

KOMPARATIVNE BALISTI^KE KARAKTERISTIKE KOMPOZITNOG MATERIJALA NA BAZI POLIETILENSKIH I ARAMIDNIH OJA^AVAJUJIIH VLAKANA

D.Dimeski¹, V.Srebrenkoska¹, \.Ba{oski²

Izvod

U ovom radu izvr{eno je upore|ivanje balisti~kih karakteristika aramidnih i polietilenskih vlakana, koje se koriste za izradu balisti~ke za{titne opreme., na sobnoj i povi{enoj temperaturi. Izra|eni su laminati razli~itih povr{inskih masa od oba materijala, sa konstantnim odnosom matrica/vlakna i ispitana je balisti~ka karakteristika V_{50} . Kod oba materijala konstatovana je linearna zavisnost V_{50} od povr{inske mase. Potencirane su prednosti i nedostaci oba tipa vlakana sa aplikativne gledne ta~ke kod sobne i povi{ene temperature.

Klju~ne re~i: balistika, aramid, PE, V_{50} , laminat.

Uvod

Opasnost kojoj je izlo`en savremeni vojnik na bojnopolju je vi{estuka i uklju~uje {rapnele ili fragmente i pu{~ane metke velikih brzina. Teoretski i pi{tolji t.j. revolveri mogu predstavljati opasnost u gerilskoj borbi. Me|utim njihova ograni~ena primena protiv borbrnih vozila i laka dostupa~nost ubojitijih pu{aka kao {to je Kala{nikov AK-47 ~ini nisko-brzinska pi{toljska zrna zanemarljivom opasno{~u za savremenog vojnika.

Oba vida opasnosti: fragmenti i zrna imaju posebne karakteristike i adekvatno , zahtevaju razli~iti za{titni materijal. Normalni vojni~ki prsluci {tite samo od {rapnele, dok policijski prsluki {tite od pi{toljskih/revolverskih zrna. Za za{titu od pu{~anih zrna u prsluke se stavljaju dodatne plo~e, izra|ene od balisti~kog materijala, koje {tit najvitalnije organe.

Vojnik bliske budu~nosti je visoko obu~en profesionalac sa savremenim mogu~nostima (ure|aje za no~no posmatranje i komunikacije, laserski-vo|eno oru`je, GPS...). Uprkos savremene tehni~ke opreme , osnovna balisti~ka za{tita od fragmenata i pu{~anih zrna ostaje neophodna. Savremeni vojnik nosi puno te`ine i vidu komunikacijske i takti~ke opreme zbog ~ega je neophodna kompenzacija u

te`ini za{titne opreme. Pri tome izazov je posti~i balans između za{titne povr{ine s jedne strane i te`ine, komfora i mobilnosti s druge strane. Naj~e{ }e kori{ }eni balisti~ki materijali koji mogu prkositi ovom izazovu su aramidna i polietilenska vlakna visoke molekulske mase.

Komercijalna aramidna i polietilenska vlakna

Nekoliko firmi u svetu su uklju}ena u proizvodnji i fini{iranju savremenih materijala koje se koriste za li~nu balisti~ku za{titu.

Firma DuPont ve} 25 godina proizvodi balisti~ku za{titu. Vlakna trgova~ke oznake Kevlar®, prvi put razvijena u 1965, bila su prvi materijal identificiran za upotrebu u modernoj generaciji prsluka za no{enje ispod odela. Kevlar® 29, otkriven u ranim 1970im godinama, je prva generacija balisti~ki-otpornog vlakna razvijeno od strane DuPonta i po prvi put je kori{~en je za proizvodnju fleksibilnih prsluka za no{enje ispod odela. U 1998 godini DuPont u uveo drugu generaciju Kevlar® vlakana poznatu kao Kevlar® 129. Ova vlakna imaju bolje balisti~ki za{titne karakteristike za visokoenergetska zrna kao {to je 9mm FMJ. U 1995, uveden je Kevlar® Correctional™ koji se odlikuje velikom otporno{~u na ubod.

Drugi ~lan Kevlar® porodice je Kevlar®Protera koji je uveden 1996. DuPont tvrdi da je to visokoperformansni materijal koji omogu}ava upotrebu manje te`ine, ve}e fleksibilnosti i ve}u balisti~u za{titu prslukaa {to se du`i molekularnoj strukturi vlakana. Njegova zatezna ~vrsto~a i apsorbiraju}e osobine energije pove~ane su razvojem novog procesa izvla~enja vlakana.

Originalni proizvođa~ aramidnih vlakana u Evropi je bila firma Enka deset godina nakon DuPonta. Firma je proizvodila dva tipa aramidnih vlakana trgova~ke oznake Twaron®: standardi tip, Twaron® i visokomodulni tip, Twaron® HM. Proizvodnju je dalje preuzela firma Akzo Nobel koja je zadr`ala trgova~ku oznaku Twaron® i izbacila je novi tip vlakna visoke specifi~ne ~vrsto~e Twaron® CT. Danas proizvodnju je preuzela novoosnovana firma Twaron Products koja je 1997 godine izbacila tre}u generaciju aramidnih vlakana, superiornija od ostalih, pod oznakom Twaron® CT Microfilament (4).

Dyneema® vlakno, proizvedeno je od strane firme DSM HPF iz Holandije, je polietilensko vlakno ultra visoke molekulske te`ine. Odlikuje se ultra visokom ~vrsto~om i smatra se naj~vr{~im vlaknom na svetu (2). Ovo vlakno je razvijeno na

početku 1980tih godina. Do danas razvijena su tri generacije vlakana SK65, SK66 i SK76. Dostupna su u vidu tkanine ili unidirekcionlnih višeslojnih kompozitnih traka : Dyneema® UD HB namenjena za tvrdu balistiku - ploče i Dyneema® UD SB namenjena za meku balistiku- prsluci.

U Americi ova vlakna proizvodi firma Allied Signal (1) pod trgovačkom oznakom Spectra®. Komercijalno su dostupna dva tipa vlakana Spectra® 900 i Spectra® 1000. Unidirekcionalni kompozitni materijal je poznat kao Spectra Shield®. Ova firma je proizvela isto tako unidirekcionalnu kompozitnu traku na bazi aramidnih vlakana trgovačke oznake Gold Shield®. Gold Shield® se proizvodi u tri tipa: Gold Shield®LCR i Gold-Flex® namenjena su za prsluke i Gold Shield® PCR koji se koristi za tvrdu balistiku - ploče i šlemove.

U Tabeli 1 date su osnovne karakteristike nekih ojačavajućih vlakana od polietilena(PE) i aramida..

Tabela 1. Osobine ojačavajućih vlakana.

Karakteristika	Jedinica	Polietilen SK66	Polietilen SK76	Aramid HT	Aramid CT
Gustina	g/cm ³	0.97	0.97	1.44	1.44
^vrstoća	N/tex	3.3	3.7	2.35	2.30
Specifični modul	N/tex	101	120	52	62
Istezanje pri prekidu	%	3.7	3.8	3.6	3.3

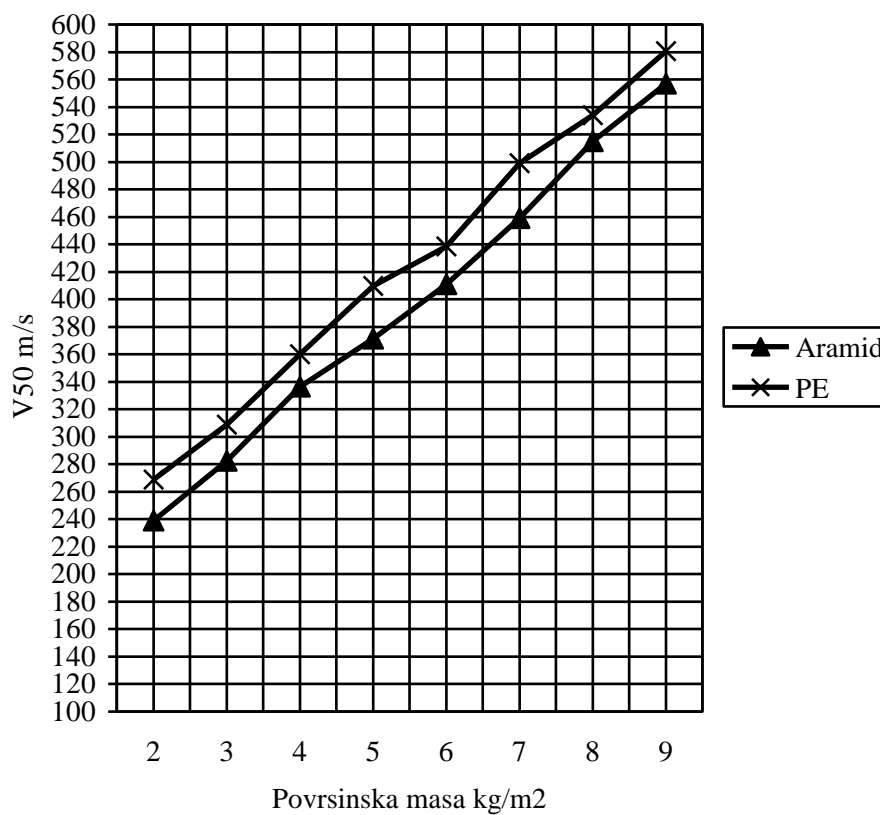
[to se otpornost na povišenim temperaturama tiče, razlika između PE i aramidnih vlakana je drastična. Aramidna vlakna su ognootporna, samogasiva i ne tope se kad su izložena povišenim temperaturama. Njihov opseg aplikacije dostiže 400°C. S druge strane polietilenska vlakna se tope već na 134 °C tako da je njihova aplikacija ograničena na niskim temperaturama.

Eksperiment i rezultati

U praksi za korisnika personalne balističke opreme (prsluk, šlem, ploča) najvažnije su dve karakteristike - masa balističke opreme i nivo zaštite. Tendencija je uvek da se sa što manjom masom postigne što veća balistička zaštita. Zato smo, zbog ovih aplikativnih razloga, u "Eurokompozitu" pokušali odrediti tu korelaciju na dva tipa ojačavajućih vlakna koje koristimo u redovnoj proizvodnji.

Za uporedna ispitivanja koristili smo aramidna vlakna Twaron® CT u obliku tkanine platnenog prepletaja, površinske mase 280 g/m², finiširane za upotrebu sa

Dijagram 1. Rezultati balističkih ispitivanja karakteristike V50



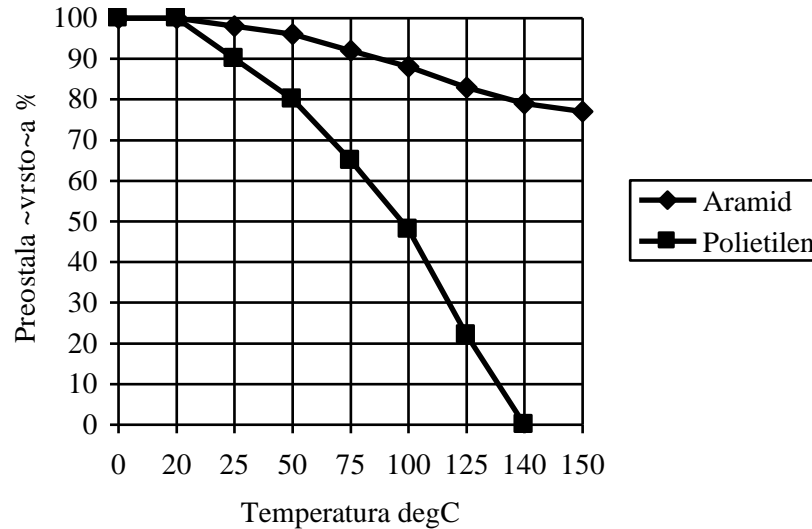
fenolnim smolama i tkaninu na bazi Dyneema® SK66, platnenog prepletaja, površinske mase 280 g/m², finiširane za upotrebu sa fenolnim smolama. Obe tkanine su preralene u odgovarajuće preprege impregnacijom fenolnom smolom modificirane polivinilbutiralom. Sadržaj nanete smole kod svih laminata je bio konstantan - 20%.

Od oba tipa preprege izrađene su ploče sledećih površinskih masa: 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 kg/m². Uzet je ovaj opseg površinskih masa koji ima praktični značaj za izradu personalne balističke zaštite. Ispitana je balistička karakteristika V₅₀, koja predstavlja 50% verovatnoću da neće doći do prodora odnosno da će doći do prodora. Ispitivanje je vršeno pucanjem simulatorom paradižnog dejstva mase 1.5g i kalibra 5.56 mm. Pucano je normalno na ploče sa rasojanja od 5m. Rezultati ispitivanja su dati na dijagramu 1. Ovo ispitivanje je obavljeno na sobnoj temperaturi.

Diskusija i zaključak

Iz dijagrama 1 jasno se može uočiti razlika u balističkim performansama laminata na bazi aramidnih i polietilenskih vlakana. Povećanjem površinske mase laminata od 2 kg/m² do 9kg/m² povećava se, kod oba materijala, balistička otpornost i to skoro linearno pri tome je ugib krivi skoro identičan. Laminati na bazi polietilena imaju veću balističku zaštitu od aramidnih u odnosu na masu. Aramidna vlakna imaju neznatno bolje balističke karakteristike kada se uporedi vlakno sa vlaknom. Međutim polietilenska vlakna imaju daleko bolju specifičnu balističku zaštitu (računato na jedinicu mase) što se može lako zaključiti iz razlike u gustini. Polietilenska vlakna imaju gustinu 0.97 g/cm³, dakle lakša su i od vode, dok aramidna 1.44 g/cm³. Ovo je važno kada se radi o ispitivanju na sobnoj temperaturi od 20°C.

Dijagram 2. Preostala ~vrsto~a na povi{enoj temperaturi



Meutim povi{ena temperatura ima znatni uticaj na balisti~ke performanse PE vlakana. Istra`ivanje koje je objavio nema~ki Bundeswehr (5) pokazao je da se balisti~ke performanse PE laminata znatno smanjuju kade se izlo`e povi{enoj temperaturi (60 °C-90 °C). Dijagram 2 daje teoretski odgovor na pitanje zbog ~ega je to tako.

Kad je izlo`en povi{enoj temperaturi PE drasti~no gubi ~vrsto~u, kod 80 °C ve} 40% preostale ~vrsto}e, dok je kod aramida to neznatno. Ovo zna~i smanjenje i balisti~kih performansi. Dok aramid izdr`ava temperature od 150 °C bez da poka`e smanjenje balisti~kih performansi, PE laminatu je potrebno 25% vi{e mase kod 80 °C da bi kompenzirao gubitak performansi.

Na bazi ovog ispitivanja mo`emo zaklju~iti da aramidna i polietilenska vlakna imaju odli~ne balisti~ke karakteristike. Za upotrebu na sobnu temperaturu bolju za{titu pru`aju PE vlakna dok je njihova primena na povi{enoj temperaturi nepreporu~ljiva po{to vlakna znatno gube od svojih balisti~kih performansi. Za primenu na povi{enoj temperaturi treba koristiti aramidna vlakna koja svoje odli~ne balisti~ke karakteristike zadr`avaju i na povi{enim temperaturama.

Literatura

- (1) Selection and Application Guide to Police Body Armor, NIJ Guide 100-98, 1998
- (2) Dyneema lightweight and personal armour, DSM HPF, 1996
- (3) Philip Cunniff "A semiempirical model for the ballistic impact performance of textile-based personnel armor", Composites, p 45-59, January 1996
- (4) Twaron in ballistic protection, Akzo Nobel, 1995
- (5) F.Horst "Aramidfaserverstärkte Laminate als Material zum ballistischen Schutz", Bundeswehr, 1996
- (6) J.H.Grimberg et al "Dyneema non-wovens and fabrics in ballistic protection", 2nd Int.Ballistic Conference, Moscow, 1996
- (7) Stanag 2920-Ballistic test method for personal armours, NATO, 1992
- (8) R.H.Zee et al. "Ballistic response of polymer composites", Polymer Composites, June 1991, Vol 12, No 3

Summary

Ballistic performance of aramid and polyethylene fiber composites, which are used for production of ballistic protection items, at ambient and higher temperatures, was examined. Laminates with different areal density and with a constant ratio matrix/fibers

were prepared from the both materials and the ballistic property V_{50} was evaluated. In both materials a proportiona almost linear increase of V_{50} property is observed with the increase of areal density. The advantages and disadvantages of both types of fibers at ambient and higher temperatures, from the applicability point of view are discussed

Key words: ballistic, aramid, PE, V_{50} , laminate