

БАЛИСТИЧКЕ ОСОБИНЕ ШЛЕМА ОД КОМПОЗИТНОГ МАТЕРИЈАЛА**BALLISTIC PROPERTIES OF COMPOSITE HELMET**Ана Брдар; *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - МАШИНСТВО**

Кратак садржај – У раду је извршено балистичко испитивање композитног шлема. Шлем је подвргнут тестирању са различитим калибрима метака под истим условима. Добијени резултати су коришћени ради утврђивања балистичких особина шлема али и ради поређења перформанси овог шлема са челичним шлемовима. Резултати овог истраживања наглашавају предност коришћења композитних материјала у изради шлемова.

Кључне речи: Балистичко испитивање, композитни шлем, деформације шлема, пробој шлема.

Abstract – Ballistic testing of a composite helmet was conducted in the study. The helmet underwent testing with variunt caliber of bullets under the same conditions. The obtained results were used to determine the ballistic characteristics of the helmet and to comapre its performance with steel helmets. The results of this research highlight the advantage of using composite materials in helmet productions.

Keywords: Ballistic testing, composite helmet, helmet deformation, helmet penetration

1. УВОД

Посматрајући историју, на област заштите је мало шта тако дубоко утицало као што је то учинио шлем. Сачувани докази тога дагирају још из Асирије, тачније из 800. године п.н.е. Заједно са старом Грчком и Римом, Асирија чини стари век и шлемови из овог периода су карактеристични по отпорности на корозију, мањој издржљивости, тј. већој подложност деформацијама јер су се израђивали најчешће од бронзе. Следећи већи период јесте период од старог века до првог светског рата где су главни представници били модели Адријан, Броди и Шталхелм. Три челична шлема, сличних карактеристика – већа отпорност на деформације, задовољавајући ниво заштите али и велике масе шлема, лоша естетика и изразито мала удобност. Свет улази у други светски рат неочекивано и неприпремљено па су тако модели Адријан, Броди и Шталхелм задржали улогу заштите главе и у овим борбама [1].

Прва велика промена у свету балистике када су шлемови у питању дешава се након другог светског рата, појавом савремених, композитних шлемова.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор др Себастиан Балаш, ред.проф.

2. САВРЕМЕНИ (КЕВЛАРСКИ) ШЛЕМОВИ

PASGT (Personnel Armor System for Ground Troops) шлем, приказан на слици 1, представља први кевларски шлем, који је кад се појавио и током осадесетих година прошлог века имао савршен баланс између свих неопходних захтева које треба да испуни савремени шлем [2].



Слика 1. Приказ PASGT шлема [3]

Тајна успеха ових шлемова лежи у материјалу од којег се израђују. У питању је кевлар - врста влакана која се зову арамиди- скраћено од 'ароматични полиамид'. Кевлар поседује високу чврстоћу а и висок однос чврстоће и масе (специфична чврстоћа) као и добру отпорност ударима велике брзине и то чини овај материјал у неким областима повољнијим од метала, односно легура. Осим тога, овај материјал поседује високу жилавост и модул еластичности, термичку стабилност и отпорност на корозију [4].

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Предмет експеримента јесте шлем Šestan Busch ВК-АСН, израђен од композитног материјала ојачаног арамидним влакнима, приказан на слици 2.



Слика 2. Приказ Šestan Busch ВК-АСН шлема

Шлем је током експеримента постављен на три дрвене летве, закуцане у земљу чиме су осигуране од померања. Око дрвених летви постављене су гуме, наслагане једна на другу ради додатне сигурности. Током експеримента, у шлем је пуцано из следећих оружја и муниције:

- i. CZ 75 у калибру 9x19 mm са муницијом:
 - a. FMJ заобљено зрно, power factor 128
 - b. FMJ заобљено зрно, power factor 145
- ii. Застава М-57 у калибру 7,62x25 mm са муницијом FMJ заобљено зрно
- iii. Револвер Ruger GP100 у калибру .357 Magnum муницијом:
 - a. FMJ са тупим врхом тј. FPS
 - b. FMJ са оштрим врхом тј. FMS
- iv. Карабин JRC у калибру 9x19 mm са power faktorom 145
- v. Карабин Smith Wesson M&P-15 у калибру 5,56x45 mm са муницијом са зрном SS109 зрно са пуном кошуљицом.
- vi. Карабин Zastava PAP-G у калибру 7,62x39 mm са муницијом која има оловно језгро и пуну кошуљицу.

Растојање између тачке гађања и шлема било је 10 m и оно је остало исто за сво оружје, осим карабина у калибрима 5,56 и 7,62 mm, где је растојање повећано на 20 m. Задатак експеримента је био анализирати утицај различитих калибара метака на пробојност шлема, као и истражити обим деформација које настају приликом контакта метка са шлемом. Такође, неопходно је утврдити колико слојева шлема је пробијено у случају да метак остане заробљен унутар шлема.

Такође, у оквиру експеримента испитан је састав шлема и посматран је под микроскопом помоћу следећих уређаја:

- i. Гасни хроматограф са масеном спектрометријом “Polaris Q, Thermo Fisher, USA“
- ii. FTIR уређај “Shimadzu IRAffinity-1S“
- iii. Скенирајући електронски микроскоп “JEOL JSM 6460“ је коришћен за утврђивање начина лома араמידних влакана.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У табели 1 могу се видети резултати првог дела експеримента тј. утицај метака на пробојност шлема, у поређењу са челичним шлемом ознаке М-59/85 и шлемом од композитног материјала, ојачаног стакленим влакнима, такође југословенским М-89.

Табела 1. Приказ резултата испитивања на пробојност

		Калибар								
		9x19 mm (pf 128)	9x19 mm (pf 145)	7,62x25 mm	.357 FPS	.357 FMS	9x19 mm FMJ	5,56x45 mm	7,62x39 mm	9x19 mm (pf 128)
ДА ЛИ ЈЕ ОСТВАРЕН ПРОБОЈ?	М-59/85 [5]	×	×	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓
	М-89 [6]	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Busch ВК-АСН	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓

Табела указује на то да је шлем Busch ВК-АСН демонстрирао изузетну отпорност, успешно одолевајући пробијању свих тестираних калибара метака изузев калибара 5,56x45mm и 7,62x39mm. Поред пробоја и деформације шлема утичу на сигурност носиоца, табела 5.

Табела 5. Приказ вредности деформација:

ВРСТА МЕТКА	9x19 mm (pf 128)	9x19 mm (pf 145)	7,62x25 mm	.357 FPS	.357 FMS	9x19 mm FMJ
ВЕЛИЧИНА ДЕФОРМАЦИЈЕ [mm]	18	15	11	24	14	14

Критеријуми јасно дефинишу разлику између погодака који су остварени у предњем и задњем делу шлема где је тешка повреда на граници до 25,4 mm, док је максимум деформације на бочним странама шлема и са горње стране 16 mm. Дакле, поштујући ове критеријуме види се да деформације настале зрном .357 Magnum са тупим врхом, иако дефинитивно штите од пробоја не обезбеђују апсолутну сигурност носиоцу шлема јер преко границе тешке повреде.

Један од задатака експеримента био је одредити и број слојева од којих је сачињен конкретно овај шлем и одредити број слојева који су калибри поменути у претходном поглављу пробили. Током испитивања утврђено је да број слојева није једнак у свим деловима шлема, због преклапања слојева, али је утврђено и да је број слојева у просеку једнаест. Конкретан калибар и број слојева које је пробио приказано је у табели 3.

Табела 3. Приказ пробијених слојева:

ВРСТА МЕТКА	9x19 mm (pf 128)	9x19 mm (pf 145)	7,62x25 mm	.357 FPS	9x19 mm FMJ
БРОЈ СЛОЈЕВА	3	3	5	4	4
ПОСТОТАК ПРОБОЈА	27%	27%	45%	36%	36%

Дакле, као што је приметно са табеле, неки слојеви су били мање, неки више разорни. Калибри 9x19 mm (pf 128) и 9x19 mm (pf 145) јесу показали најмању штету по број слојева, мада ово јесу калибри слабије моћи од осталих. Такође калибар 7,62x25 mm веће снаге показао је пет пробијених слојева и шести који је у мањој мери оштећен што представља приближно пола шлема по дебљини.

Свако зрно које је остало унутар шлема је извађено и анализирано. Оно што је карактеристично за метак .357 FMS, који је остао у шлему јесте да је једно место на којем је приметна улазна тачка метка (означено на слици 3 као 1), док је метак пронађен на месту удаљеном 50 mm од улазне тачке (означено на слици 3 као 2). Овиме се сматра да метак није ушао под правим углом у односу на површину шлема, међутим, због слојева кевлара који су пружали отпор, као и због оштрог врха који може индуковати нестабилност при пробоју, после одређеног броја

слојева догодио се “унутрашњи рикошет“. Метак је уместо да пробија слојеве кренуо линијом мањег отпора и променио путању удесно, где се зауставио после мале раздаљине. Кретање унутар самог зида шкољке шлема било је између слојева, односно, кроз везиво. Изглед метка .357 FMS након вађења из шлема може се видети на слици 4.



Слика 3. Приказ улазне тачке метка .357 и места где је пронађен



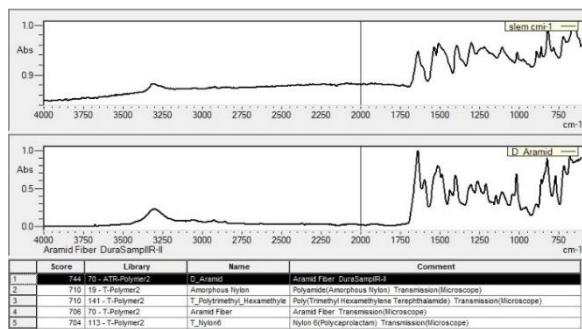
Слика 4. Изглед метка .357 FMS након вађења из шлема



Слика 5. Изглед метка 9x19 (128) након вађења из шлема

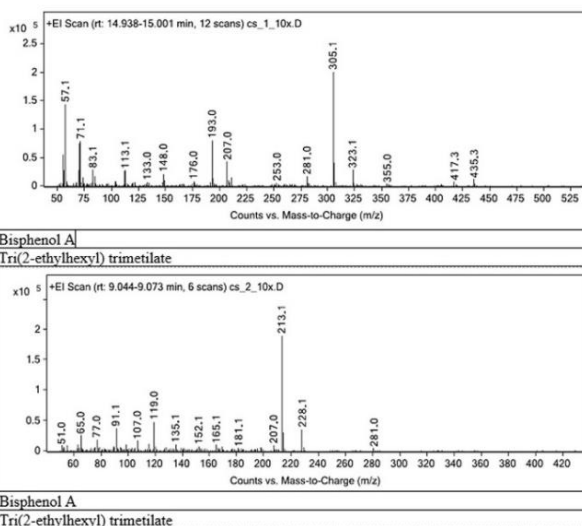
Код осталих калибара, постигнут је погодак под приближно правим углом, при чему зрно добија карактеристичан облик печурке, слика 5.

Ради потврде да је у питању кевларски шлем коришћене су FTIR (Fourier Transform Infrared) анализа спектроскопије и гасна хроматографија са масеном спектрометријом (GC/MS). Уз то, шлем, тачније његова структура посматрана је под скенирајућим електронским микроскопом (СЕМ). Резултати FTIR анализе приказани су на слици 6.



Слика 6. Резултати FTIR анализе

По пиковима који су добијени овом анализом, њиховим обликом и тачним положајем може се потврдити да је у питању кевларски шлем. FTIR анализа пре свега потврђује присуство араמידних влакана која и јесу ојачавајућа фаза кевларског шлема. Резултати гасне хроматографије са масеном спектрометријом приказани су на слици 7.



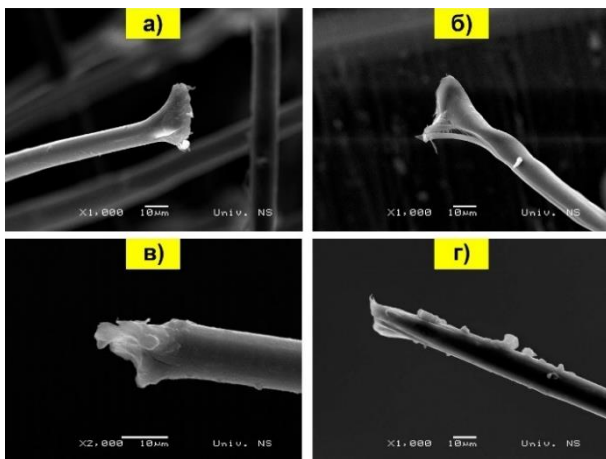
Слика 7. Резултати гасне хроматографије са масеном спектрометријом

Гасна хроматографија је дала састав полимера који веже араמידна влакна и формира шлем, односно, представља основу композитног материјала. Приметно је присуство хемијског једињења бисфенол А (BPA) које се користи као сировина за производњу епоксидне смоле.

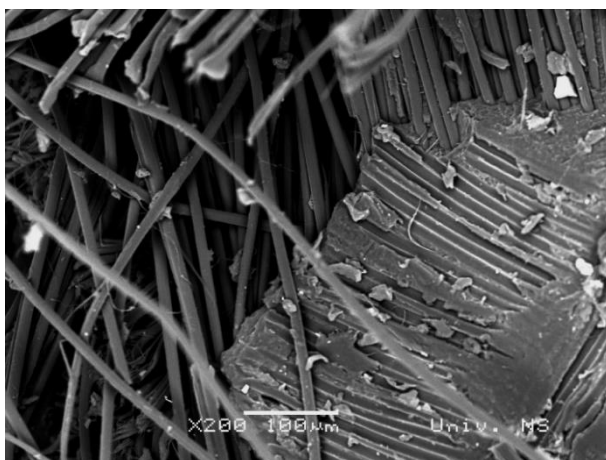
На основу резултата добијених FTIR анализом и гасне хроматографије са масеном спектрометријом констатује се да је у питању шлем састављен од араמידних влакана и епоксидне смоле.

Узорци шлема су посматрани под скенирајућим електронским микроскопом, слике 8 и 9.

На слици 8 приказани су крајеви влакана различитог изгледа. Узрок тога јесте што су влакна а) и б) прекинута смицањем и имају изглед стопе услед резања маказама у сврху припреме узорка, док су влакна в) и г) нагло прекинута затезањем и гњечењем ударом зрна.



Слика 8. Приказ завршетака влакана



Слика 9. Приказ арамидних влакана и епоксидне смоле

На слици 9 приказан је део шлема у зони поготка, где се поред усмерених влакана, јасно види основа, односно, у овом случају епоксидна смола са утиснутим влакнима која су уклоњена као последица дејства пројектила 4.

5. ЗАКЉУЧЦИ

На основу претходно изнетог може се закључити следеће:

У поређењу са свим својим претходницима од челика, кевларски шлем има повећану балистичку отпорност, пре свега захваљујући високим механичким особинама арамидних влакана. Добра карактеристика кевлара је и задржана маса, која је на нивоу челичних шлемова. Резултати експеримента су показали да је кевларски шлем успешно одолео пробоју у скоро свим случајевима испитиваних калибра.

Треба нагласити да када су се пробоји догодили код овог шлема, у питању су била оружја и калибри велике пробојности - карабини Smith Wesson M&P-15 и Zastava PAP-G и калибри 5,56x45mm и 7,62x39mm. Ово јасно демонстрира предност кевлара у односу на челичне шлемове, код којих је пробој забележен у скоро свим случајевима и то са знатно слабијим, пиштољским и револверским калибрима.

Код калибра .357 Magnum са тупим врхом, доказано је да долази до значајне и могуће фаталне деформације шлема. Иако овај шлем успешно спречава пробој, деформација може представљати опасност по живот носиоца.

Ова мана открива потребу за додатним истраживањем и развојем унапређених модела шлемова који би пружили бољу заштиту од деформација при сусрету са специфичним калибрима.

Додатна истраживања и иновације у области материјала могу довести до унапређених модела који би били у стању да пруже комплетну заштиту од удара и пробоја, са смањеном деформацијом која би представљала опасност по живот носиоца шлема.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shadrake D. "Putting a lid on it (First World War equipment design)": Engineering & Technology (2014), vol 9, pp: 44- 47.
- [2] Carey M.E., Joseph A.S., Morris W.J., McDonnell D.E., Rengachary S.S. Brain wounds and their treatment in VII Corps during Operation Desert Storm, February 20 to April 15, 1991., Mil Med (1998), vol. 163, pp: 581-586.
- [3] <https://unitedshield.uk/images/products/helmets/pasgt-feature.jpg> (приступљено у јуну 2023.)
- [4] Tanner D., Fitzgerald J. A., Phillips B. R. The Kevlar Storyan Advanced Materials Case Study: Advanced Materials (1989) vol. 28, pp: 649-654.
- [5] Ђукић В., Балаш С., Врлине јаче од мана; Калибар (2022) vol. 311, pp: 55-57.
- [6] Ђукић В., Балаш С., Да ли је бољи челични или композитни?; Калибар (2022) vol. 312, pp: 54-57.

Кратка биографија:



Ана Брдар рођена је у Новом Саду 1998. год. Дипломирала 2021. год, на Катедри за материјале и технологије спајања
Контакт: anab@uns.ac.rs