

Savjetovanje VLAKNIMA OJAČANI KOMPOZITI
Conference »Fibre Reinforced Composites«
Novi Sad 30.09. i/and 01.10.1987.

OJAČANI PLASTIČNI MATERIJALI ZA BALISTIČKU ZAŠTITU Fibre Reinforced Plastics for Ballistics Protection

Dime DIMESKI
Blagoja SAMAKOSKI
Aleksandar RIBAROSKI
ENERGOINVEST-11 OKTOMVRI, Prilep

Dat je pregled supstanci koje se koriste pri izradi predmeta namenjenih balističkoj zaštiti. Opisan je hronološki razvoj predmeta osobne zaštite, dati kriterijumi i metode za procenu i ispitivanje karakteristika balističke zaštite kao i rezultati ispitivanja za pojedine polimerne materijale i polimerne kompozite. Iz izloženog može se zaključiti da su kompoziti od aramidnih vlakana i polimerne matrice, sadašnost i budućnost osobne i materijalne zaštite zbog izvanrednog odnosa svojstva/masa.

An overview of the materials which are used for ballistic protection is given. Chronological development of personal armor, the criteria and methods for assessing and testing of ballistic properties are described. The listed results of various polymeric composites and materials indicate that aramide fibers/polymeric matrix composites are reality and future for the personal and heavy armor, above all because of the very high performance/weight ratio.

UVOD

Iz historijskih zapisa i muzeja može se zaključiti da su predmeti za zaštitu od dejstva oružja izradivani još pre nekoliko hiljada godina. Radilo se o štitovima i oklopima od metala za zaštitu tela starih Grka i Trojanaca pre svega od noževa, koplja, strela, mačeva i drugih oružja, koja razvijaju relativno malu kinetičku energiju. Međutim ova zaštita imala je odlučujući nedostatak obzirom na veliku težinu, čime je uzrokovala veoma ograničenu pokretljivost pešadije a time i veliku povredljivost.

Kasnije kada je obrada čelika sazrela, kompletna telesna zaštita radila se od lanaca i ljusaka. Time je povećan komfor ali težina je opet bila veliki nedostatak i veoma brzo zamarala nosioca.

Uvođenjem vatrenog oružja ova zaštita je izgubila smisao. Tek početkom prvog svetskog rata razvijeni su predmeti strogo namenske zaštite od dejstva granatnih parčadi i mitraljeskih zrna. U to doba je počeo intenzivni i sistematski razvoj efikasnijih i lakših materijala za balističku zaštitu. Mnogobrojnost oružja i municije sa različitim uticajnim faktorima kao što su težina, forma, tvrdoća, brzina i dr. učinile su područje "balistička zaštita" veoma obimnom naukom.

Tokom vremena sve veći zahtevi koji su se postavljali zaštitnom materijalu nisu se mogli ispuniti jednim jedinim materijalom stoga su različite kombinacije bile neophodne. Ove kombinacije u početku su se ograničavale na metalne i kera-

mičke materijale.

Na ideju da se u tu svrhu koristi plastika, došlo se dosta kasnije nakon što su bili razvijeni odgovarajući materijali. Tako je kao rešenje za zaštitu od parčednog dejstva odabran metalom ojačani poliamid. Ova zaštita se kasnije veoma poboljšala uvođenjem tkanine od visokočvrstog prediva izrađenog od PA 66. Ali takođe poboljšanjem efikasnosti municije opet se zaostaje u zaštiti.

Sredinom sedamdesetih godina otkrivena su vlakna na bazi aromatičnih poliamida, aramidi, veoma dobre balističke otpornosti. Od svog otkrića do danas vrše se intenzivna istraživanja u cilju korišćenja ovih vlakana samostalno za izradu zaštitnih prsluka. Zatim se prešlo na ojačavanje polimernih matrica aramidnim vlaknima. To je omogućilo da američka armija godine 1978 uvede u opštu ratnu upotrebu zaštitne prsluke i vojničke šlemove ojačane s aramidnim vlaknima /1/.

SUPSTANCE ZA PROIZVODNJU PREDMETA BALISTIČKE ZAŠTITE

Rad na staklotekstolitnim pločama za balističku zaštitu počeo je već tokom drugog svetskog rata. Radilo se o krutim pločama na bazi staklenih vlakana i poliesterske smole dimenzija 100 x 150 mm koje se štavlja u depove poliamidnih prsluka. Ove laminirane ploče i sam prsluk poznati su pod imenom DORON.

Neobično je da tkanina sa lošom otpornošću na udar i sa posebno lošom balističkom otpornošću kombinovana sa poliesterskom smolom, takođe veoma loše otpornosti, rezultira materijalom odlične balističke otpornosti. Ustanovljeno je da niži sadržaj smole u laminatu omogućuje efikasniju balističku zaštitu. Težinski sadržaj smole od 15 do 25 % u odnosu na stakleno platno ispunjava cilj za minimalni sadržaj smole uz optimalna mehanička i balistički zaštitna svojstva /3/. Ruqger i Fenter radili su intenzivno na staklotekstolitnim laminatima i došli do zaključka da se bolja balistička zaštita postiže sa manje slojeva teže tkanine od utkanog rovinga nego sa

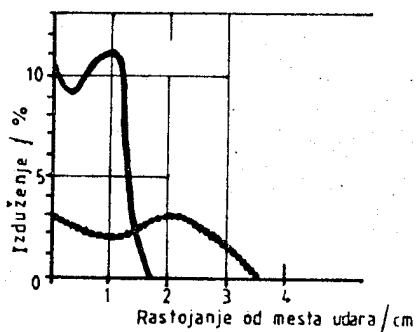
više slojeva niskogramske tkanine /3/. Oni su takođe upoređivali različite tipove stakla višeg ili nižeg modula elastičnosti od onog E-stakla koje se obično upotrebljava za izradu vlakana pri proizvodnji predmeta balističke zaštite. Staklo tipa UM 31A, modula elastičnosti 50 % višeg od E-stakla i 13 % više gustoće, inferiornije je u odnosu na E-staklo, dok S-staklo sa modulom elastičnosti 25 % višim i 3 % nižom gustoćom neznatno je efikasnije. Ovaj materijal zbog skupoće nije prihvaćen. Ruqger i Fenter istraživali su i D-staklo, tzv. dielektrično staklo. Modul elastičnosti D-stakla je 25 %, a gustoća 15 % niža od istih veličina E-stakla. Ovo staklo je balistički efikasnije, pošto laminati pružaju od 15 % do 25 % bolju zaštitu od ekvivalentne težine E-staklenih laminata.

Drugi tip laminata koji su našli dugoročnu primenu kod vojske je pripremljen od poliamidne tkanine u kombinaciji sa modifikovanom fenol-formaldehidnom smolom. Za razliku od staklotekstolitnih laminata balistička otpornost poliamidnih laminata proizlazi od balističke otpornosti PA, normalno, uz sinergetsko dejstvo smole /3/.

Lastnik i Gates proučavali su svojstva PA laminata u funkciji koncentracije smole /4/. Paneli su bili izrađeni od 9 slojeva PA tkanine impregnirane smolom. U osnovi ista balistička granica od 328 m/s se postiže sa koncentracijom smole od 15,8 % do 53 %. Ovo je približno ista balistička granica koja se dobija od 9 slojeva iste PA tkanine bez ikakve smole. Ovo potvrđuje ranije rečeno da samo tkanina daje balističku zaštitu a da se smola dodaje samo zbog kompaktnosti. Denommel je kombinirao PA i staklo u laminat da bi poboljšao balističku otpornost i da bi povećao termičku stabilnost lajnara za šlemove i postigao je željeni efekat /3/.

Razvoj aramidnih vlakana imao je revolucionarni efekat na polju kompozitne balističke zaštite. Laminati od aramidnih tkanina projektovani su da absorbuju što je moguće više kinetičke energije. To se postiže transformacijom većine energije u deformacioni rad unutar ploče dok se samo mali deo koristi da deformiše zrno.

Izvanredne balističke karakteristike aramidnih vlakana proizlaze od njihovih izvanrednih elastičnih i deformacionih svojstva. Od svih poznatih vlakana, aramidna imaju najbolju balističku otpornost. Ovo je rezultat povoljnog produkta modula elastičnosti i prekidnog uzduženja uz vrlo nisku krtoost. Pored balističke otpornosti drugi važni aspekt je količina energije koju efektirana površina tela absorbuje deformacijom. Poliamid 6,6 koji je poznat kao najbolji konvencionalni materijal za osobnu balističku zaštitu i veoma mnogo se koristio za izradu laminata za lake šlemove u oružanim snagama SAD. Slika 1 prikazuje rezultate ispitivanja kompozitnih ploča izradenih od aramidnih i PA 66 tkanina i polimerne matrice.



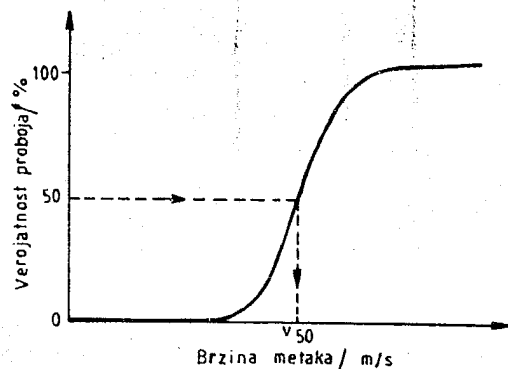
Slika 1. Usporedba izduženja poliamidnih i aramidnih vlakana na laminatima od polimerne matrice

Deset mikrosekundi nakon ispaljivanja mereno je izduženje vlakana u blizini rupe. Iz slike 1 moguće je zaključiti da je kod aramidnih vlakana efektirana veća površina uz niže vrednosti izduženja. Veliko oštećenje zaštite uzrokuje teške traume čoveka koji nosi tu zaštitu. Zbog nižeg izduženja, aramidna vlakna su povoljnija sa stajališta osobne zaštite od poliamidnih.

ISPITNE METODE

Postoji više metoda za ispitivanje balističke

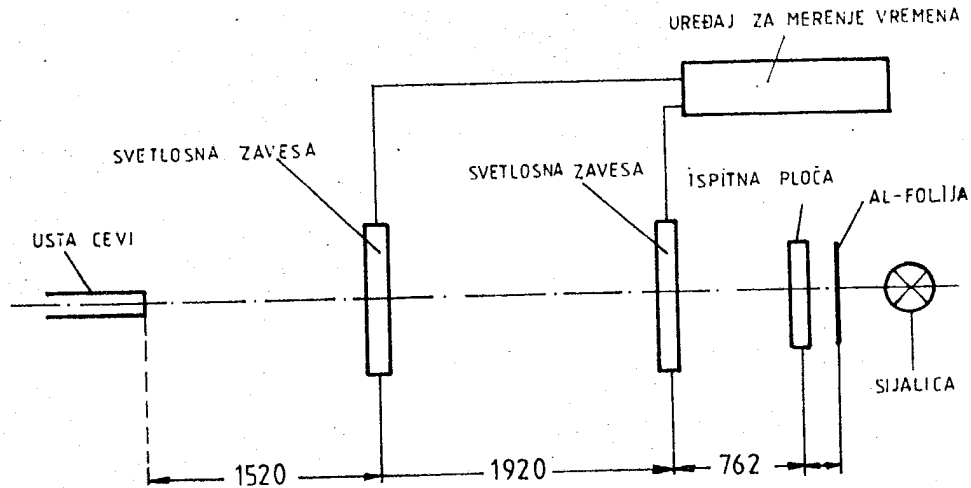
otpornosti. Metod ispitivanja simulacijom parčednog dejstva opšte je prihvaćen na Istoku i Zapadu pa i kod nas. Kod ovog ispitivanja puca se sa zrnom tačno definisane geometrije, težine, tvrdoće i površinske obrade. Obično se radi o standardnom zrnu kalibra 0,22 (1,1 g) i kalibra 0,30 (2,8 g). Vršiti se precizno merenje brzine zrna. Brzina se menja na taj način da se deo zrna zadrži u ispitivanom telu a deo probije po telu. Kako je telo definisane geometrije, pucanjem u tela od različitih materijala utvrđuje se uticaj vrste materijala na probojnost. Vršiti se određeni broj pucanja pri čemu i u jednom i u drugom slučaju vrednosti brzine treba da pripadaju određenom području. Od dobivenih vrednosti računa se brzina pri kojoj je 50% verovatnoća potpunog proboja i 50% verovatnoća delimičnog proboja tj. zadora. To je tzv. V50 vrednost (slika 2).



Slika 2. Definicija V50

Sam način ispitivanja i merenja predstavljen je na slici 3.

U SAD, za procenu balističke granice koriste se tri kriterija /1/. Pod kriterijem armisko-balističke granice (ABL) nastaje proboj kada je moguće videti svetlost kroz ulaz zrna ili kada se vrh zrna može videti sa suprotne strane ploče (slika 4-1).



Slika 3. Redosled ispitivanja

Pod kriterijem mornaričko-balističke granice (NBL) potpuni proboj podrazumeva celosni prolaz ili prolaz većeg dela zrna kroz ploču (slika 4-2) /7/.

Pod kriterijem zaštitno-balističke granice (PBL) potpuni proboj se podrazumeva kada se parče ili parčad udarnog zrna ili zaštitne ploče sa zadnje strane ploče izbacuje sa dovoljno preostalom energijom da bi pocepali tanku aluminijumsku foliju debljine od 0,05 mm do 0,50 mm, postavljenu paralelno na 15,24 cm iza cilja. Svaki drugi udar koji se zadrži u ploči ili prolazi kroz ploču ali sa nedovoljnom energijom da bi pocepao aluminijumsku foliju predstavlja delimični proboj tj. zador.

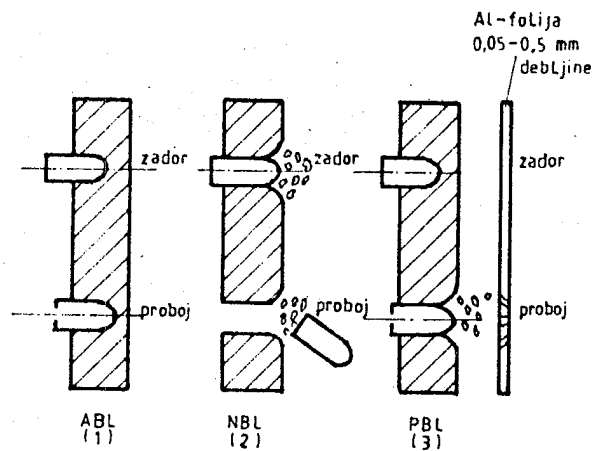
Sadašnji kriterijum za ocenu materijala za osobnu zaštitu je V 50 PBL.

BALISTIČKO - ZAŠTITNA SVOJSTVA OJAČANE PLASTIKE

Danas u svetu komercijalno proizvode aramidna vlakna samo dve firme, američka firma Du Pont (Kevlar) i nemačka firma ENKA (Twaron).

U tabeli 1 date su vrednosti balističke granice za laminate ojačane aramidnim i staklenim vlak-

nima a u tabeli 2 za neojačani polikarbonat. U tabeli 3 data je balistička granica raznih polimera koristeći simulator parčadnog dejstvo od 1,1 g uz površinsku masu polimera od 9,15kg/m² /1/.



Slika 4. Kriterijumi za balističku procenu

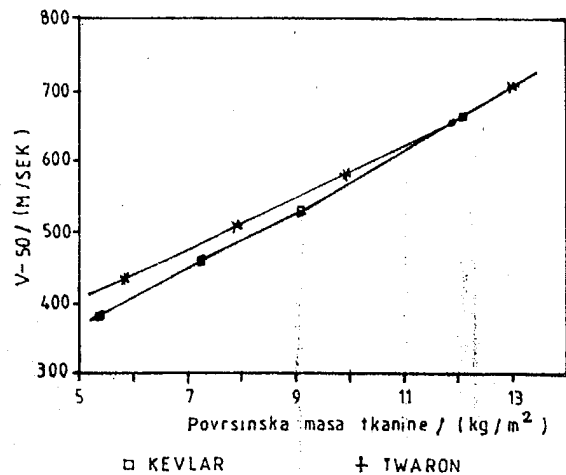
U tabeli 4 date su vrednosti V50 raznih modela vojničkih šlemova. Uporedne, V50, vrednosti balističkih laminata na bazi aramidnih vlakana (Kevlar i Twaron) i polimerne matrice date su na slici 5 /6/.

Tabela 1. Balistička granica za laminatne ojačane aramidnim (Kevlar) i staklenim vlaknima

Materijal	Površinska masa (kg/m ²)	Zrno	Masa zrna g	Balistička granica (m/s)
Kevlar	2,7	0,38 kalibar	10	258
Staklo	3,3	0,38 kalibar	10	194
Kevlar	5,7	9 mm	8	371
Staklo	6,6	9 mm	8	233
Kevlar	5,7	0,357 kalibar	10	357
Staklo	6,6	0,357 kalibar	10	264
Kevlar	7,9	0,44 magnum	16	368
Staklo	9,9	0,44 magnum	16	311

Tabela 2. Balistička svojstva polikarbonata

Kalibar zrna	Težina g.	Balistička granica (m/s)
0,15	0,38	273
0,22	1,1	190
0,22	1,1	195
0,30	2,9	162



Slika 5. Vrednost V 50 za neke antibalističke Laminatne s aramidnim ojačanjem

Tabela 3. Balistička granica V 50 različitih polimera

Polimer	Skraćenica	V 50 (m/s)
Poli (fenilen) oksid	PPO	381
Akilonitil-butadien-stiren terpolimer + polikarbonat	ABS + PC	344
Polisulfon	PSU	344
Polikarbonat	PC	299
Poli (metil-metakrilat) + elastomer	PMMA + elastomer	305
Poliamid 66	PA 66	305
Polipropilen	PP	287
Poliuratan	PUR	283
Poliamid 6	PA 6	283
Poli (oksimetilen)	POM	259
Akilonitil-butadien-stiren	ABS	259
Poli (metil-metakrilat)	PMMA	229
Polistiren	PS	177
Poli (tetrafluoretilen)	PTFE	143

Tabela 4. Balistička granica kompozitnih vojničkih šlemova

Oznaka šlema	Zemlja	Težina šlema g	V 50 (m/s)	Ojačanje
C - AD 4 + 4	Izreal	1400	470	PA/stakleno platno
C - AD 14 N	Izreal	1350	499	balistička PA
C - AD 14 K	Izreal	1500	636	aramid
RHS	SAD	1510	610	aramid
OR 602	Izreal	1000	369	balistička PA

ZAKLJUČAK

Vlaknima ojačana plastika nalazi u zadnje vreme sve veću primenu za izradu produkata balističke zaštite. Posebno su za tu primenu pogodna kao ojačanje aramidna vlakna obzirom na veću zaštitu koju pružaju u odnosu na druge materijale i relativno malu masu. Na pitanje zbog čega aramidna vlakna postižu osobeno dobre rezultate može se samo delimično odgovoriti. To zavisi od hidrodinamičkih procesa koji nastaju pri penetraciji zrna u materijal i koji do danas još nisu potpuno razjašnjeni. Sigurno je da velika prednost aramidnih vlakana leži u finoći vlakana kao i u velikoj čvrstoći i modulu elastičnosti.

Prednost ojačane plastike u primeni kao balističke zaštite je u suštini ista kao kod ostale ojačane plastike: izvanredna čvrstoća, mala masa (izvanredno velika specifična čvrstoća) i koriziona postojanost.

Posebno do izražaja prednosti ojačane plastike dolaze kod osobne zaštite za izradu zaštitnih prsluka i šlemova. Mala težina i bolja zaštita glavni su faktori za zamenu metala sa plastikom.

LITERATURA

1. Roy C. Laible: *Ballistic Materials and Penetration Mechanics*, Elsevier Pub. Co., Amsterdam, 1980
2. F.Horst: *Aramidfaserverstärkte Laminate als Material zum ballistischen Schutz*,
3. Twaron, *Technical Documentation*, ENKA, 1985.
4. *Engineering with Kevlar Fibers: Technical Documentation*, Du Pont, 1984
5. *Vorläufige Informationen über die Verwendung der Aramidfasern Kevlar 29 und Kevlar 49 zum Personenschutz*, Du Pont, 1984.
6. *The Aramid Fibre for Ballistic Fabrics*, Enka, *Technical Documentation*, 1985
7. MIL-STD-662B, *Military Standard, Ballistic Acceptance Test Method for Personal Armor material*, 1983.
8. MIL-P-46593A (ORD): *Military Specification, Projectile Calibres 0,22, 0,30, 0,50 and 20 mm. Fragment-simulationg*
9. *Katalog firme "TAMA PLASTICS INDUSTRIES"* Izrael, 1982.
10. *Katalog firme "ORLITE ENGINEERING CO"*, Izrael, 1980.

Dime DIMESKI
Blagoja SAMAKOSKI
Aleksandar RIBAROSKI
ENERGOINVEST - 11. Oktomvri
Prilep