

OGRANICZENIE EFEKTU DYNAMICZNEGO UGIĘCIA TKANINOWEGO WKŁADU BALISTYCZNEGO DO KAMIZELKI KUŁOODPORNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań własnych wykazujących skuteczność zastosowania antyugięciowych materiałów we wkładach balistycznych do kamizelek kuloodpornych. Wykazano, że ich zastosowanie pozwoli na zmniejszenie ugięcia dynamicznego aramidowego wkładu tkaninowego w miejscu trafienia pociskiem nawet o ok. 35 %. Ograniczenie strzałki ugięcia wynika z zwiększenia powierzchni, na której rozpraszana jest energia uderzenia pocisku. Wyniki badań przedstawione na wykresie wykazują ścisłą zależność głębokości krateru w plastycznym podkładzie od jego średnicy. Głębokość ta wyraźnie spada ze wzrostem średnicy krateru, czyli „de facto” ze wzrostem powierzchni, na której rozpraszana jest energia uderzenia pocisku. Wyniki badań wykazują, że na poziom ugięcia ma również wpływ zarówno konstrukcja wkładu, jak i jego położenie w układzie warstw. Konstrukcja wkładu antyugięciowego powinna być taka, aby wkład nie ulegał fragmentacji w procesie wnikania pocisku. Elementy wyrwane z wkładu antyugięciowego stanowią dodatkowy element, który zwiększa głębokość krateru w plastycznym podkładzie. W celu maksymalnego wykorzystania właściwości tłumiących energię uderzenia pocisku przez wkład antyugięciowy należy przeanalizować jego położenie w strukturze tkaninowej wkładu balistycznego. Na wykresie wykazano, że istnieje optymalne położenie wkładu antyugięciowego.

1. Wstęp

Podstawową funkcją kamizelki kuloodpornej jest niedopuszczenie do całkowitej penetracji pociskiem układu pancernego, którym może być aramidowy układ tkaninowy, kompozytowy z ceramiką, stal lub różne kombinacje tych materiałów. Procesowi wnikania pocisku w pancerne warstwy wkładu balistycznego zawsze towarzyszy zjawisko ugięcia dynamicznego materiału pancernego.

Efekt dynamicznego ugięcia jest szczególnie widoczny we wkładach zabezpieczających w kamizelkach, w których warstwę ochronną stanowi pakiet tkaninowy występujący zwykle w postaci zszytych tkanin aramidowych. W kamizelkach, w których wkłady zabezpieczające są wzmacniane płytami stalowymi parametr ugięcia nie stanowi zasadniczego problemu. Trzeba, jednak wziąć pod uwagę, że większość kamizelek kuloodpornych występuje w wersji „tkaninowej”, stąd ograniczenie efektu dynamicznego ugięcia jest tak istotne.

Dopuszczalny poziom ugięcia wkładu balistycznego w miejscu trafienia pociskiem, mierzony na plastycznym podłożu o odpowiedniej konsystencji wynosi 40 mm. Sposób pomiaru ugięcia jest opisany w przedmiotowej normie nr PN - V - 87000. Ugięcie dynamiczne, poza faktyczną odpornością balistyczną jest parametrem, który jest określany podczas badań odbiorczych i sprawdzających i jest traktowany na równi z wynikami badań odporności na przebicie a jego dopuszczalna wartość jest rygorystycznie przestrzegana.

Ograniczenie zjawiska tępego ugięcia dynamicznego (*BABT – ang. Behind Amor Blunt Trauma*) ma decydujące znaczenie dla minimalizacji urazów spowodowanych przez uginający się materiał balistyczny w miejscu uderzenia pocisku lub odłamka. Uderzenie pocisku w materiał pancerny zawsze jest przyczyną fizycznego urazu. Dopuszczalne, oceniane pod-

czas badań, wielkości ugięcia wkładu balistycznego kamizelki informują jedynie o granicznych wartościach odkształcenia, jakiemu może ulec ludzkie ciało w chwili uderzenia pocisku we wkład zabezpieczający bez przebicia tego wkładu. Zwykle konsekwencją ugięcia jest uraz polegający na miejscowym wylewie, złamaniu żeber, urazach narządów wewnętrznych, ogólnym szoku itp.

Głównym przeznaczeniem warstw antyugięciowych jest ograniczenie tego zjawiska. W tym celu stosowane są w zestawie z zasadniczymi wkładami ochronnymi specjalne warstwy, pozwalające na rozproszenie energii uderzenia pocisku. Osiągnięcie tego efektu jest możliwe poprzez zwiększenie powierzchni oddziaływania uginającego się układu pancernego na powierzchnię chronionego obiektu. W konsekwencji prowadzi to do zmniejszenia strzałki ugięcia zestawu zabezpieczającego.

Wkłady antyugięciowe stosowane w kamizelkach kuloodpornych występują zwykle w postaci integralnych warstw wykonanych z materiałów komórkowych (pianek) i są usytuowane w kamizelce zwykle pomiędzy ostatnią warstwą wkładu tkaninowego a ciałem użytkownika. Zastosowanie takiego wkładu nie może pogarszać komfortu użytkownika kamizelki, przez co materiały użyte do wykonywania tych wkładów posiadają taką samą elastyczność jak wkład zasadniczy. Również zmiana masy kamizelki z tytułu zastosowania wkładów antyugięciowych nie powinna przekraczać kilku procent w stosunku do masy całego wyrobu.

Problem ugięcia dynamicznego, określanego jako tępe ugięcie, w bibliografii jest trudno zauważalny a problematyka ta funkcjonuje jedynie na specjalistycznych konferencjach i sympozjach. Stąd materiały zawarte w niepublikowanej pracy [1] pod tytułem „Ryzyko zranienia spowodowanego ugięciem za pancerzem w obszarze klatki piersiowej”, w której podjęto próbę analizy zjawisk wpływających na oddziaływanie odkształcającego się materiału pancernego (w tym przypadku wkładu z kompozytu polietylenowego UHMWPE – *ang. ultra high molecular weight polyethylene*) na obiekt, jest szczególnie cenne i wymaga szerszego omówienia.

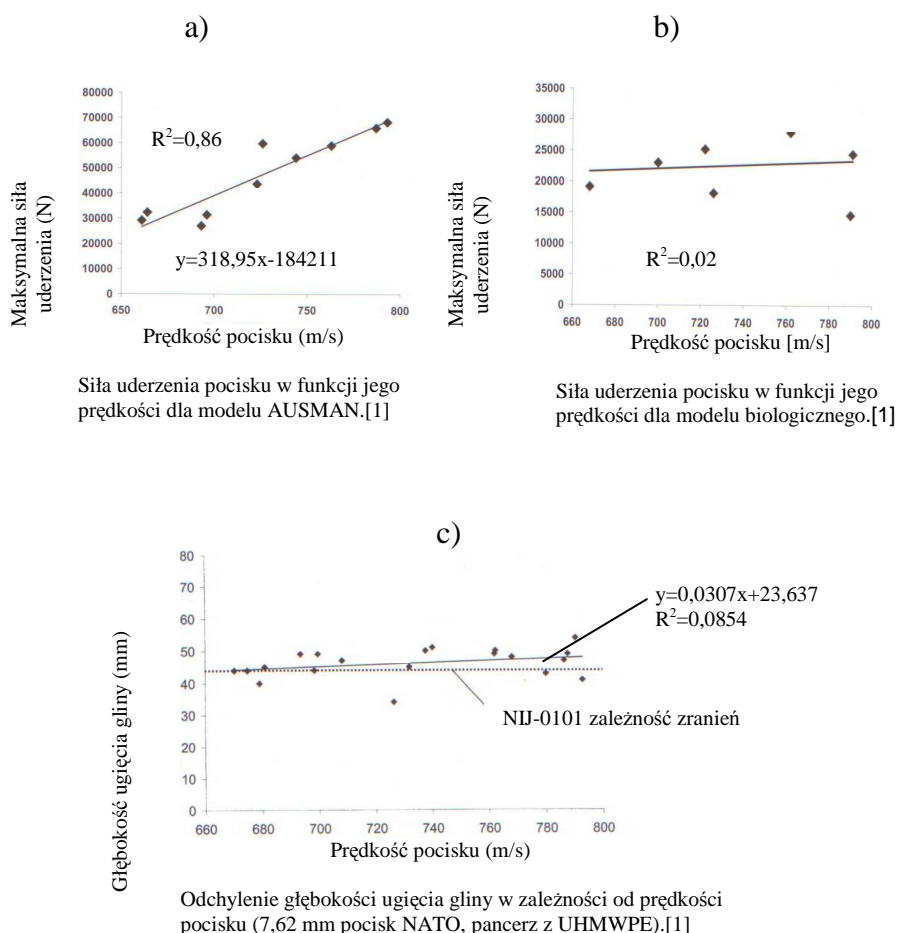
Zagadnienie dotyczące skutków ugięcia dynamicznego tylnej powierzchni pancerza osobistego przedstawiono w usystematyzowany sposób. Badania oraz ocena ich wyników zostały poprzedzone analizą wybranych materiałów źródłowych. W analizie, w sposób krytyczny przedstawiono ograniczenia, którymi charakteryzowały się dotychczas prowadzone badania skutków efektu tępego ugięcia.

W celu eliminacji tych ograniczeń (min. pancerze osobiste starszych generacji, zastosowanie do badań żywych świń, których budowa anatomiczna nie odpowiadała budowie człowieka i innych) do badań zastosowano najnowocześniejsze pancerze twarde, wykonane polietylenem UHMWPE. Jednocześnie posłużono się obiektami badawczymi w postaci odpowiednio spreparowanych ludzkich zwłok oraz modelem w postaci manekina o budowie zewnętrznej (skóra) i wewnętrznej (szkielet) zbliżonej do budowy anatomicznej człowieka - AUS-MAN (*ang. – anthropometric test dummy*). W poszukiwaniu kryterium, które określałoby ryzyko zranienia pochodzącego od ugięcia pancerza skupiono się na pomiarach skoncentrowanej siły i ciśnienia pochodzących od uderzenia pocisku. Obszar, w którym dokonywano pomiarów ograniczono do środkowej części klatki piersiowej, gdzie centralnym obszarem, uznanym za najbardziej newralgiczny był mostek i jego uszkodzenia wywołane ugięciem pancerza.

W przeprowadzonych badaniach określono relacje pomiędzy obiektem rzeczywistym (ludzkie ciało) a modelem w postaci odpowiednio skonstruowanego manekina. Wykazano wiele właściwości, którymi taki model powinien się charakteryzować, szczególnie dotyczy to konieczności osiągnięcia lepkosprężystych właściwości modelu, tzn. takich, które są charakterystyczne dla ludzkiego ciała. Wydaje się, że najcenniejszym efektem przeprowadzonych badań jest wykazanie mankamentów stosowanych obecnie metod oceny ugięcia i wytyczenie

kierunku dalszego postępowania, które w efekcie pozwoliłyby na opracowanie nowego modelu do rejestracji ugięć, możliwego do stosowania w celach tzw. komercyjnych.

W badaniach sklasyfikowano w postaci siedmiostopniowej skali ryzyko zranienia pochodzącego od efektu ugięcia i określono graniczną siłę uderzenia pocisku na poziomie 24900 ± 1400 [N], przy której ryzyko zranienia pochodzącego od ugięcia wynosi 50%. Efekty dynamicznego ugięcia pancerza udokumentowano zdjęciami pochodzącymi z głowicy rentgenowskiej oraz z kamery do zdjęć szybkich filmującej zewnętrzną powierzchnię pancerza podczas wnikania pocisku. Jednocześnie dokonywano fizycznej analizy zranień obiektu. Wyniki badań zobrazowano w postaci wykresów (rys. 1a i 1b), na których przedstawiono zależności wiążące prędkość pocisku z siłą uderzenia dla danego obiektu. W badaniach zabrakło tych relacji dla standardowo stosowanej gliny. W przypadku tego obiektu określono jedynie głębokość deformacji podłoża oraz jego obszar w funkcji zmiennych wartości prędkości uderzenia, rys. 1c. Relacje prędkości uderzenia pocisku i siły uderzenia wywołanej ugięciem pancerza przy użyciu modelu anatomicznego zostały zinterpretowane korzystniej w stosunku do standardowo stosowanego bloku plastycznej gliny. Badań takich, jak na modelu AUSMAN oraz na obiekcie biologicznym dla plastycznej gliny jednak nie przeprowadzono. Przyjęte i zalecane kryterium oparte na pomiarze siły uderzenia określające 50 – cio procentowe prawdopodobieństwo zranienia w wyniku ugięcia pancerza na poziomie ok. 25000 N stanowiłoby istotną zmianę w podejściu do oceny pancerza. Wymagałoby to jednak wykonania i stosowania specjalnych modeli anatomicznych o znormalizowanej konstrukcji i kształtach.



Rys. 1. Wybrane wyniki badań przeprowadzonych w celu określenia ryzyka zranienia na skutek efektu dynamicznego ugięcia pancerza [1].

2. Budowa badanych wkładów antyugięciowych

Wkład antyugięciowy do kamizelki kuloodpornej powinien charakteryzować się jak najniższą masą i wysoką elastycznością, posiadać zdolność do rozpraszania energii pocisku penetrującego wkład balistyczny na znacznej powierzchni i nie powinien wpływać znacząco na wzrost grubości wkładu balistycznego.

Do konstrukcji wkładu antyugięciowego, z uwagi na wymaganą zdolność do rozpraszania energii uderzenia, najbardziej właściwe wydają się polimerowe materiały komórkowe. Spośród nich na wyróżnienie zasługuje spieniony polietylen. Ten materiał spełnia wymagania związane z niską gęstością - $0,92 \text{ g/cm}^3$, odpowiednią wytrzymałością oraz cechami pozwalającymi na zastosowanie go w kontakcie z ciałem użytkownika. Gęstość pozorna spienionego polietylenu jest uzależniona od stopnia spienienia i może być ponad dziesięciokrotnie niższa od polietylenu litego. Pianki te w wersjach z zamkniętymi porami są ponadto stosunkowo wytrzymałe. Posiadają bardzo dobre właściwości termoizolacyjne, dobrą elastyczność, żywotność, możliwość ciągłej pracy w zakresie temperatury - $40^\circ \text{C} \div + 50^\circ \text{C}$.

Koncepcja wykonania wkładu antyugięciowego polegała na połączeniu tego materiału z bardzo wytrzymałym nośnikiem posiadającym również cechę odpowiedniej elastyczności oraz niskiej masy powierzchniowej, przy jednoczesnym niskim wpływie na grubość układu. Materiałem, który spełniał te wymagania była tkanina aramidowa o niskiej gramaturze – 200 g/m^2 .

Łączenie polietylenu z innymi materiałami jest trudne. Polietylen jest praktycznie niezwilżalny przez typowe kleje stosowane do łączenia polimerów oraz jest nierozpuszczalny w większości rozpuszczalników organicznych. Piankowe płyty polietylenowe występują jednak w postaci powlekanej jednostronnie klejem nanoszonym przez producenta. W technologii wykonania warstw antyugięciowych złożonych z pianki polietylenowej i tkanin aramidowych element ich łączenia był nieodzowny. Do połączenia materiału aramidowego z płytą pianki polietylenowej wykorzystano dwie techniki:

- łączenie tych materiałów za pomocą specjalnych taśm „obustronnielepnych”,
- zszywanie pianki z tkaniną.

Podczas klejenia wykorzystywano fakt, że taśmy były wykonane bez nośnika a klej pozostawał w postaci nieutwardzonej. Klejenie takim materiałem wykorzystywało mikronierówności zarówno na powierzchni płyty polietylenowej (pianka) oraz na powierzchni tkaniny aramidowej (przestrzenie między włóknami). Połączenie takie spełniało swoje zadanie. Podczas próby odrywania płyta polietylenowa ulegała rozwarstwieniu, czyli połączenie klejowe było silniejsze od wewnętrznej spójności pianki.

Technika szycia jest najprostszym i najskuteczniejszym sposobem połączenia warstw tkaninowych z pianką. Połączenie to ma jednak tę wadę, że nie można go zrealizować na całej powierzchni, lecz jedynie w określonych miejscach. Jak się okazało, dla konstrukcji układu antyugięciowego nie miało to znaczenia.

Na rys. 2 przedstawiono wykonane wkłady antyugięciowe metodą klejenia i szycia.



a)



b)

Rys .2. Fotografia wkładu antyugięciowego, a) klejonego, b) szytego.

Próbki do badań stanowiły pakiety tkanin aramidowych wykonanych z tkaniny o gramaturze 127 g/m² dla układów z warstwami antyugięciowymi klejonymi i 200 g/m² dla warstw antyugięciowych szytych. Pakiety tkaninowe (rys. 9) posiadały odporność na przebicie pociskiem 9 mm PARA FMJ przy prędkości uderzenia $v_u = 375 \pm 15$ m/s. Próbki były zaopatrzone w wykonane pakiety antyugięciowe.

3. Wyniki badań

Wszystkie próbki wykonane w wersji klejonej, w różnych układach były sytuowane od strony spodniej kuloodpornego pakietu tkaninowego na plastycznej glinie służącej do pomiaru ugięcia dynamicznego. Parametry badania i próbek były następujące:

- wkład podstawowy tkanina aramidowa w liczbie 35 warstw,
- glina – ugięcie wzorcowe 25 mm,
- pianka polietylenowa ALVEOLIT o grubościach 5 i 10 mm,
- klej – taśma obustronnie lepna bez nośnika,
- pomiar głębokości ugięcia z dokładnością do 1 mm (po wyrównaniu gliny).

Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań ugięcia wkładu balistycznego przy wykorzystaniu warstw antyugięciowych o różnej strukturze.

L.p.	Rodzaj próbki	Ugięcie [mm]	Ugięcie średnie [mm]	Średnica krateru [mm]	Średnica krateru śr. [mm]	Prędkość uderzenia pocisku [m/s]	Średnia prędkość uderzenia pocisku [m/s]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	WB	39	34,3	64	62,3	378	377,3
		32		60		376	
		32		63		378	
2	WB+P10	36	34,0	64	65,7	376	376,7
		36		65		378	
		30		68		376	

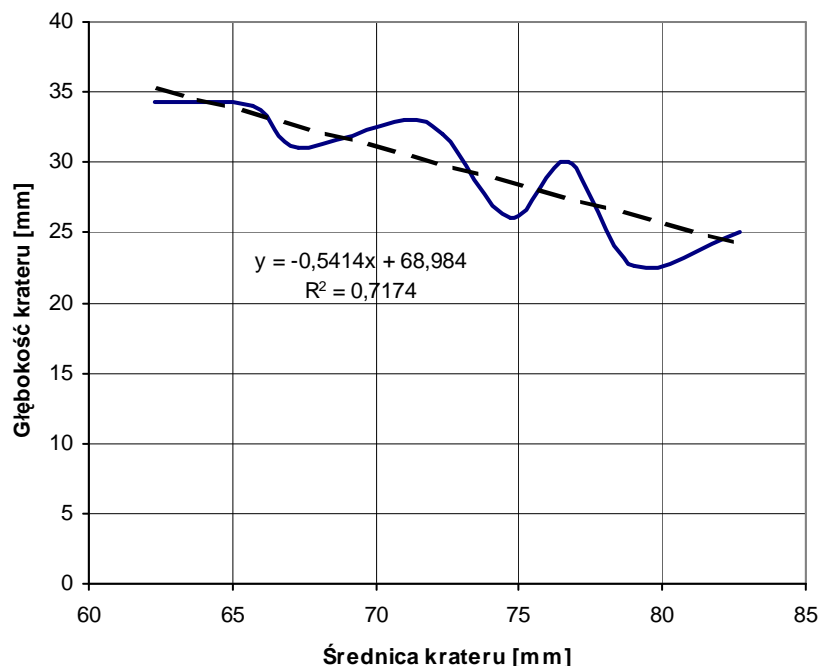
cd. tabeli 1							
3	WB+2A	30	31,0	67	67,3	377	378,7
		30		67		378	
		33		68		381	
4	WB+3A	37	33,0	75	71,0	380	377,0
		30		68		375	
		32		70		376	
5	WB+(AP5A)	31	32,0	70	72,3	375	376,3
		35		72		377	
		30		75		377	
6	WB+(AP5AP5)	25	26,0	74	74,7	378	377,7
		28		79		378	
		25		71		377	
7	WB+(AP5AP5A)	25	22,7	73	79	378	377,0
		18		86		377	
		25		78		376	
8	WB+(AP10A)	25	25,0	77	82,7	379	376,7
		26		86		373	
		24		85		378	
9	WB+(P5AP5)	30	30,0	77	76,7	375	377,7
		30		73		377	
		30		80		381	

Oznaczenia:

- WB – wkład balistyczny,
- (APnA) – struktura wkładu antyugięciowego: A tkanina aramidowa - pianka o grubości n[mm]
– A tkanina aramidowa.

Wszystkie badania były przeprowadzone na próbkach, w których warstwy antyugięciowe były umieszczane od strony gliny. Na wykresie na rys. 3 przedstawiono zależność głębokości krateru powstałego w plastycznym podłożu od jego średnicy.

Badania przeprowadzono przy stałej prędkości uderzenia pocisku wynoszącej 362 ± 2 m/s. Różnice w wartościach mierzonych, czyli głębokość ugięcia dynamicznego oraz maksymalne średnice kraterów są wynikiem wyłącznie zróżnicowania budowy materiału antyugięciowego. Z zamieszczonego na rys. 3 wykresu wynika, że w celu ograniczenia ugięcia materiału kuloodpornego należy dążyć do uzyskania jak największej średnicy krateru. Można to uzyskać stosując w kompozycji warstwy antyugięciowej materiał dobrze odkształcalny w połączeniu z wytrzymałymi, o niskim poziomie odkształcania włókna i gęsto tkanymi cienkimi tkaninami. Wykorzystane w pracy materiały spełniały ten warunek. Najlepszy wynik uzyskano stosując kompozycję lp.7 z tabeli 1. Ugięcie zanotowane w tym przypadku wynosiło 22,7 mm i było niższe od ugięcia samego wkładu balistycznego o ok. 34 %. Przy zastosowaniu dodatkowych trzech warstw tkaniny aramidowej ugięcie wynosiło 33 mm (l.p. 4, tab. 1), czyli niewiele mniej od ugięcia wkładu balistycznego (l.p. 1, tab. 1) Zastosowanie dwóch przekładek z pianki o grubości 5 mm pomiędzy tymi tkaninami prowadziło do zdecydowanego obniżenia ugięcia.



Rys. 3. Wykres zmian głębokości krateru w zależności od jego średnicy.

Kolejnym badaniem było poszukiwanie optymalnego miejsca położenia wkładu antyugięciowego. W tym celu określono na wstępie liczbę warstw układu tkaninowego stanowiącego wkład balistyczny, która ulega całkowitemu przebiciu mierząc jednocześnie ugięcia dynamiczne. Pociski zatrzymywane zostawały na piątej warstwie tkaninowej. W celu określenia najlepszego położenia wkładu antyugięciowego umieszczano go pomiędzy warstwami tkaninowymi w systemie określonym w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki badań optymalizujących położenie wkładu antyugięciowego.

Nr próbki	Prędkość uderzenia pocisku [m/s]	Średnia prędkość uderzenia pocisku [m/s]	Ugięcie [mm]	Ugięcie średnie [mm]	Opis próbki
1	2	3	4	5	6
1	360	363,2	31	32,2	WB
	366		31		
	362		30		
	367		40		
	364		29		
	360		32		
2	363	364,0	25	24,0	WB+WA
	364		20		
	363		28		
	362		23		
	366		24		
	366		24		

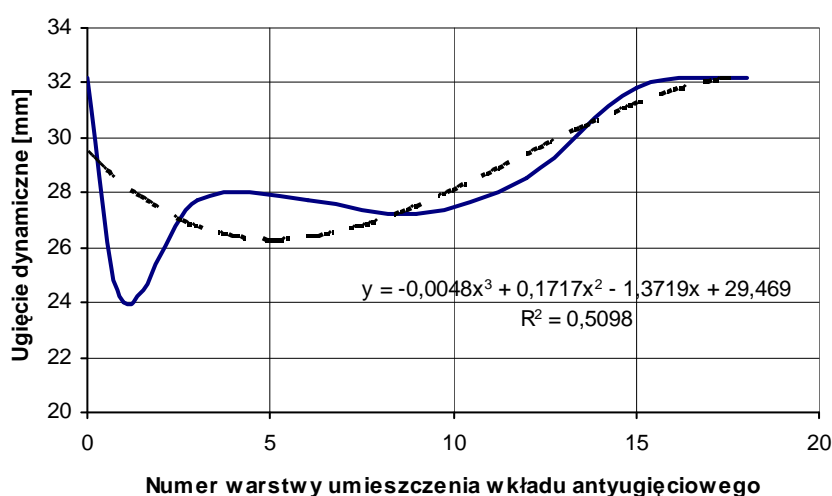
cd. Tabeli 2					
3/1	362	363,7	30	29,7	WB+2A
	364		31		
	365		28		
3/2	364	363,3	40	36,0	WB+P
	364		38		
	362		30		
4	361	363,7	28	27,7	WB+3WA
	365		25		
	368		26		
	364		30		
	361		27		
	363		30		
5	364	362,8	27	27,7	WB+6WA
	364		23		
	358		30		
	365		30		
	364		30		
	362		26		
6	364	363,8	28	27,2	WB+9WA
	365		24		
	362		28		
	364		30		
	364		25		
	364		28		
7	367	362,5	29	28,5	WB+12WA
	363		29		
	363		27		
	362		30		
	362		28		
	358		28		
8	364	363,7	33	31,8	WB+15WA
	360		30		
	361		31		
	362		32		
	362		32		
	373		33		
9	359	361,2	32	32,2	WB+18WA
	362		31		
	361		34		
	364		32		
	361		33		
	360		31		

Oznaczenia:

- WB – wkład balistyczny,
- WA – wkład antyugięciowy,
- nWA – n-ta warstwa WB od strony gliny w której umieszczono WA,
- 2A – dwie dodatkowe warstwy tkaniny aramidowej,
- P – pianka – 1 warstwa.

W celu porównania wyników skuteczności warstw antyugięciowych poza już przedstawionymi badaniami samego wkładu balistycznego przeprowadzono również badania wpływu zastosowania jako ostatniej warstwy dwóch dodatkowych warstw tkaniny aramidowej oraz samoistnej pianki polietylenowej (próbka odpowiednio 3/1 i 3/2).

Wyniki przeprowadzonych prób przedstawiono na wykresie na rys. 4. W świetle rzeczywistych danych za najkorzystniejsze położenie wkładu antyugięciowego należałoby uznać wariant, w którym jest on usytuowany jako jedna z ostatnich warstw, podpierając niejako zasadniczy wkład balistyczny. Analizując jednak linię trendu wyniki nie są tak jednoznaczne. Istnieje bowiem miejsce usytuowania wkładu antyugięciowego pomiędzy warstwami tkaninowymi wkładu zasadniczego, w którym występuje minimum głębokości ugięcia dynamicznego. Jakkolwiek umieszczenie warstwy ograniczającej to ugięcie, jako warstwy ostatniej jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem, to możliwość uzyskania układu pancernego o najlepszych, z punktu widzenia ochrony balistycznej, właściwościach powinna być najbardziej znacząca.

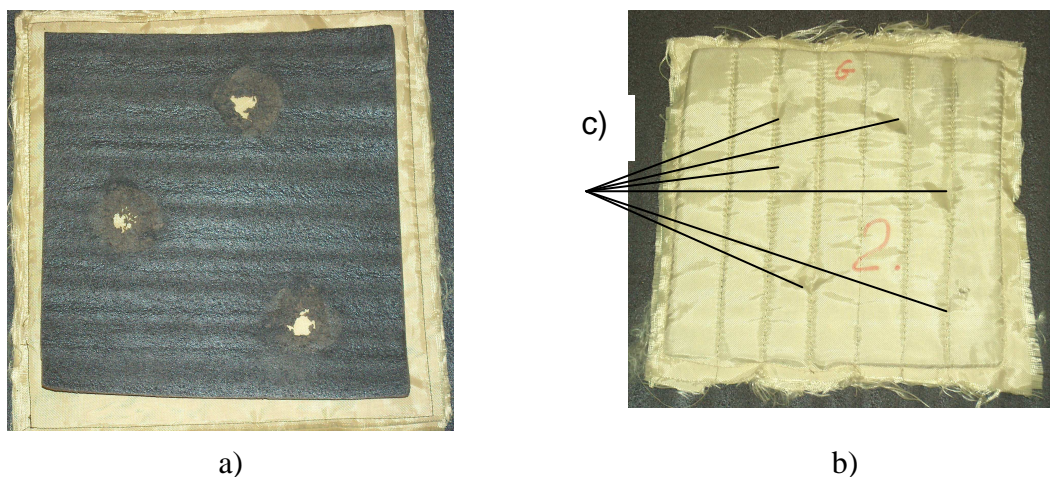


Rys. 4. Wykres zmian ugięcia dynamicznego wkładu balistycznego w zależności od jego położenia.

W tym celu wymagane byłoby przeprowadzenie badań wkładów kuloodpornych do kamizelek, które posiadałyby zróżnicowaną odporność (różne klasy odporności). Dopiero na podstawie kompleksowych badań można dać wiarygodną odpowiedź na temat optymalnego położenia wkładu antyugięciowego.

Ważnym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest wartość ugięcia wkładu balistycznego bez warstwy antyugięciowej oraz z tym wkładem, ale umieszczonym między warstwami wkładu balistycznego, w których zarejestrowano granicę odporności (w tym przypadku była to piąta warstwa od strony wlotu pocisku). Wartości ugięcia dynamicznego w tych obydwu przypadkach jest praktycznie jednakowa.

Skuteczność zaproponowanego rozwiązania wkładów antyugięciowych przedstawiono na fotografii na rys. 5. Wkłady były umieszczane jako ostatnia warstwa.



Rys. 5. Fotografia materiałów antyugięciowych: a) pianka polietylenowa, b) ta sama pianka zszyta pomiędzy warstwami tkaniny aramidowej o gramaturze 200 g/m², c) miejsca trafień.

Pianka polietylenowa występująca samoistnie nie wykazywała jakichkolwiek cech wkładu antyugięciowego. Pianka wyrwana z widocznych na rys. 5 (a) miejsc trafień powodowała dodatkowy efekt w postaci pogłębienia krateru ugięcia w glinie (tabela 2, próbka 3/2). Zastosowanie tkanin z pianką zaszytą pomiędzy nimi powodowało zmniejszenie ugięcia o ponad 25 % w stosunku do ugięcia samego wkładu balistycznego bez dodatkowych warstw.

4. Wnioski

W zakresie badań własnych opracowano kilka modeli wkładów antyugięciowych do kamizelek z miękkim wkładem tkaninowym. Wkłady poddano badaniom w różnych konfiguracjach ich położenia w pakiecie tkaninowym. Z wyników badań i przeprowadzonych analiz wynikają następujące wnioski:

1. W chwili obecnej w rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych sprzętu indywidualnej ochrony balistycznej osiągnięto zadowalający poziom ochrony. Nie ma obecnie informacji o zaawansowanych pracach nad innymi materiałami mogącymi mieć zastosowanie w konstrukcji osłon balistycznych poza materiałami aramidowymi, polietylenem UHMWPE oraz ceramiką balistyczną w różnych jej odmianach.
2. Główne rozwiązania w konstrukcji osłon balistycznych w postaci kamizelek kuloodpornych i hełmów są obecnie skierowane na poprawienie komfortu użytkowania tego sprzętu ze szczególnym uwzględnieniem jego masy, uwarunkowań fizjologicznych (pocenie) a w szczególności ograniczeniem skutków efektu dynamicznego ugięcia wkładu balistycznego w miejscu trafienia pociskiem.
3. Na bazie analizy literaturowej przedstawiono zagrożenia, którym podlega użytkownik podczas trafienia pociskiem w obszar kamizelki kuloodpornej, która nie została przebita całkowicie. Przedstawiono, na obiektach biologicznych, jakie są faktyczne skutki ugięcia dynamicznego wkładu balistycznego do kamizelki kuloodpornej. Określono ryzyko zranienia na poziomie 50 % w zależności od siły uderzenia.[1]
4. Opracowano kilka modeli elastycznych wkładów antyugięciowych do tkaninowych kamizelek kuloodpornych. Masa tych wkładów nie przekracza 5 ÷ 8 % masy wkładu balistycznego.

5. Uzyskane wyniki badań wykazują, że zastosowanie wkładów antyugięciowych pozwoliłoby na ograniczenie ugięcia dynamicznego wkładu balistycznego w miejscu trafienia o ok. 35 %.
6. W analizie optymalizacji położenia wkładu balistycznego w kamizelce wykazano, że jego ułożenie jako ostatniej warstwy nie jest jednoznaczne i wymaga dalszych badań optymalizujących.
7. Ponieważ w konstrukcji kamizelek produkowanych w Polsce na potrzeby Wojska i Policji nie przewiduje się „rewolucyjnych” zmian związanych ze stosowanymi do ich produkcji materiałami widzi się konieczność podjęcia dalszych prac związanych z poprawą komfortu użytkownika tego sprzętu.
8. W ramach prac realizowanych przez WITU widzi się możliwości zarówno technologiczne, jak i badawcze zrealizowania pracy o charakterze użytkowym w zakresie opracowania konkretnych wzorów wkładów antyugięciowych do obecnie użytkowanych kamizelek. Wkłady takie powinny być proponowane gestorom sprzętu ochronnego Wojska i Policji.

Literatura

- [1] „Injury Risk in Behind Armor Blunt Thoracic Trauma” – wyd. CIOP, 2006, nie publikowane.

THE LIMITED TRAUMA EFFECT IN BALLISTIC PANELS FOR BULLET-PROOF VESTS

Some results of investigations linked with the efficiency of application of materials with limited trauma effect in ballistic panels for bullet-proof vests are presented in the paper. It was showed, that their use would decrease the dynamic deformation (trauma) of aramide fabric panels in the point of hit by the bullet, even about 35 %. The limitation of the arrow of bending gets out of enlargements of the surface on which the hit energy of the bullet is dispersed. The results of the investigations on the graph show the close relationship between the depth of the crater in the plastic foundation and its diameter. This depth much comes down with the increase of the diameter of the crater, in other words „de facto” with the increase of the surface on which the bullet hit energy is dispersed. The results show, that on the level of bending depends on both the construction of the antitrauma panel and his location in the structure of layers. The construction of the antitrauma panel should prevent the antitrauma panel against a fragmentation during the bullet penetration. The avulsed parts from the antitrauma panel cause the additional increase of the depth of the crater in the plastic foundation. In order to absorb the energy of the bullet effectively by the antitrauma panel the analysis of its position in the ballistic fabric panel structure should be done. The conclusion of the paper shows that there is an optimum location of the antitrauma panel.

