavanja i pogoršavanja kvaliteta [9].

Erem i saradnici su na osnovu ispitivanja došli do zaključka da antimikrobna aktivnost nanokompozitnih vlakana PA6/Ag je poboljšana u zavisnosti od kontaktnog vremena sa kolonijama *Staphylococcus aureus* i *Klebsiella pneumonia* [10].



Slika 2. Antimikrobna efikasnost PA6/Ag u odnosu na *Klebsiella pneumonia* (a) i u odnosu na *Staphylococcus aureus* (b) [10]

U posljednje vreme posebna pažnja je posvećena upotrebi prirodnih polimera koji već i sami poseduju određena antimikrobna svojstva, kao što su hitozan i alginat. Ovi polimeri se mogu koristiti kao podloga za dobijanje hirurških konaca sa antimikrobnim svojstvima ili za dobijanje zavojnog materijala. Takođe, poznato je da srebro ima dobra antimikrobna svojstva [3].

Zaključak

Kada je reč o biološki-aktivnim vlaknima i njihovoj primeni u medicini, možemo doći do zaključka da vlakna koja su podlegla antimikrobnoj doradi imaju za cilj da pruže zaštitu od mikroorganizama i očuvaju patogenu mikrofloru. Savremena tehnologija za proizvodnju ovih materijala treba da obezbedi njihovu nisku cenu i ekološki prihvatljiv postupak proizvodnje. Poželjno je i da antimikrobna vlakna imaju selektivnu toksičnost, odnosno da deluju na mikroorganizme, ali ne i na ljude i ostale žive organizme.

Reference

- [1] S. Milosavljević, P.Škundrić, Medicinske čarape u lečenju i prevenciji nekih oboljenja donjih ekstremiteta, Pregledni rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
- [2] P. Sailović, Uticaj hemijske strukture antibiotika i analgetika na dobijanje biološki aktivnih vlakana na bazi celuloze, Doktorska disertacija, Univerzitet u Banja Luci, Prirodno-matematički fakultet, Banja Luka, 2018.
- [3] P. Škundrić, Lj. Simović, A. Medović, M. Kostić, T. Mihailović, Antimikrobna biološki-aktivna vlakna za medicinsku namenu, Pregledni rad
- [4] J. Buchenska, A. Graczyk, Electric Properties of Polyamide Fibers Containing Silver, Proceedings of Medtex, Lodz, Novembar 28.29, 2005, 145-147
- [5] A. J. Rigby, S.C. Anand, Medical textiles in Handbook of technical textiles, Edc. A.R. Horrocks, S.C. Anand, Woodhead Publishing, Cambridge, 2000,407- 424
- [6] P.Škundrić, A. Medović, M. Kostić, R. Jovanović, B. Popović, Biološki-aktivna vlakna, dobijanje i primena, TMF, Beograd

- [7] O. Demirović, H. Demirović, Antimikrobna zaštita tekstilnih materijala, 9th International Scientific Conference on Production Engineering, Development and Modernization of Production, Rim, 2013., 471- 474
- [8] A. Medović, Magistarski rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1998.
- [9] S. Vukosavljević, In vitro ispitivanja farmakodinamičkih svojstava antimikrobnih tekstilnih materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2005.
- [10] A.D. Erem, G. Ozcan, M. Skrifvars, M. Cakmak, In Vitro Assesment of Antimicrobial Activity and Characteristics of Polyamide 6/ Silver Nanocomposite Fibers, Fibers and Polymers 2013, vol 14, No 9, 1415-1421

Abstract

Textile materials have a very wide application in medicine. This group of materials includes hospital uniforms, bedding, coats, bandages, gauze, surgical sutures, artificial organs, etc. The basis for the manufacture of textile products for medical use are the most commonly biologically active fibers. Because in hospitals very often microorganisms create and exacerbate problems by transmitting diseases and infections, adequate protection or treatment of materials is required to prevent their reproduction. Biologically active fibers, in addition to prophylaxis, are also used for therapeutic purposes. They are especially important in therapies where it is necessary to maintain the drug level over a long period of time. It is safe to say that these fibers and the materials made from them belong to modern medical materials.

Key words: *biologically-active fibers, textile materials in medicine, use in prophylaxis and therapy*

Јелена Дробац, Весна Аливојводић, Предраг Максић, Марина Стаменовић
Београдска политехника, Београд
Славиша Путић, Технолошко-металуршки факултет, Београд

ДИЗАЈН АМБАЛАЖЕ: САВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА САВРЕМЕНЕ ИЗАЗОВЕ

Апстракт

Индустрија амбалаже бележи рекордни пораст обима производње, уз убрзани развој нових технолошких решења и нових материјала, док се са друге стране, истовремено суочава са захтевима одрживог развоја, еколошким питањима и засићеношћу потрошача. Само у периоду 2013-2018 се тржиште амбалаже увећало за 6,8 % док се у наредне четири године очекује пораст за још 6 %. Последњих година је све више присутан притисак јавности у погледу захтева за смањењем удела пластике као дела амбалажног материјала, док у исто време конкурентност поставља нове естетске, техничке и маркетиншке захтеве пред дизајнере и произвођаче амбалаже, са циљем једноставнијег приступа потрошачима. Овај рад прати трендове развоја новог концепта амбалаже и примену креативне рециклаже.

Кључне речи: дизајн, одрживи дизајн, амбалажа

Амбалажа: растућа индустрија

Према извештају куће Смитерс (Smithers) [1], светско тржиште амбалаже се само у периоду од задњих пет година тј. 2013-2018 увећало за 6,8 %. Према њима, овај раст је последица наглог развоја неразвијених тржишта и њихово отварање према западној конзументској култури, као и прелазак становништва у урбана насеља. Очекује се да ће се овакав тренд наставити и у наредном периоду, посебно захваљујући многољудним земљама у експанзији попут Индије и Кине. У прилог томе говори и то да је Кина ове 2019. године престигла Северну Америку као највеће светско тржиште амбалаже а очекује се да ће до имати удео од 28% [2] док ће северноамерички континент учествовати са 22 % делом због величине тржишта али и захваљујући бројним иновацијама у овој области. Главни носилац овог развоја је амбалажа за индустрију хране (38 %), пића (18 %), фармацеутска (5%), индустрија козметике са 3%. Мада процене везане за будући раст варирају у процентима, све анализе се слажу да он може бити само убрзан.

Стручњаци из различитих области скрећу пажњу на неколико фактора који ће довести до промене концепта паковања:

- Одрживи развој

Према различитим истаживањима удео пластике у амбалажи варира од 43 до 34 % од укупне производње. Недавно је компанија Кока Кола (Coca-Cola) признала да годишње произведе око 300 милиона [3] тона пластичне амбалаже односно око 20% укупне светске производње ПЕТ боца. Јако мали проценат ове и сличне пластичне амбалаже се рециклира, свега око 14 % а остатак најчешће заврши у животној средини. Мада се годинама инсистира на смањењу производње и употребе пластике, снажан одјек у најширој јавности је изазвао извештај Елен Мекартур Фондације и Светског економског форума где се, између осталог, наводи да ће до 2050 „у океанима бити више пластике него рибе“ [4].

- **Паковање за једночлано домаћинство**

Глобални феномен двадесет и првог века је пораст броја једночланих домаћинстава. Овакав стил живота захтева више мањих паковања амбалаже што аутоматски значи већи утрошак материјала и веће загађење.

- **Персонализована амбалажа**

Савремени потрошачи, услед велике конкуренције и понуде произвођача, константно подижу ниво очекивања у погледу квалитета амбалаже и иновативности приступа. Тако се пре пар година, широм применом дигиталне штампе, појавила дотад незамислива могућност персонализованих паковања робе широке потрошње. Том логиком, Кока Кола је на глобалном нивоу понудила паковања са именима док је пиво Бадвајзер лајт на тржишту САД пружио могућност комбиновања личних имена са именом омиљеног спортског тима, уз ове постоје бројни други примери.

- **Паметна амбалажа**

Нови концепти амбалаже попут паметне амбалаже јесу даљи корак ка персонализацији робе широке потрошње. Оваква амбалажа има у себи уграђене RFID чипове и сличне технологије сензора којима се прати стање амбалаже, стање самог производа као и други битни подаци. Амбалажа са овом технологијом има могућност да промени боју уколико се садржај покварио или истекао рок или уколико се амбалажа оштетила да више сам производ није добар за употребу. Овај приступ је јако битан код прехранбених и фармацеутских производа јер би тако сама амбалажа упозорила, на пример, да је млечном производу истекао рок. Такође, постоји и могућност праћења лекова и других фармацеутских производа од фабрике, преко апотеке до физичке адресе корисника што је битно уколико дође до повлачења читавих серија са тржишта. Паметна амбалажа чак нуди могућност да сама амбалажа подгрева садржај помоћу бежичног пуњења, уграђеног софтвера RFID и NFC тагова и сензора[5]. Процењује се да ће на светском тржишту индустрија паметне амбалаже достићи 26,7 милијарди долара до 2024. године[6].

- **Амбалажа за онлајн трговину**

Ширењем интернет продаје, функција амбалаже постаје све мање продајна, док значајна сада постаје запремина, лакоћа паковања и руковања током транспорта, као смањена тежина паковања. У том смислу се онлајн трговци све више окрећу материјалима који су лагани и издржљиви а дизајн постаје све више минималистички.

Нови концепти материјала у амбалажи

Одрживи развој и проблем производње, употребе и рециклаже пластике је натерао бројне дизајнере, научнике и компаније да се окрену новим приступима и материјалима. Неки су одлучили да на сопствени начин рециклирају и на нов начин употребе пластику. Тако је компанија Најк 2007. године од употребљених поклопаца за кафу и пластичних боца почела да производи ограничене серије ранац-амбалаже за патике (слика 1.).



Слика 1. Најк ранац-амбалажа од рециклиране пластике

С друге стране, пластика се користи у малопродајним ланцима продавница широке потрошње широм света као фолија у које се пакује воће и поврће. Један такав ланац на Тајланду је решио да проба да пластичну фолију замени са листом од банане. Листови банане су пуне структуре, издрживи, дуготрајни, флексибилни и водоотпорни а расту у 135 земаља тропске и суптропске климе.



Слика 2. Тајландски супермаркети пластичну фолију замењују листом банане

Један сличан покушај се дешава у ланцу новозеландских супермаркета. Наиме они су потпуно укинули пластичне фолије за воће и поврће и такав приступ називају „гола куповина“ док су код меса, готове хране и рибе увели принцип да свако донесе своју амбалажу. Купци тврде да их овакав приступ доста подсећа на пијаце из прошлих времена.

Нестле је недавно изразио жељу да на глобалном нивоу до 2025. године пређе на амбалажу која ће се потпуно рециклирати. Први корак томе је направио Нестле Јапан, где је најпродаванији производ КитКет Мини чоколадице којих се дневно прода око 4 милиона само у Јапану. Пошто је ово далеко најпопуларније тржиште КитКета, Нестле је традиционално паковање чоколадица – пластичну фолију у септембру ове године заменио традиционалним јапанским папиром за оригами који једнако штити производ. Како би употпунили амбалажу и учинили је додатно блиском јапанској култури, на паковању се налази и упутство за оригами савијање ждрала - националног симбола добрих жеља. Овим се процењује да ће Нестле смањити производњу за 380 тона

пластике годишње а очекује се да се на исти начин замене паковања других КитКат производа у земљи излазећег сунца.

Нови материјали у амбалажи

Током лондонског маратона 2018. године се попило 919.000 ПЕТ боца воде и других напитака које су након тога пажљиво сакупљане и однете на рециклажу. Ове године је градска власт Лондона учинила корак даље ка смањењу употребе пластике, па је поред 700.000 боца воде и спортских напитака својим 40.000 маратонаца крајем априла 2019. године почастила са 200.000 јестивих врећица воде. Овај нови производ под именом Ooho је произвела Skipping Rocks Lab од браон морске траве и сам материјал је назвала „notpla“ [7]. Идеја је била да се направи материјал који је јестив, без укуса, боје и мириса а који може директно да се конзумира. Уколико се садржај не попије у предвиђеном року сама врећица пуца и разграђује се за четири до шест недеља. Поред воде и спортских пића, у ове капсуле се могу паковати разни сосеви, алкохолна пића као и друге намирнице. Сама биљка од које се прави – смеђа морска трава је широко распрострањена, расте метар на дан и не захтева велике количине воде за узгој и прераду. Произвођачи најављују од истог материјала и фолије за прехрану, врећице, мрежице за воће и поврће као и посуде за доставу хране.



Слика 3. Капсуле воде од *нопла* материјала

По сличном принципу је компаније Pacific Shaving Company почела да пакује и продаје мини вреће са пеном за бријање које се отапају на длану од поливинил алкохола (PVA) па многи сматрају да је будућност козметике и кућне хемије за једночлано домаћинство управо у овом приступу.

Једно од нових креативних решења за замену пластике долази из Мексика, највећег узгајивача авокада на свету коју суверено држи пола светске производње. Студент хемијског инжењерства Скот Мунгија (Scott Munguia) је 2014. године осмислио како да се од семена авокада, које се иначе баца, направи врста биопластике. Овом новом материјалу је потребно свега 240 дана за разградњу, за разлику од пластике чија разградња траје стотинама година. Основао је 2015. године компанију Biofase прво за производњу биопластике а потом и другу фабрику која израђује једнократни есцајг као и сламчице за пиће. Тренутно производи 130 тона биопластике месечно, што ће проширењем производње ускоро прерасти 700 t/ месечно. Компанија је, захваљујући доброј идеји и локалном производу, за пет година прешла пут од стартапа до лидера у производњи биополимера на свом континенту, чији се производи извозе у 11 земаља.

Закључак

Индустрија амбалаже последњих година бележи рекордни пораст у обиму производње, док је у исто време суочена с растућим притиском јавности у погледу захтева за смањењем количина амбалажних материјала, који се користе за паковање производа, пре свега пластике. Све израженија потреба за променом уобичајног концепта паковања производа повезана је са захтевима одрживог развоја и утицајем који амбалажни материјали имају на животну средину (нарочито у фази након употребе амбалаже), али су такође узроковани и променама у стилу живота људи, као и захтевима савременог тржишта које уводи појам персонализоване амбалаже, паметне амбалаже и амбалаже за он-лине трговину.

Потреба за проналажењем нових материјала прихватљивих са становишта очувања животне средине, уз истовремено настојање да се очува тржиште, утиче на развој потпуно новог миљеа амбалажних материјала за чије настајање је неопходно повезивање различитих грана науке, различитих сектора производње и окретање новом приступу у дизајну амбалаже, која ће моћи да изађе у сусрет свим постављеним захтевима .

Литература

1. Smithers: Four key trends that will shape the future of packaging to 2028; <https://www.smithers.com/resources/2019/feb/future-packaging-trends-2018-to-2028>
2. Smithers: The Future of Global Packaging to 2022; <https://www.smitherspira.com/resources/2018/february/the-future-of-packaging-trends>
3. Sanchez R.: Coca-Cola Discloses That They Produce 3 Millions Tonnes Of Plastic Annually; <https://thedieline.com/blog/2019/3/20/coca-cola-discloses-that-they-produce-3-millions-tonnes-of-plastic-annually> (приступ: 09.2019.)
4. Ellen Macarthur Foundation, *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics&catalysing action*, December 2017
5. Lingle, R.: *Consumers can heat products on the go with smart packaging*, Packaging digest, September 2018; <https://www.packagingdigest.com/smart-packaging/consumers-can-heat-products-onthego-smart-pkg-1809>
6. D.Schaefer, W. M.Cheung *Smart Packaging: Opportunities and Challenges*, Procedia CIRP, Volume 72, 2018, Pages 1022-1027
7. Notpla: <https://www.notpla.com/> (приступ: 09.2019.)

Abstract

The packaging industry is experiencing record increases production volume, with rapid development of new technical solutions and new materials, while on the other hand, it faces the demands of sustainable development, environmental issues and consumer saturation. In the 2013-2018 period alone, the packaging market grew 6.8 %, while another 6 % is expected in the next four years. In recent years, there has been increasing public demand for reduction of plastics as part of the packaging material, while at the same time competitiveness is putting new aesthetic, technical and marketing requirements on packaging for designers and manufacturers, in order to easier access to consumers. This paper follows the trends of developing a new packaging concept and the application of creative recycling.

Keywords: design, sustainable design, packaging

Predrag MAKSIC, Beogradska politehnika, Beograd
Vesna ALIVOJVODIC, Beogradska politehnika, Beograd
Jelena DROBAC, Beogradska politehnika, Beograd
Marina STAMENOVIC, Beogradska politehnika, Beograd
Slaviša PUTIC, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

PAMETNI I MATERIJALI VISOKIH PERFORMANSI U DIZAJNU

REZIME:

U istorijskom kontekstu razvoj materijala je pratio trend društvenog razvoja, težeći razvoju materijala poboljšanih svojstava, ali i sve kompleksnije strukture. U radu su predstavljeni savremeni materijali čija je primena sve šire zastupljena u dizajnu novih proizvoda u svetlu njihove pozicije u okviru aktuelnih proizvodnih i potrošačkih trendova. Značajno mesto u sferi dizajna danas pripada pre svega tzv. pametnim materijalima i materijalima visokih performansi (eng. *HP - high performance materials*).

Ključne reči: dizajn, materijali, pametni materijali, HP materijali

UVOD

U savremenom dizajnu praktičari ozbiljno razmatraju i nalaze sve širu primenu pametnih i HP materijala prilikom dizajniranja svojih proizvoda. Međutim, ovaj trend je za sada uglavnom prisutan u razvijenim zemljama,. Dodatne informacije o najnovijim tehnologijama dostupnim dizajnerima predstavljaju ključna saznanja koje oni mogu integrisati u svoj dizajnerski proces. U narednim redovima biće prikazani pametni i HP materijali koji mogu biti od značaja dizajnerima prilikom kreiranja novih proizvoda.

PAMETNI MATERIJALI

Pametni materijali predstavljaju materijale koji imaju sposobnost da pojednostave određene procese, odnosno, da neke od upotreba proizvoda učine jednostavnijom u okviru različitih funkcionalnih sistema - uređaja, mašina, objekata isl. Recimo, elektroaktivni polimer kao zaštita od sunčane svetlosti ne iziskuje upotrebu elektro motora već sam reaguje na spoljašnji stimulan. Da bi se određeni materijal mogao smatrati *pametnim* on mora da ispuni sledeće uslove [1]:

1. Reverzibilnost,
2. Promenljivost unutar svojstava,
3. Adekvatne dimenzije i
4. Jednostavniju primenu u odnosu na tradicionalne materijale.

Brojna su istraživanja na planu prilagođavanja karakteristika materijala pojedinim namenama. Tako su istraživači sa Fraunhofer instituta za mehaniku materijala, IWM, [2] došli do inovativnog postupka izrade polimera čija je struktura specifično dizajnirana, a nastoje da ovaj postupak primene i na metale i keramiku. Ovde se putem strukturnog oblikovanja poboljšava funkcionalnost konvencionalnih materijala. Sve je češće u upotrebi i izraz programabilni materijali - materijali čija se struktura može *programirati*, prilagođavati

potrebama primene (eng. *programmable materials*). Na ovaj način otvaraju se vrata za potpuno novi spektar primena konvencijalnih materijala.

Inovativnim pristupima moguće je strukturirati i oblikovati, npr. male površinu i specifične tačke komponente izrađene od sintetičkog materijala, čija bi jedna od primena mogla biti na primer nova vrsta komandne table vozila koja je uglavnom kruta, ali sadrži područja koja su mikrostrukturirana da budu fleksibilna i mogu imati funkciju tastera. Ovo indirektno može da dovede do čitavog niza konstrukcijskih izmena i pojednostavljenja uređaja, jer je moguće uvrstiti i sam materijal kao segment operativnog sistema.[2]

Neka od zahtevanih svojstava pametnih materijala jesu trenutna reakcija, samostalno uključivanje/isključivanje, sklonost *programiranju*, predvidljivost i lokalna primenljivost [1]. U razvijenim zemljama uočen je trend porasta upotrebe pametnih materijala. Primetna je upotreba termostriktivnih, piezoelektričnih, elektroaktivnih i hemostruktivnih materijala u dizajnu. U narednim decenijama se predviđa upotreba i fotostruktivnih i magnetostriktivnih materijala [3].

Pametne materijale moguće je podeliti na dve kategorije.

Prva kategorija se odnosi na promenu unutrašnjih svojstava materijala prilikom odgovarajućeg spoljašnjeg nadražaja. To se odnosi na: termička, optička, električna, hemijska, magnetna i mehanička svojstva.

Na primer naslon fotelje koji pomoću termohromatskog materijala upamti položaj i oblik čovekovog tela tako što menja boju usled toplotnog nadražaja. Učinak je reverzibilan i posle određenog vremena materijal vraća originalnu/prvobitnu boju.



Slika 1.1. Interaktivni nameštaj NunoErin

U ovu vrstu pametnih materijala spadaju:

1. Fotohromatski materijali,
2. Termohromatski materijali,
3. Elektrohromatski materijali [4].

Fotohromatski materijali menjaju boju pod uticajem svetlosti. Upotreba je ograničena uglavnom na elemente u enterijeru kao na primer tapete, boje ili tekstili. Poznati proizvođači ovih materijala su James Robinson co., Fraunhofer institut, Power Studio (Eskiltuna). Termohromatski materijali dolaze u formi pigmenta, stakla, ili polimera. Ovi materijali se koriste najčešće iz estetskih razloga, ali u vidu usmerivača kretanja u prostoru. Termohromatski materijali se mogu dodavati u glet masu i zagrevanjem se mogu uzrokovati različite „crtane“ forme. Proizvođači ovih materijala su Alsa company, Fraunhofer Institut. Elektrohromatski materijali imaju karakteristiku da menjaju boje ili transparentnost kada su

izloženi električnim stimulansima. Koriste se u enterijeru kod pregradnih staklenih panela, ali i kod eksterijerskog zastakljivanja.



Slika 1.2. Pregradni stakleni paneli koji menjaju stepen providnosti.

U ovoj grupi se mogu naći i materijali koji menjaju čvrstoću pri izloženosti električnoj energiji ili magnetnom polju. Primenuju se kod stabilizatora ili umirivača vibracija. U fazi izloženosti opterećenju on menja čvrstoću, da bi se zatim vratio u prvobitno stanje. Proizvođači ovih materijala su LORD i Fludicon. Provodljivi ili poluprovodljivi polimeri omogućavaju provodljivost električne energije. Za dizajn su interesantni materijali koji se zovu *polianilin* i *polipirol* koji omogućavaju kretanje elemenata sabijanjem, odnosno rastezanjem bez upotrebe elektro motora. Pri njihovoj primeni potrošnja električne energije je neznatna. Primenuju se u vidu vlakana, folija ili sl. Proizvođači ovih materijala su ETH Ciri, EMPA, EAMEX i dr.

Drugu kategoriju pametnih materijala čine materijali koji imaju sposobnost prenosa i/ili transformacije energije. Ova grupa se uglavnom koristi kao specifična vrsta senzora. Prepoznamo *fotovoltne* materijale (svetlost stvara električnu energiju), *termoelektrične* (razlika u temperaturi) i *piezoelektrične* (mehaničko delovanje). Pored njih tu su i *luminescentni* materijali koji različite oblike energije (električnu, toplotnu, mehaničku ...energiju) pretvaraju u svetlosnu energiju [4]. Ova grupa materijala se obično koristi u polju dekorativne rasvete (fluorescentni, LED, OLED sistemi).

HP MATERIJALI

Materijale visokih performansi - HP materijale, karakterišu izvrsna čvrstoća, fleksibilnost, vodoupijanje, selektivna reflektivnost i tako dalje. Ove materijale ne treba mešati sa pametnim materijalima. Oni nemaju mogućnost programiranja, niti su reverzibilni. Među njima se mogu naći: ugljenična vlakna, grafenske ploče, reflektivne folije, aerogel, kapilarne izolacije, hiperhidrofilne tkanine i premazi, reciklirani materijali, biorazgradivi materijali, biomaterijali, hibridni materijali, kao i veliki broj kompozita, u koje ubrajamo i nanokompozite [5]. Ugljenična vlakna ili *karbon fiber* jesu skupi materijali, što utiče i na cenu proizvoda koji su od njih napravljeni. Snabdevanje i vreme potrebno da se proizvede vlaknasta struktura ovih materijala ih čine manje dostupnima u široj primeni. Predviđa se određeno pojeftinjenje ovih materijala u narednim decenijama [5]. Treba naglasiti i njihov ekološki karakter i tendenciju da potpomognu razvoju ekoloških proizvoda.

Obnovljivi izvori su osnova za proizvodnju biorazgradivih polimera. Tokom procesa proizvodnje nema opasnosti od zagađenja. Mada su materijali ovih svojstava poznati već neko vreme, tek se poslednjih godina javljaju u široj primeni. Ovi materijali, poznati i kao *bioplastika*, nastaju hemijskim procesima iz žitarica, krompira ili drveta. Pored njih, unutar

ove grupe materijala se može svrstati i *aerogel* - jedan od najlakših čvrstih materijala. On je izuzetno lomljiv, sačinjen je od 99,8% vazduha, ima visok nivo toplotne izolacije, niske je gustine i ima izraženo nisku zvučnu provodljivost. Aerogel je materijal koji se može koristiti u avioindustriji.

Nanomaterijali su materijali kojima se manipuliše na nano nivou. Predviđa se da je uvođenje primene nanomaterijala u polje dizajna blizu, ili je već je počelo. Veća primena bi izazvala pravu revoluciju i dala ogroman podstrek kreativnosti dizajnera. Na primer, u enterijerima ovi materijali bi mogli da nađu svoju primenu u vidu premaza, panela ili izolacije [7].

Kako je pomenuto, nanotehnologija bi mogla da donese promenu u dizajnu enterijera. Recimo da u domenu boja ili rasvete se već ubrzano radi na razvoju ovih materijala. U Sjedinjenim Američkim Državama, u laboratoriji Ouk Ridž uveliko se radi na razvoju *samolećećeg* kompozita koji se proizvodi od polimerne smese.[7] Sa druge strane, više kompanija aktivno razvija savremene prekrivke krovova) koje sadrži površinske premaze u formi tankog filma sa fleksibilnim fotonaponskim ćelijama. Ovde se radi o izuzetnom materijalu koji omogućava visok stepen iskorišćenja sunčeve svetlosti, uz izrazito jednostavno uklapanje u postojeće prekrivke krovova (slika 1.3.).



1.3. Crep s fotonaponskim sistemom (The Solé Power Tile, kompanije SRS Energy)

Izvor: <https://grendz.com/pin/213/>

Još jedna kompanija koristi nanotehnologije - kompanija „Nanotec“ – koja proizvodi različite nano-premaze najviše za zaštitu stakla, drveta, metala i tekstila. Ime ovog proizvoda je „nanoZ“.[7] Postoje i HP materijali koji se zasnivaju na staklu i betonu. To su premazi koji ne dozvoljavaju da se nečistoća zadržava na materijalu i time se smanjuje ili potpuno izbacuje potreba za skupim održavanjem u eksterijeru ili enterijeru.



Slika 1.4. Zgrada izgrađena od betona koji se sam čisti (Bordo, Francuska)

Izvor: https://a5a.fr/revoke_portfolio/hotel-de-police-bordeaux-33/

ZAKLJUČAK

Izuzetno značajnu poziciju u sferi dizajna danas zauzimaju pre svega tzv. pametni materijali, kao i materijalima visokih performansi (HP materijali). Pametni materijali su materijali koji imaju sposobnost da pojednostave određene procese unutar sistema u čijem se sastavu nalaze. HP materijali zbog svojih karakteristika postaju izuzetno traženi na tržištu (na primer zbog izvrsne čvrstoća, fleksibilnosti, vodoupijanja, selektivne reflektivnosti, ali i mnogih drugih svojstava). Predviđa se da će daljim razvojem ovih materijala i njihova primena u dizajnu postati daleko više zastupljena, ne samo u razvijenim zemljama već i šire, dajući svoj doprinos podizanju kvaliteta proizvoda, funkcionalnosti, odnosno, estetici proizvoda, ali, takođe u značajnoj meri i održivosti samih sistema u kojima se ovi novi materijali primenjuju.

LITERATURA

- [1] Bengisu, M., & Ferrara, M., *Materials that Move: Smart Materials, Intelligent Design*, Springer, Milan, 2018.
- [2] Programmable materials, Fraunhofer-Gesellschaft, Germany (<https://www.fraunhofer.de/en.html> ; pristup: 09.2019.)
- [3] Addington, D. & Schodek, D., *Smart Materials and Technologies: For the Architecture and Design Professions*, Architectural Press, New York, 2004.
- [4] Godsey, L., *Interior Design Materials and Specifications: Studio Instant Access*, Fairchild Books, New York, 2017.
- [5] Oberle, T., *Process Techniques for Engineering High-Performance Materials*, CRC Press, New York, 2013.
- [6] Corner, D., Fillinger, J. & Kwok, A., *Passive House Details: Solutions for High-Performance Design*, Routledge, New York, 2017.
- [7] Seminario, J., *Design and Applications of Nanomaterials for Sensors*, Springer, Texas, 2014.

SMART AND HIGH PERFORMANCE MATERIALS IN DESIGN

ABSTRACT:

In the historical context, development of materials was follower of social development trends, seeking for development of materials of improved properties, but also with more complex structures. The paper presents contemporary materials that are most widely present in design of new products in light of their positions within current production and consumer trends. The significant place in the design field belongs today primarily to the so-called *smart materials* and *high performance materials* (HP materials), which will be presented in this paper.

Keywords: design, materials, smart mapping, HP materials

О ОРГАНИЗАТОРИМА САВЕТОВАЊА

Савез друштава инжењера и техничара града Пожаревца (СДИТ), настоји и ове године када обележава 40 година свога постојања и рада, да очува континуитет успешног рада, тако што самостално или у сарадњи са својим друштвима, успешно разматра различита техничка питања од ширег друштвеног интереса. Друштво хемичара, технолога и металурга Пожаревац, које је једна од чланица СДИТ-а, својим активностима доприносило је размени стручних и практичних знања са окружењем, у различитим техничким областима, а тиме и јачању свог реномеа. Кроз јачање сопственог статуса, Друштво ХТМ је доприносило и јачању статуса СДИТ-а, па због свега напред наведеног, у последњих десет година СДИТ је у сталном успону.

ОРГАНИЗАЦИОНА СХЕМА СДИТ-а



Савез друштава инжењера и техничара града Пожаревца (СДИТ) у свом саставу има осам друштава која су организована по струковном принципу, према схематском приказу и сажетом опису у легенди.

ЛЕГЕНДА

ЧЛАНИЦЕ СДИТ-а: ДОСРОП-Друштво одржавалаца средстава рада општине Пожаревац; Друштва инжењера и техничара према приказу на слици, следећих струка - пољопривредне; рударске и геолошке; електро, машинске, саобраћајне и организације рада; архитекте, грађевинци и геодете; шумарске; Д-ХТМ-Друштво хемичара, технолога и металурга; УИГП-Удружење "Инфраструктура града Пожаревца".

ПОМОГЛИ ОДРЖАВАЊЕ САВЕТОВАЊА



Савез друштава инжењера и техничара града Пожаревца
12000 Пожаревац, Вељка Дугошевића 14



**ЈАВНО ПРЕДУЗЕЋЕ
ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ
ОГРАНАК ТЕ-КО КОСТОЛАЦ**
Николе Тесле 5-7, 12208 Костолац
е-пошта: eps@eps.rs;
сајт: www.eps.rs



Савез инжењера и техничара Србије
11000 Београд, Кнеза Милоша 7

zlatare
M Magdalena
Srbija

Privredno društvo za proizvodnju i promet „PERIĆ & PERIĆ” & Co. d.o.o.
Požarevac, Dunavska 116, Tel. 012 554081; 554082; 554083; Fax 012 554084



Фабрика минералне воде

"ДУБОКА" д.о.о

Нересница бб, Нересница,

Република Србија

е-пошта: pr@duboka.rs,

Телефон: +38112889301



У фабрици минералне воде "ДУБОКА" раде три савремене линије за флаширање воде, реномираних италијанских произвођача: "Прокомак", "Сипа" и "Ферари". Минерална вода "Дубока" извире са дубине од 282 метра. Њен извор се налази у селу Нересница, у засеоку Кисела вода, непосредно изнад ушћа Буковске реке у Пек.

По свом типу и саставу спада у ред калцијум-бикарбонатних вода, које су у Србији мање заступљене. Висок садржај калцијума, низак садржај натријума, присуство калијума, магнезијума и осталих олиго-елемената, чини да ова вода представља прави мелем за здравље. "Дубока" је вода пријатног специфичног укуса и може се конзумирати у неограниченим количинама. Капацитет пунионице је од 8 до 15 хиљада флаша на сат и зависи од формата амбалаже.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека
Србије, Београд

66.017/.018(082)

САВЕТОВАЊЕ Нови материјали и могућности њихове
примене (2019 ; Пожаревац)

Зборник радова / Саветовање Нови материјали и
могућности њихове примене, Пожаревац, 28. новембар
2019. године ; [уредник Мирољуб Трифуновић]. - Пожаревац
: Друштво хемичара, технолога и металурга, 2019
(Пожаревац : Ситографрм). - 73 стр. : илустр. ; 30 см

Радови ћир. и лат. - Тираж 100. - Стр. 5: Предговор /
уредник. -

Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-86-911159-8-2

- a) Наука о материјалима - Зборници
- b) Технички материјали - Зборници

COBISS.SR-ID 281049100