

ВЛИЈАНИЕ НА ПРИТИСОКОТ НА ПРЕСОВАЊЕ  
ВРЗ ТРАУМАТОЛОШКИТЕ ЕФЕКТИ И  
БАЛИСТИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ КАЈ  
УНИДИРЕКЦИОНАЛНИ И  
БИДИРЕКЦИОНАЛНИ КОМПОЗИТИ ВРЗ БАЗА  
НА ПОЛИЕТИЛЕНСКИ ВЛАКНА СО УЛТРА  
ВИСОКА МОЛЕКУЛСКА МАСА

INFLUENCE OF MOLDING PRESSURE ON BLUNT  
TRAUMA EFFECT AND BALLISTIC PROPERTIES OF  
UNIDIRECTIONAL AND BIDIRECTIONAL COMPOSITES  
BASED ON ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT  
POLYETHYLENE FIBERS

Д.Димески<sup>1</sup>, Д.Спасеска<sup>2</sup>, Р.Смилески<sup>3</sup>, В.Сребренкоска<sup>1</sup>

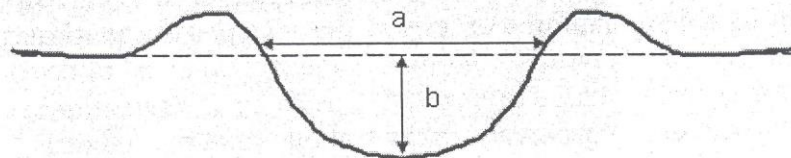
Апстракт: Во трудов се презентирани резултатите од испитувањето на влијанието на притисокот на пресовање врз трауматолошкиот ефект и балистичките карактеристики кај унидирекционални и бидирекционални композити врз база на полиетиленски влакна со ултра висока молекулска маса. Пресовањето на композитите е извршено при притисоци од 20, 60 и 100 бар кај два типови на унидирекционални композити и еден тип на бидирекционален композит и мерена е длабината и површината на трауматолошкиот ефект како и нивото на балистичката заштита. Установено е дека со зголемувањето на притисокот се намалува трауматолошкиот ефект кај унидирекционалните материјали и обратно. Мерењето на балистичката цврстина  $V_{50}$  покажа дека бидирекционалниот

комполит покажува за околу 25% пониски балистички карактеристики во споредба со унидирекционалните и знатно поизразена тенденција за деламинација при повеќекратни балистички удари. Кај нив не е забележена закономерна промена на балистичката цврстина со промена на притисокот за пресовање.

Abstract: The influence of molding pressure on blunt trauma effect and ballistic strength of unidirectional and bidirectional composites based on UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) fibers is investigated. Two types of unidirectional and one type of bidirectional composites molded at 20, 60 and 100 bar were tested on their ballistic strength and their blunt trauma depth and area were measured. It was found out that by increasing the molding pressure the blunt trauma effect was decreased by unidirectional composites and vice versa. The measurement of ballistic strength has shown that the bidirectional composites show about 25% lower ballistic strength with much more pronounced delamination tendency by multiple strikes, than the unidirectional composites. Bidirectional composites did not show any tendentious change in ballistic strength with the molding pressure change.

### Теорија

Еден од основните и најважните критеријуми при изборот на персоналната балистички заштитна опрема (БЗО), покрај масата и цената секако се балистичките перформанси. Под балистички перформанси се подразбира балистичката цврстина односно способноста за запирање на балистичкиот удар и трауматолошкиот ефект. Трауматолошки ефект е деформацијата што ја трпи БЗО на задната страна од наспротив балистичкиот удар кога зрното е задржано во опремата. Нејзиниот интензитет се мери со површината ( $a$ , на слика 01) и со длабината ( $b$  на слика 01) на деформацијата.



Слика 01. Трауматолошка површина и далбина



Самата балистичка цврстина, како податок не е доволна за да се процени заштитната способност спрема дадена балистичка опасност (удар на зрно со одредена маса и брзина) ако не се знае интензитетот на трауматолошкиот ефект што го предизвикува врз БЗО. Затоа во спецификацијата на БЗО покрај другите податоци како што се масата, балистичката цврстина и друго, треба да се даде и податок за трауматолошкиот ефект. Всушност овој податок веќе е и пропишан во стандардите за БЗО.

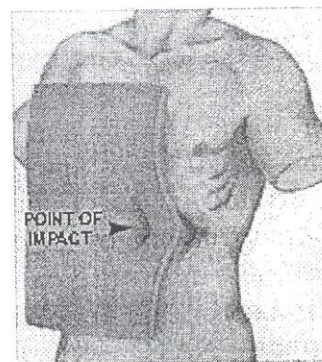
Еден од најмногу експлоатираните стандарди во светот за БЗО, а и во нашите министерства за одбрана и внатрешни работи, е американскиот полициски стандард NIJ 0101.03 (кој во 2000 година е заменет со општиот стандард персонална балистичка заштита NIJ 0101.04). Во овој стандард максимално дозволента длабочината на трауматолошкиот ефект, за сите шест специфицирани заштитни нивоа е 44 mm (1.73 in.). Се смета дека ваквата деформација не може да предизвика сериозни повреди.

Зошто е трауматолошкиот ефект важен?

Трауматолошкиот ефект е важен од аспект на заштитата на носителот БЗО. Наиме опремата кога е во функција е прислонета врз телото на носителот така да деформацијата на задната страна од опрема при балистичкиот удар и преку нејзе пренесената кинетичка енергија директно се пренесува врз телото на носителот како што е претставено на слика 02.

Ако таа деформација е голема, без разлика на тоа што зрното е задржано, може да предизвика оштетување на виталните внатрешни органи ( срце, бубрези...) со трагични последици. Што значи ефикасната БЗО не е доволно само да го запре зрното туку треба да го заштити носителот од повреда или смрт преку малата деформација на задната страна прислонета кон телото.

Цел на ова истражување е да се определи влијанието на

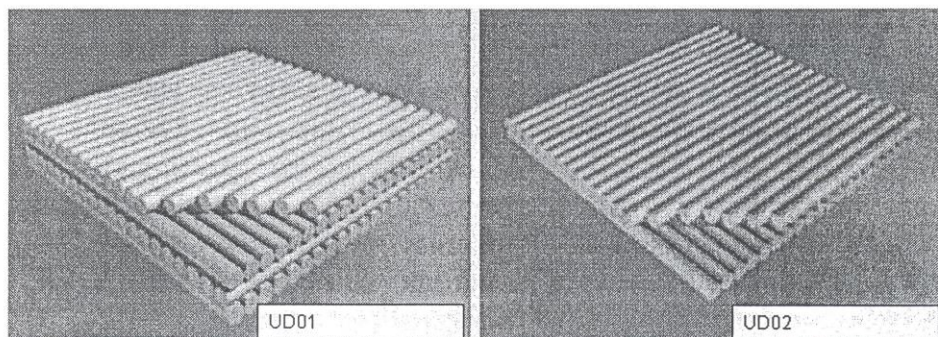


Слика 02. Трауматолошки ефект

технолошките параметри на производство односно притисокот на пресовање кај унидирекционални и бидирекционални балистички композити врз база на ултрависокомолекуларни ПЕ влакна врз балистичката цврстина и трауматолошкиот ефект .

### Експеримент

За истражување земени се два типови на унидирекционални композити UD1 и UD2 како и еден тип на бидирекционален композит BD1, сите врз база на ПЕ влакна со ултра висока молекулска маса (UHMWPE). Материјалите UD1 и UD2 се градени од 4 и 2 унидирекционални слоеви, респективно, слика 03, меѓусебно положени под  $0^{\circ}/90^{\circ}$ , додека BD1 е препрег врз база на ткаенина чии карактеристики се дадени во табела 02.



Слика 03. Конструкција на унидирекционалните препрези

Од овие материјали направени се композити со површинска маса од  $20 \text{ kg/m}^2$  при 20, 60 и 100 bar притисок на пресовање и испитани се нивните балистички перформанси-трауматолошкиот ефект и балистичката карактеристика  $V_{50}$ . По голем притисок од 100 bar не можевме да постигнеме заради неможноста на пресата за тоа. Испитувањето на  $V_{50}$  е извршено според NATO стандардот за евалуација на балистички материјали STANAG 2920.



Табела 01. Карактеристики на унидирекционалните препрези

Особина	Единица	UD1	UD2
Површинска маса	kg/m <sup>2</sup>	261±7	130±3
Број на слоеви	-	4	2
Содржина на смола	%	20±3	19±3

Резултатите од испитувањата се дадени во табела 03.

Избрана е горната површинска маса за да овозможи испитување на трауматолошкиот ефект кај UD материјалите со стандардна

Табела 02. Карактеристики на бидирекционалниот препрег

Особина	Единица	BD1
Површинска маса	kg/m <sup>2</sup>	375±8
Содржина на смола	%	20±2
Вид на ткаенина	-	1x1 (платно)

муниција 7.62x39 mm со маса од 8±1 g и брзина од 730±10 m/s. Наиме при оваа површинска маса на UD материјалите, не доаѓа до пробој кога се стрела од полуавтоматска пушка АК-47 (Калашников). При испитувањето плочите со задната страна беа наклонети на слој од кит со дебелина од 10 cm. Тоа се прави за да може полесно да се измери трауматолошкиот ефект. Наиме деформацијата од задната страна на плочите се пресликува во китот од каде потоа полесно се мери нејзината длабочина и површина.

Резултати и дискусија

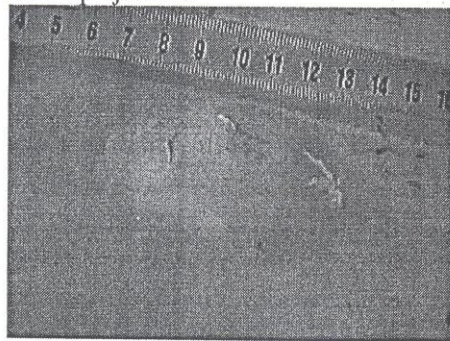
Резултатите од испитувањето на влијанието на притисокот на пресовање врз трауматолошкиот ефект преставени се во табелата 03 а врз балистичката цврстина во табела 04.

Табела 03. Трауматолошки ефект кај композитите

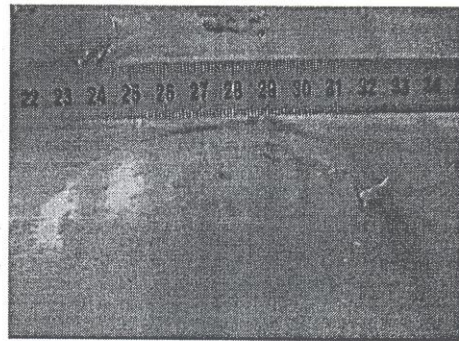
P bar	Површина, mm <sup>2</sup>		Длабочина, mm	
	UD1	UD2	UD1	UD2
20	3115	3316	23.2	23.9
60	2550	2641	21.1	22.7
100	1661	1885	19.6	20.9

Во табелата 03 презентирани се површините на трауматологија се пресметувани како површини на круг врз база на дијаметарот на деформацијата. Тоа се само индикативни вредности затоа што деформацијата не е во вид на перфектно правилен круг. Од табелата 03, може да се забележи дека недостасуваат податоци за BD1 материјалот. Причина за тоа е што при површинската маса на BD1 од  $20 \text{ kg/m}^2$  при стрелањето со специфицирана муниција дојаше до целосен прибив на плочите.

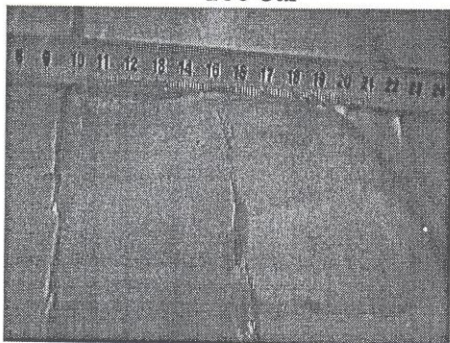
На сликата 04 прикажани се трауматолошките ефекти кај UD1 материјалот.



100 bar



60 bar



20 bar

Слика 04. Трауматолошки ефект кај UD1 материјалот при различни притисоци на пресовање

Табела 04. Балистичка цврстина кај композитите

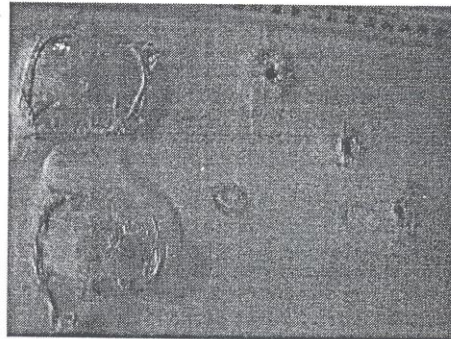
P bar	V <sub>50</sub> m/s		
	BD1	UD1	UD2
20	611.2	753.2	746.2
60	606.7	762.8	756.8
100	615.3	774.4	768.7

Резултатите во табелата 04 се пресметани врз база на 7 продори во плочите со најмала брзина и 7 задори со најголема брзина.



Вредностите за  $V_{50}$  преставуваат средна аритметичка вредност од 14-те поединечни вредности.

Од табелта 03 и од сликата 04 може да се заклучи дека притисокот на пресовање има влијание врз трауматолошкиот ефект кај унидирекционалните композити при што тој се намалува со зголемувањето на притисокот и обратно. Композитите пресовани 100 бар покажаа најмала површина и најмала длабина на трауматолошкиот ефект, додека композитите пресовани при 20 бар покажаа најголеми вредности и за длабината и за површината. Карактеристично кај овие композити при нивната визуелна инспекција по тестирањето е тоа што кај пресованите при 20 бар е приметлива поголема тенденција на деламинација за разлика од оние пресовани при 100 бар. Кај бидирекционалните композити тој ефект не можевме да го мериме, како што е спомнато погоре, заради пробивањето на материјалот. Наиме при проби на материјалот практично се јавува само незначителен трауматолошки ефект. Тоа најдобро е илустрирано на сликата 05 каде паралелно, се презентирани продорите и задорите. Горните показатели исто така наведува на заклучок дека балистичката цврстина кај уни- и бидирекционалните композити при еднакви услови на процесирање, еднаква површинска маса и еднаков однос на влакна/матрица не е еднаква. Односно дека е значитно поголема кај UD композитите. Кај едниот и кај другиот композит вградени се



Слика 05. Пробиви и задори кај UD материјалот

ПЕ влакна од ист тип што значи модулот на еластичност на влакната е еднаков. И кај двата типови на композити односот на матрицата и влакната е еднаков (~20/80). Единствена разлика е што влакната се процесирани во различни текстилни производи: ткаенина, кај која влакната се испреплетени меѓу себе и унидирекционални ленти кај кои влакната се паралелни.

Од резултатите во табела 04 може да се заклучи дека кај UD материјалите балистичката цврстина се зголемува со

зголемувањето, на притисокот на пресовање додека кај бидирекционалниот материјал не може да се примети некаква закономерна промена. Исто така од оваа табела може и квантитативно да се потврди генералниот закључок дека UD материјалите имаат повисока балистичка цврстина од ткаенините. Наиме при иста површинска маса и при еднакви услови на процесирање UD материјалите покажаа за околу 25% повисока балистичка цврстина. Или со други зборови за да се постигне еднаква балистичка цврстина потребно е да се вгради околу 25 % повеќе бидирекционален материјал. Причината за тоа е во раличниот механизам на спроведување на деформациониот бран по балистичкиот удар. Додек кај UD тој се спроведува помалку или повеќе несметано кај ткаенините неговото пропагирање е отежната од точките каде што доаѓа до вкрстување на потката со основата. Во овие точки, во кои доаѓа до голема концентрација на напоните и кинење на влакната, не само што се успорува деформациониот бран, туку дел од него се рефлектира и се движи во спротивен правец од пропагирачкиот така да двата бранови се суперпонираат, при што доаѓа до пренапони и кинење на влакната. Скинатите влакна немаат способност за дисипација на ударната енергија и доаѓа до пробив на плочите при значително помали енергии од оние кои потенцијално влакната можат да ги амортизираат.



### Заклучок

Унидирекционалните композити при еднакви услови на процесирање покажуваат подобри балистички карактеристики од бидирекционалните.

Со зголемување на притисокот на пресовање се зголемува балистичката цврстина кај UD материјалите и се намалува трауматолошкиот ефект.

Кај бидирекционалните композити со промена на притисокот на пресовање не се менуваат значително балистичките карактеристики.

Бидирекционалните композити при  $V_{50}$  тестот порадо ќе се деламинираат одколку да покажат значителен трауматолошки ефект.

### Литература

- 1.J.H.Grimberg et al., "Dyneema Non-Wovens and Fabrics in Ballistic Protection", II-nd Int.Ballistic Conference Moscow, pp. 1-9, June, 1996
- 2.A.S.Verlind, J.L.J. van Dingen, "Dyneema Inserts: Personal Armour Against Rifle Bullets", PASS96, Colchester UK. pp1-8, September 1996
- 3.G.Ben-Dor et al., "Some Ballistic Properties of Non-Homogenous Shields", Composites: Part A 30 (1999) 733-736
- 4.C.E.Morrison, W.H.Bowyer, "Factors Affecting the Ballistic Impact Resistance of Kevlar Laminates", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Simposium of Composite Materials, Paris, 1996, pp.233-245
- 5.W.J.Taylor Jr, J.R.Vinson, "Modeling Ballistic Impact into Flexible Materials", AIAA Journal, Vol.28, No.12, 1990, pp.2098-2103