

- activity and DNA cleavage studies of tridentate Schiff bases and their Co(II) complexes. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2016, 20(1), pp.69–80.
- [15] Teran, Guevara, Mora, Dobronski, Barreiro-Costa, Beske, Pérez-Barrera, Araya-Maturana, Rojas-Silva, Poveda and Heredia-Moya Characterization of Antimicrobial, Antioxidant, and Leishmanicidal Activities of Schiff Base Derivatives of 4-Aminoantipyrine. *Molecules*, 2019, 24(15), p.2696.
- [16] Gümüş, A., Okumuş, V. and Gümüş, S., Synthesis, biological evaluation of antioxidant-antibacterial activities and computational studies of novel anthracene- and pyrene-based Schiff base derivatives. *Turkish journal of chemistry*, 2020, 44(4), pp.1200–1215.
- [17] Amorati, R. and Valgimigli, L., Advantages and limitations of common testing methods for antioxidants. *Free Radical Research*, 2015, 49(5), pp.633–649.
- [18] Shahidi, F. and Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, [online] 18, pp.757–781. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615000511>.
- [19] Foti, M.C., Use and Abuse of the DPPH•Radical. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(40), pp.8765–8776.
- [20] Kedare, S.B. and Singh, R.P., Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, [online] , 2011, 48(4), pp.412–422.
- [21] New\_Schiff\_Bases\_as\_Inhibitors\_for\_Brass\_Corrosion\_and\_Bacterial\_Growth [https://www.researchgate.net/publication/311304741\\_Synthesis\\_Identification\\_and\\_Study\\_of\\_Some](https://www.researchgate.net/publication/311304741_Synthesis_Identification_and_Study_of_Some)
- [22] Hameed A, Rashida M, Uroos M, Ali A.S, Khan M.M, Schiff bases in medicinal chemistry: a patent review (2010-2015) <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13543776.2017.1252752> [42].



**Вера Обрадовић,**  
Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета у Београду доо,  
Карнегијева 4, 11120 Београд  
(e-mail: [vobradovic@tmf.bg.ac.rs](mailto:vobradovic@tmf.bg.ac.rs))

## МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА АРАМИДНИХ КОМПОЗИТА

### ИЗВОД

Материјали у виду тканина које се производе од влакана велике жилавости користе се у антибалистичкој заштити због своје мале густине, велике отпорности на удар и великог капацитета апсорбовања енергије. Последњих година пара-арамидне тканине (ламине) имају велику примену у формирању композитних структура које се користе за производњу заштитне опреме за тело. Њихова изванредна механичка својства потичу од дугачких, правих поли (парафенилен терефталамид) влакана.

Повећање модула складиштења или чврстоће полимера у композиту постиже се додавањем ојачања. Различити параметри ојачања се узимају у обзир при њиховом одабиру за успешну реализацију у композиту. Угљеничне наноцеви (енгл. Carbon nanotubes – CNT) представљају одличан избор код одабира ојачања за полимерне композите због њиховог великог односа дужина/пречник (који је око 132000000), велике чврстоће, малих димензија и масе, и велике проводљивости.

### ВЛАКНА И МАТРИЦЕ У АНТИБАЛИСТИЧКОЈ ЗАШТИТИ

Апсорбовање и брзо расипање енергије удара дефинишу балистичка својства материјала.

Жилавост влакана и њихово издужење при лому представљају најважнија својства текстилне заштитне опреме. Основна функција панцир прслука је да заустави пројектил, и веома је битно његово апсорбовање енергије удара у виду расејања укупне кинетичке енергије код које би се мали део пренео на тело. Кинетичка енергија је дефинисана масом пројектила и његовом брзином. Већа кинетичка енергија узрокује већу деформацију тканине и ако брзина метка прелази допуштену границу, тада долази до пробоја тканине. Неопходно је унапредити различите структуре тканина у циљу заустављања пројектила када његова кинетичка енергија прелази границу апсорбовања енергије слојева тканина [1,2].

У том погледу се материјали у виду тканина које садрже влакна велике жилавости користе у антибалистичкој заштити због своје мале густине, велике отпорности на удар и високог капацитета апсорбовања енергије удара. Последњих година дошло је до значајног развоја структура материјала мале тежине код заштитне опреме за тело као и код лаке опреме за ваздухоплове и возила. За израду ове опреме употребљавају се тканине које су плетене од полимерних влакана велике чврстоће и велике отпорности на удар. У ову групу спадају влакна као што су полиарамиди (Kevlar, Twaron, Kolon, Technora), полиетиленска влакна великих перформанси (Dyneema, Spectra), поли (пиридобиси-

мидазол), (M5), и поли (бензобисоксазол), (Zylon) [3]. Поред изванредних механичких својстава влакана, на апсорбовање енергије удара заштитне тканине (у виду вишеслојних ламина) утиче и структура ткања, број слојева ламина, површинска густина и третирање површине влакана. Балистичка отпорност зависи и од других фактора који се не односе на тканине, већ на кретање пројектила и то укључује његову брзину удара, угао удара, облик, итд. [4]. Заштитна опрема за тело се најчешће користи како би се спречиле смртоносне повреде торза и главе. Око 20 до 50 слојева Кевлар тканина је неопходно за задржавање метка који је испаљен хицем из пиштоља. Развој материјала мале тежине који би произвео бољу отпорност на удар представља велики изазов у истраживању заштитне опреме за тело јер употреба више слојева Кевлар тканина чини заштитну опрему тешком и крутом и смањује њену флексибилност и мобилност [5].

Препрег је композитни материјал код кога су ојачавајућа влакна импрегнисана са терморективном или термопластичном матрицом полимера. Препрег стиче јединствена својства након пресовања под великим притиском и на високој температури. На бази препрега се најчешће производе композитни балистички шлемови и друга заштитна опрема. Као влакна за ојачавање се углавном користе арамидна, стаклена, најлон и полиетиленска влакна велике молекулске масе. Терморективне смоле које се најчешће користе за израду балистичких композита су епокси смоле, фенолне смоле и полиестерске смоле, док се од термопластичних смола углавном употребљавају полипропилени, полифенилен сулфиди и полиуретани. Обе врсте смола одликује добра отпорност на удар са добрим пригушивањем вибрација [6].

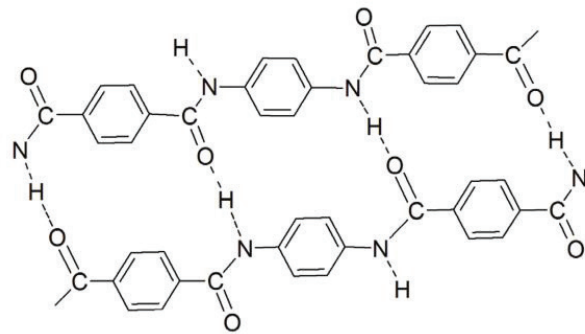
Поли (винил бутирал), PVB, представља популарни термопластични полимер са великом применом због својих изузетних својстава. У та својства се убрајају: жилавост, отпорност на удар, добра адхезивна својства на многим супстратима, умрежавање са фенолима и епокси смолама, добра растворљивост у алкохолима и другим органским растварачима, транспарентност и отпорност на светлост [7,8]. PVB има функцију везивног средства за арамидне ламине које се користе за антибалистичку заштиту у виду панцир прслука, шлемова и заштитних панела. Twaron/PVB термопластични панел велике температурне отпорности је производ Тејјин компаније који се користи у антибалистичкој заштити [9].

#### Пара-арамидна влакна

Изванредна својства као што су топлотна и хемијска стабилност, мала запаљивост, велика

затезна чврстоћа и велики модул еластичности су одлике пара-арамидних влакана. Пара-арамидне тканине (ламине) чине пара-арамидна влакна чији је однос чврстоће према тежини пет пута већи у поређењу са челиком исте масе. Поред тога, њих одликују и велика термичка отпорност и одлична механичка својства. Више слојева пара-арамидних тканина су део панцир прслука, шлемова и оклопних возила и имају функцију заштите од муниције и експлозивних средстава. Пара-арамидне ламине имају велику примену у формирању различитих композитних структура које се користе за антибалистичку заштитну опрему за тело [10,11].

Кевлар® је ароматични полиамид и по својој хемијској структури представља поли (п-фенилен-терефталамид), односно PPTA. Термин „пара” означава амидне групе (NH) које се налазе на супротним странама прстена бензола [12], што је приказано на Слици 1.



Слика 1. Структурна формула поли (п-фенилентерефталамида) [13]

Америчка научница пољског порекла Стефани Кволек (1923-2014), запослена у DuPont компанији, открила је 1965. године веома јака синтетичка, полимерна влакна која би могла да зауставе челичне метке. Она је уочила да се структура полиамидних молекула уређује и прави раствор течног кристалног полимера велике снаге и чврстоће. Ово откриће је било пресудно за стварање индустријских влакана која су у функцији заштитне опреме. Најважнија међу њима су управо Кевлар® влакна која су пет пута јача од челика исте масе, при чему су лакша од стаклених влакана и имају велику топлотну отпорност. Данас се Кевлар® користи у производњи више стотина различитих производа као што су панцир прслуци, шлемови, заштитне рукавице, гуме и свемирски бродови [14].

Кевлар® је регистровани заштитни знак за пара арамидна влакна DuPont компаније. Изванредна својства овог материјала потичу од великог степена уређености поли-п-фенилен-терефталамидних ланаца у његовој структури. У та својства се убрајају: велики однос чврстоће наспрам тежине, велика затезна чврстоћа, велики модул

еластичности, велика жилавост, мало издужење при лому, велика хемијска отпорност и отпорност на запаљивост. Раних 1970-их година се овај материјал користио као замена за челичне жице код гума тркачких аутомобила, док се касније примењивао за заштитну опрему мале тежине. Поред бројних предности, Кевлар® ипак не пружа довољан комфор због своје мале флексибилности. Прслуке и шлемове направљене од Кевлар КМ2 влакана одликује унапређена отпорност на метке и већи комфор. Због своје изузетне термичке стабилности при екстремним температурама, водоотпорности и отпорности према нафтним производима ова влакна имају примену у војсци. Кевлар® 29 и Кевлар® 129 су влакна велике жилавости која се користе за лаку заштитну опрему у виду панцир прслука, као и за друге варијанте тешке заштитне опреме у виду шлемова и балистичких покривача [15,16].

Twaron® тип пара-арамидног влакна сличан Кевлару усавршила је Akzo Nobel (сада Teijin Twaron) компанија. Twaron® тканину чини велики број одличних микровлакна добре топлотне отпорности и велике затезне чврстоће и та структура повећава њен капацитет да апсорбује удар у заштитној опреми. Teijin компанија производи и Technora® пара-арамидно влакно велике чврстоће, хемијске и топлотне отпорности и отпорности на замор. Technora® влакна се користе за израду каблова и канапа, поред примене у антибалистичкој заштити [16].

Heraclon® арамидно влакно је производ корејске компаније Kolon Inc. и има примену у балистици због своје велике чврстоће, хемијске и топлотне отпорности. Усавршавање Heraclon технологије са 25 регистрованих патената је трајало у периоду од 1979. до 1994. године. Комерцијализација Heraclon® влакана у свету је почела 2005. године [15].

Табела 1. Својства влакана која се користе у антибалистичкој заштити [15,17]

Врста влакана	Влакно	Густина (g/cm <sup>3</sup> )	Модул еластичности (GPa)	Затезна чврстоћа (MPa)
Арамид	Technora	1,39	70	3000
	Twaron	1,45	121	3100
	Heraclon	1,44	80	2800
	Kevlar 29	1,44	70	2965
	Kevlar 129	1,44	96	3390
	Kevlar 49	1,44	113	2965
	Kevlar КМ2	1,44	70	3300

У Табели 1 су приказана физичко-механичка својства арамидних влакана која се користе у антибалистичкој заштити.

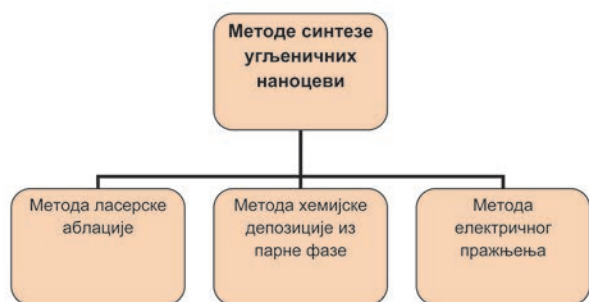
## УГЉЕНИЧНЕ НАНОЦЕВИ

Угљеничне наноцеви (енгл. Carbon Nanotubes, CNT) представљају алотропску модификацију угљеника цилиндричне наноструктуре. Угљеничне наноцеви се одликују изванредним физичко-механичким својствима, поседују велику електричну и топлотну проводљивост. Веза угљеник-угљеник у графиту представља једну веома јаку структуру, можда и једну од најјачих структура која је икада произведена јер је њена затезна чврстоћа већа од челика, али је шест пута лакша [18,19]. Додавање угљеничних наноцеви у виду ојачања у полимерне композите може значајно да унапреди механичка својства композита због њиховог великог односа дужине наспрам пречника (однос дужина/пречник може достићи вредност од чак 13200000/1), велике чврстоће, малих димензија, мале густине и велике проводљивости [18,20,21].

Хемијском модификацијом вишеслојних угљеничних наноцеви постиже се њихова компатибилност са полимерном матрицом. Ове наноцеви карактерише веома велика тврдоћа, отпорност према корозији и у великој мери адсорбују водоник сулфид, сумпор диоксид, хлорине, флуорине, амонијак, итд. Њиховим додавањем у полимерним композитима побољшава се чврстоћа композита. Угљеничне наноцеви имају веома велику примену у различитим гранама индустрије - од електронике до свемирске индустрије, медицине и грађевинарства. Могу се употребљавати за сензоре, литијум јонске батерије, горивне ћелије, медицинске имплантанте, итд. [22].

## МЕТОДЕ ДОБИЈАЊА УГЉЕНИЧНИХ НАНОЦЕВИ

Три основне методе за синтезу наноцеви су: лучно или електрично пражњење (енгл. arc discharge), ласерска аблација (енгл. laser ablation) и хемијска депозиција из парне фазе (енгл. Chemical Vapour Deposition - CVD), Слика 2. Мале количине чистих наноцеви се производе ласерском аблацијом и методом лучног пражњења. Методом хемијске депозиције из парне фазе се најчешће производе вишеслојне или једнослојне угљеничне наноцеви у индустрији [23]. Код процеса синтезе угљеничних наноцеви веома је важан избор параметара процеса који утичу на величину наноцеви и њихов пречник. У те параметре се убрајају: температура, притисак, састав и удео катализатора и извор угљеника [24].



Слика 2. Основне методе добијања угљеничних наноцеви

## МОЛЕКУЛСКА СТРУКТУРА УГЉЕНИЧНИХ НАНОЦЕВИ

Угљеник има четири електрона у валентном нивоу са конфигурацијом  $2s^2 2p^2$ . Две кристаличне форме чистог угљеника у природи представљају дијамант и графит. Код дијаманта су атоми угљеника  $sp^3$  хибридувани, и њихове четири везе формирају правилан тетраедар. Тродимензионална мрежа дијаманта је екстремно крута, што јесте један од узрока његове велике тврдоће. Код графита је присутна  $sp^2$  хибридизација где је сваки атом угљеника повезан са три друга атома угљеника (под углом од  $120^\circ$ ) у ху равни са слабом  $\pi$  везом дуж z-осе.  $sp^2$  структура везе формира хексагоналну структуру једног слоја графита која представља графен.  $p_z$  орбитала је нормална на раван  $sp^2$  орбитала и одговорна је за постојање слабе Ван дер Валсове силе. Слободни електрони који се налазе у  $p_z$  орбитали делокализовано се крећу у оквиру облака који праве орбиталу тако да они не припадају неком одређеном атому. Због ове појаве графит се понаша као електрични проводник. Код дијаманта су сви електрони локализовани у оквиру  $sp^3$  веза, и то га чини изолатором.

Једнослојне угљеничне наноцеви (енгл. Single Walled Carbon NanoTubes, SWCNT) представљају цилиндричне молекуле који се састоје од атома угљеника повезаних у хексагоналну структуру која настаје увијањем графенског листа. Код вишеслојних угљеничних наноцеви (енгл. Multi Walled Carbon NanoTubes, MWCNT), вишеслојни увијени графитни слојеви праве концентричне цеви [25]. MWCNT могу бити дужине од 3  $\mu\text{m}$  до 30  $\mu\text{m}$  са спољашним пречником од 13 nm до 18 nm и чистоћом која је већа од 99 мас.% [18].

Једнослојне угљеничне наноцеви се добијају увијањем графенског листа на више начина. Параметар који одређује начин увијања је хирални вектор  $\mathbf{r}$ , који се може изразити као линеарна комбинација базе решетке ( $\mathbf{a}$  и  $\mathbf{b}$ )

$$\mathbf{r} = n\mathbf{a} + m\mathbf{b} \quad (3)$$

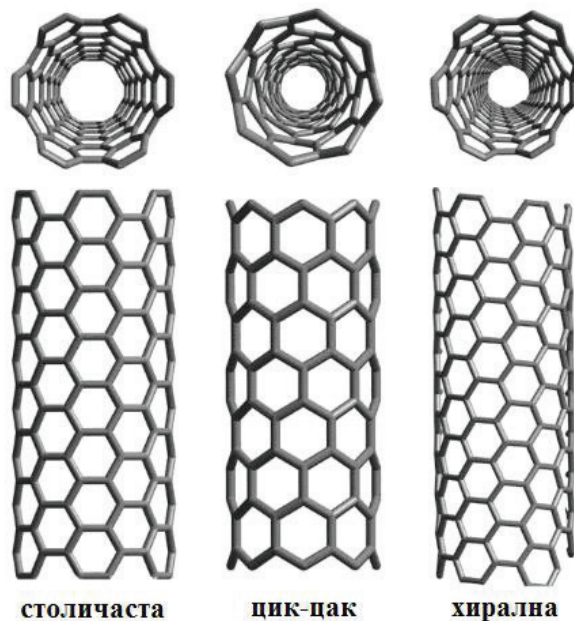
Пар ( $n$ ,  $m$ ) одређује конформацију једнослој-

них угљеничних наноцеви тако да је угљенична структура за

$n=m$  - Столичаста (енгл. arm-chair), када су C-C везе на супротним странама хексагоналног прстена нормалне на осу цеви

$m=0$  - Цик-цак (енгл. zig-zag), када су C-C везе на супротним странама хексагоналног прстена паралелне у односу на осу цеви,

друге вредности - Хирална (енгл. chiral), када C-C везе на супротним странама хексагоналног прстена леже под неким другим углом у односу на осу цеви (Слика 3), [26].



Слика 3. Молекулске структуре једнослојних угљеничних наноцеви различите хиралности [18]

## ДИНАМИЧКО-МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА АРАМИДНИХ КОМПОЗИТА ОЈАЧАНИХ УГЉЕНИЧНИМ НАНОЦЕВИМА

Механичка својства пара-aramидних композита су била испитивана помоћу динамичко-механичке анализе. Код тих експеримената је шест узорка пара-aramидних мултиаксијалних тканина са полиуретаном (Колон тканине произвођача Martin Ballistic Mat, Ultratex, Србија) било импрегнисано поли (винил бутирал) (PVB)/етанол раствором са различитим концентрацијама вишеслојних угљеничних наноцеви (MWCNT). Сви композитни узорци су се састојали од четири комада импрегнисаних тканина које су биле пресоване у N 840 D Нix дигиталној преси (Нix, Corp.,USA) у трајању од пола сата, на температури од  $170^\circ\text{C}$  и под притиском од 3 бара. Удео MWCNT/PVB био је 0, 0,1 и 1 мас.%. Три узорка са различитом концентрацијом угљеничних наноцеви су била импрегнисана  $\gamma$ -аминопропилтриетоксисилан (AMEO силан,

(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O)<sub>3</sub>SiC<sub>3</sub>H<sub>6</sub>NH<sub>2</sub>) / етанол раствором због површинске модификације тканина. У овом истраживању су чисте вишеслојне угљеничне наноцеви употребљене са циљем да се додатно унапреде механичка својства материјала за антибалистичку заштиту.

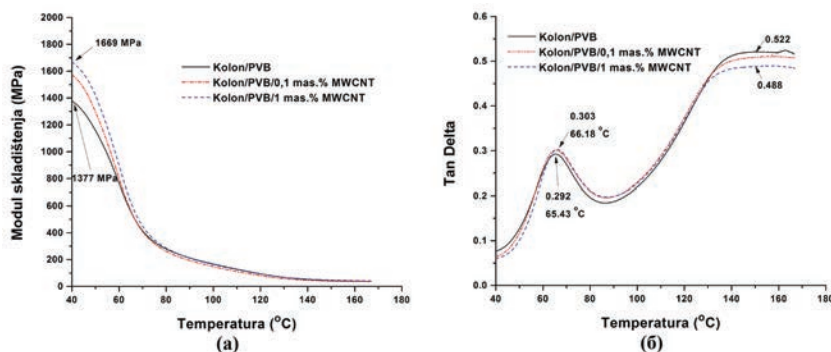


Слика 4. Изглед мултиаксијалне Колон ламине

Модул складиштења (E') и фактор губитка (Tan Delta, тј. tan δ, представља однос модула губитка са модулом складиштења) за све узорке у експериментима су се одређивали помоћу динамичко-механичке анализе (ДМА, на уређају Q800 TA Instruments, USA) која се изводила употребом конзоле на савијање.

Из Табеле 2 и са дијаграма на Сlici 5 се може уочити да се модул складиштења повећавао са додатком угљеничних наноцеви. Вредности модула складиштења на температури од 40°C за Kolon/PVB узорак и Kolon/PVB/1 мас.% MWCNT узорак су биле 1377 МПа и 1669 МПа, редом, односно са додатком од 1 мас.% MWCNT постигнуто је повећање модула од 21% у односу на композит без ојачања.

Висока вредност Tan Delta ових композита указује на већу вредност модула губитка и стално кретање полимерних макромолекула. Први пик на дијаграму Tan Delta-температура односи се на температуру остакљивања PVB-а, Tg<sub>1</sub>, док други пик на ~150 °C представља температуру остакљивања полиуретана у Колон тканинама. Код Kolon/PVB композита Tan Delta је имао најмању вредност (0,292) чиме је показано да су се у том узорку формирале најјаче везе између PVB-а и тканине.



Слика 5. Дијаграм зависности (а) модула складиштења од температуре и (б) Tan Delta од температуре за Kolon/PVB узорке са различитом концентрацијом MWCNT

Међутим, код истог узорка, tan δ<sub>2</sub> је имао највећу вредност на температури од 150 °C (0,522) што је показало да су поменуте хемијске везе биле најслабије (Табела 2, Слика 5).

Табела 2. ДМА резултати Kolon/PVB композита са различитим садржајем MWCNT

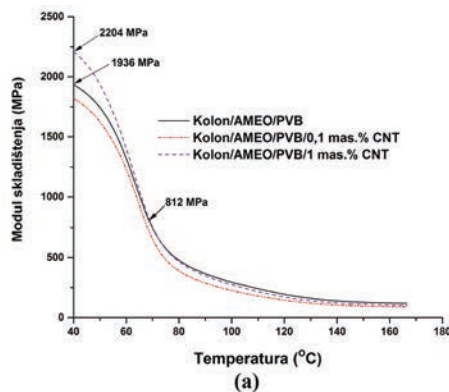
Композит	E' (MPa, 40 °C)	Tg <sub>1</sub> (°C)	tan δ <sub>1</sub> (Tg <sub>1</sub> )	tan δ <sub>2</sub> (150 °C)
Kolon/PVB	1377	65,43	0,292	0,522
Kolon/PVB/0,1 мас.% MWCNT	1576	65,51	0,301	0,509
Kolon/PVB/1 мас.% MWCNT	1669	66,18	0,303	0,488

Импрегнисање Колон тканина АМЕО силаном је допринело повећању модула складиштења за све узорке због веза које су формирале ове површински модификуване тканине са поли (винил бутиралом) са једне стране и добро диспергованих угљеничних наноцеви са PVB полимерном матрицом са друге стране. Kolon/АМЕО/PVB/1 мас.% MWCNT узорак је имао за око 14% већу вредност модула складиштења (2204 МПа) од Kolon/АМЕО/PVB узорка (1936 МПа), док су имали исту вредност модула - 812 МПа, на температури остакљивања PVB-а, (Табела 3, Слика 6).

Температура остакљивања свих композита који су били модификовани са АМЕО силаном је била већа у односу на оне који нису били модификовани, што је допринело њиховој термичкој стабилности. Примера ради, вредност за Tg<sub>1</sub> код Kolon/PVB/0,1 мас.% MWCNT композита је била 65,51 °C, док је за исти АМЕО модификовани композит температура остакљивања била једнака 69,92 °C (Табела 3, Слика 6), [27].

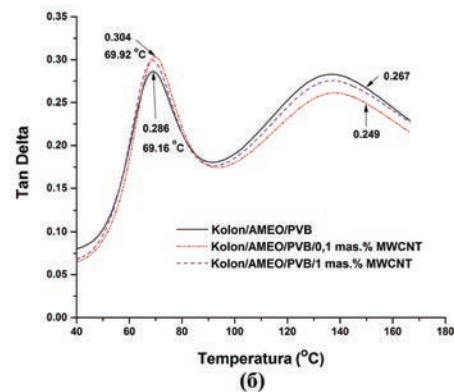
Табела 3. ДМА резултати Kolon/AMEO/PVB композита са различитим садржајем MWCNT

Композит	E' (MPa, 40 °C)	Tg1 (°C)	tan δ1 (Tg1)	tan δ2 (150 °C)
Kolon/AMEO/PVB	1936	69,16	0,286	0,267
Kolon/AMEO/PVB/0,1 мас.% MWCNT	1818	69,92	0,304	0,249
Kolon/AMEO/PVB/1 мас.% MWCNT	2204	68,85	0,299	0,261



Materials in the form of fabrics made of high tenacity fibers are used in antiballistic protection due to their low density, high resistance and high energy absorption capability. In recent times, para-aramid fabrics have had a wide range of applications in the construction of composite structures for the production of the antiballistic body armour protection. Their excellent mechanical properties originate from the long, straight fibers of poly (paraphenylene terephthalamide).

The increase of the storage modulus or the stiffness of polymers can be achieved by adding reinforcement. Carbon nanotubes (CNT) present a perfect choice



Слика 6. Дијаграм зависности (а) модула складиштења од температура и (б) Tan Delta од температуре за Kolon/AMEO/PVB узорке са различитом концентрацијом MWCNT

## ЗАКЉУЧАК

Арамидне тканине се у великој мери користе при изради различитих композитних структура код заштитне опреме за тело и возила. Њихова изванредна својста потичу од дугачких поли (парафенилен терефталамид) влакана.

У раду је представљено истраживање употребе, у виду ојачања, вишеслојних угљеничних наноцеви у пара-арамидним композитима за антибалистичку заштиту. Са додавањем угљеничних наноцеви у различитим концентрацијама у поли (винил бутирал)/етанол раствор који је служио за импрегнасање пара-арамидних ламина постигнуто је побољшање механичких својстава композита.

## ЗАХВАЛНИЦА

Средства за реализацију истраживања обезбедило је Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ( уговор бр. 451-03-9/2021-14/200287).

## ABSTRACT

MECHANICAL PROPERTIES OF ARAMID COMPOSITES

Vera Obradović, Innovation Center of Faculty of Technology and Metallurgy LTD. in Belgrade, Karnegijeva 4, 11120 Belgrade

as reinforcement in polymer composites because of their high aspect ratio (length/diameter ratio, around 132000000), great stiffness, small size, small mass and high conductivity.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. Karahan, A. Kus, R. Eren, An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics, *International Journal of Impact Engineering* 35 (2008) 499-510.
- [2] R. Aleksić, I. Živković, *Dinamičko-mehanička svojstva balističkih kompozitnih materijala*, TMF, Beograd, 2009.
- [3] M. Grujicic, W. C. Bell, G. Arakere, T. He, X. Xie, B. A. Cheeseman, Development of a meso-scale material model for ballistic fabric and its use in flexible-armor protection system, *Journal of Materials Engineering and Performance* 19 (2010) 22-39.
- [4] V. B. C. Tan, V. P. W. Shim, X. Zeng, Modelling crimp in woven fabrics subjected to ballistic impact, *International Journal of Impact Engineering* 32 (2005) 561-574.
- [5] A. Srivastava, A. Majumdar, B. S. Butola, Improving the impact resistance performance of Kevlar fabrics using silica based shear thickening fluid, *Materials Science and Engineering A* 529 (2011) 224-229.
- [6] <http://eprints.ugd.edu.mk/11193/>
- [7] F. A. Alzarrug, D. B. Stojanovic, V. Obradovic, A. Kojovic, M. Rajilic-Stojanovic, P. S. Uskokovic, Multiscale characterization of antimicrobial poly (vinyl butyral)/titania nanofibrous composites, *Polymers for Advanced*

- Technologies 28(7) (2017) 909-914.
- [8] A. M. Torki, I. Živković, V. R. Radmilović, D. B. Stojanović, V. J. Radojević, P. S. Uskoković, R. R. Aleksić, Dynamic mechanical properties of nanocomposites with poly (vinyl butyral) matrix, *International Journal of Modern Physics B* 24 (2010) 805-812.
- [9] <https://www.materialstoday.com/composite-applications/news/teijin-aramid-launches-twaron-pvb-prepreg/>
- [10] D. B. Stojanović, M. Zrilić, R. Jančić-Heinemann, I. Živković, A. Kojović, P. S. Uskoković, R. Aleksić, Mechanical and anti-stabbing properties of modified thermoplastic polymers impregnated multi-axial p-aramid fabrics, *Polymers for Advanced Technologies* 24 (2013) 772-776.
- [11] A. M. Torki, D. B. Stojanović, I. D. Živković, A. Marinković, S. D. Škapin, P. S. Uskoković, R. R. Aleksić, The viscoelastic properties of modified thermoplastic impregnated multi-axial aramid fabrics, *Polymer Composites* 33 (2012) 158-168.
- [12] A. M. Torki, Dynamic mechanical properties of hybrid nanocomposite materials, PhD Thesis, University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, 2012.
- [13] [https://www.edinformatics.com/inventions\\_inventors/kevlar.htm](https://www.edinformatics.com/inventions_inventors/kevlar.htm)
- [14] <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/women-scientists/stephanie-kwolek.html>
- [15] L. A. Utracki, *Rigid Ballistic Composites*, NRC Publications Archive: Canada, 2010.
- [16] L. Wang, S. Kanesalingam, R. Nayak, R. Padhye, Recent trends in ballistic protection, *Textiles and Light Industrial Science and Technology* 3 (2014) 37-47.
- [17] [www.lapinusfibres.com](http://www.lapinusfibres.com)
- [18] M. Terrones, Science and technology of the twenty first century: Synthesis, properties and applications of carbon nanotubes, *Annual Review of Materials Research* 33 (2003) 419-501.
- [19] A. Fakhru'l-Razi, M. A. Atieh, N. Girun, T. G. Chuah, M. El-Sadig, D. R. A. Biak, Effect of multi-wall carbon nanotubes on the mechanical properties of natural rubber, *Composite Structures* 75 (2006) 496-500.
- [20] L. D. Perez, M. A. Zuluaga, T. Kyu, J. E. Mark, B. L. Lopez, Preparation, characterization, and physical properties of multiwall carbon nanotube/elastomer composites, *Polymer Engineering & Science* 49 (2009) 866-874.
- [21] V. Obradović, D. B. Stojanović, I. Živković, P. S. Uskoković, R. Aleksić, Dynamic mechanical properties of aramid fabrics impregnated with multiwalled carbon nanotubes, *Zaštita materijala (Materials Protection)*, 14 (2) (2013) 141-145.
- [22] M. M. Tomishko, O. V. Demicheva, A. M. Alekseev, A. G. Tomishko, L. L. Klinova, O. E. Fetisova, Multiwall carbon nanotubes and their applications, *Russian Journal of General Chemistry* 79 (2009) 1982-1986.
- [23] J. M. Cvetičanin, Funkcionalizovani materijali na bazi ugljeničnih nanocevi, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, 2013.
- [24] Z. S. Veličković, Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, 2013.
- [25] Peter J. F. Harris, *Carbon nanotube and related structures*, Cambridge University Press, 1999.
- [26] R. S. Ruoff, D. Qian, W. Kam Liu, Mechanical properties of carbon nanotubes: theoretical predictions and experimental measurements, *Comptes Rendus Physique* 4 (2003) 993-1008.
- [27] V. Obradović, D. Stojanović, M. Grković, I. Živković, V. Radojević, P. Uskoković, R. Aleksić, Dynamic mechanical properties of aramid fabrics impregnated with carbon nanotube/poly (vinyl butyral)/ethanol solution, *Proceedings & Book of Abstracts, 1st MME SEE 2013, Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade, 2013, 406-413.*



Милан БЈЕЛИЦА, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, milan@etf.rs  
 Марко МАРКОВИЋ, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,  
 mm213044m@student.etf.bg.ac.rs  
 Мирјана СИМИЋ-ПЕЈОВИЋ, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,  
 mira@etf.rs  
 Никола ЦВЈЕТИЋАНИН, Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију,  
 nikola.cvj@ffh.bg.ac.rs

## КОМПЈУТЕРИЗОВАНИ СИСТЕМ ЗА ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА МЕРЕЊА

### УВОД

Поред тога што има изузетну подршку за математичка израчунавања и графички приказ резултата, слободни софтверски алат Python пружа и могућност за слање и читање података са свих актуелних рачунарских интерфејса, што га чини нарочито занимљивим за управљање лабораторијским инструментима и аутоматизацију мерних процедура.

Умрежавање лабораторијске инструментације у нашој научној заједници и даље представља егзотични изузетак, а не правило. Из искуства можемо потврдити да крајњи корисници уређаја на њихово повезивање с рачунаром у највећем броју случајева гледају као на нешто нејасно и споредно; ако и постоји функционалност умрежавања, не улази се у то