

BEZINWAZYJNA METODA OCENY STANU TECHNICZNEGO WKŁADÓW BALISTYCZNYCH DO KAMIZELEK KUŁOODPORNÝCH

W artykule przedstawiono wyniki badań próbek aramidowych wkładów tkaninowych do kamizelek kuloodpornych. Badania prowadzono na próbkach poddanych zmęczeniu mechanicznemu, w którym liczba cykli zmęczenia odzwierciedlała czas rzeczywistej eksploatacji wyrobu. Przeprowadzono badania termowizyjne, odporności balistycznej wkładów oraz wytrzymałości przędzy aramidowej pochodzącej z próbek wkładów tkaninowych.

1. Wstęp

Kamizelki kuloodporne, tak jak każdy inny wrób o zastosowaniach technicznych, ulegają z upływem czasu stopniowemu zużyciu. Stopień zużycia, pod czym rozumie się zmiany stanu technicznego obejmujące poszycie oraz wkłady ochronne (balistyczne), jest uzależniony od bardzo wielu obiektywnych i subiektywnych czynników. Do tych pierwszych zaliczyć można przede wszystkim warunki eksploatacji, jej intensywność oraz niewątpliwie konstrukcję sprzętu. Do drugich natomiast indywidualne cechy psychofizyczne użytkownika związane z budową anatomiczną oraz ogólnie pojętą kulturą użytkowania i przechowywania.

W 2003 roku przeprowadzono w WITU wstępne badania aramidowych próbek tkaninowych stosowanych w konstrukcji kamizelek kuloodpornych. Próbki były poddawane przyspieszonemu zmęczeniu mechanicznemu a następnie oceniane za pomocą kamery termowizyjnej na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku. Te same próbki poddawano następnie badaniom odporności balistycznej w celu wyznaczenia parametru v_{50} charakteryzującego granicę odporności balistycznej próbki wkładu wyrażonej parametrem v_{50} .

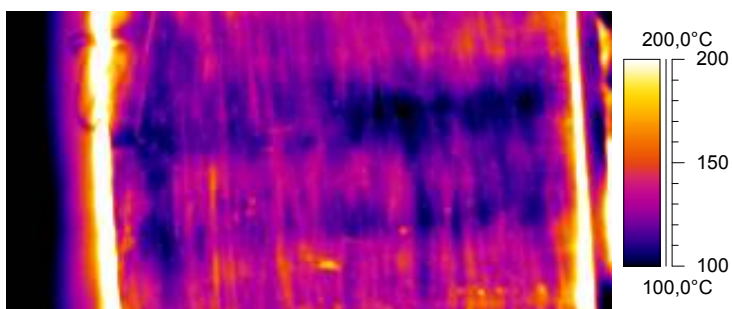
Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań dowodzą, że pod wpływem zmęczenia mechanicznego następuje spadek odporności balistycznej tkaninowego wkładu aramidowego. Jest to zauważalne także na termogramach, na których zarejestrowano zmiany rozkładu temperatury na powierzchni badanego materiału aramidowego w funkcji czasu zmęczenia próbki wkładu.

W kontekście wniosków z uprzednio prowadzonych badań celem obecnych była weryfikacja wyników z 2003 r., która polegała na zmianie warunków ogrzewania próbki poprzez stworzenie jednorodnego ogrzewania płyty mosiężnej (zamiana grzania elektrycznego na olejowe) oraz rozszerzenie zakresu badań o badania wytrzymałościowe przędzy aramidowej pochodzącej z próbek poddanych przyspieszonemu zmęczeniu mechanicznemu. Zakładano, że efekt pracy będą stanowić min. zalecenia dotyczące zmian w zakresie formułowania wymagań związanych z ustalaniem okresów gwarancyjnych na sprzęt indywidualnej ochrony balistycznej oraz dotyczących

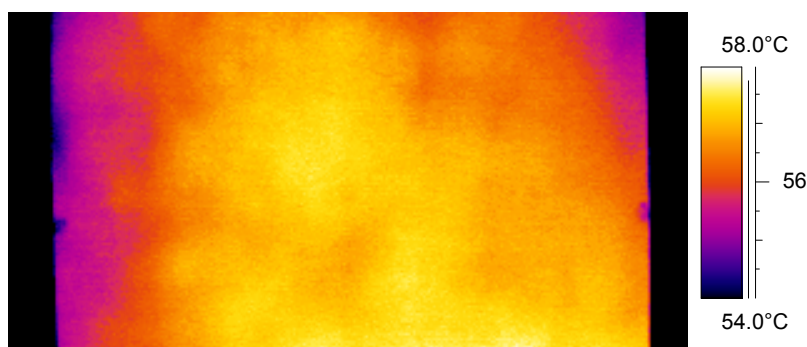
wprowadzenia rygoru prowadzenia badań tego sprzętu, w trakcie eksploatacji, w oparciu o metody bezinwazyjne.

2. Stanowisko do badań termowizyjnych wkładów balistycznych

Stanowisko do badań termowizyjnych próbek tkaninowych aramidowych wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych zmodernizowano w stosunku do stosowanego dotychczas zmieniając sposób ogrzewania mosiężnej płyty zastępując grzanie elektryczne olejowym. Dzięki temu uzyskano jednorodny rozkład temperatury na powierzchni mosiężnej płyty. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono termogramy płyty grzewczej ogrzewanej odpowiednio elektrycznie i olejowo.



Rys. 1. Termogram obrazujący rozkład temperatury na powierzchni mosiężnej płyty grzewczej przed modernizacją stanowiska – ogrzewanie elektryczne.



Rys.2 Termogram płyty grzewczej po modernizacji sposobu ogrzewania – ogrzewanie olejowe.

Zasilanie grzejnika olejem o symbolu ITERM 6MB, o odporności termicznej do 400° C, odbywało się za pomocą pompy termostatującej utrzymującej stałą temperaturę medium grzewczego a przez to mosiężnej płyty. Fotografie wnętrza grzejnika oraz kompletnego grzejnika przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Grzejnik przystosowany do grzania olejowego – a) labiryntowy układ obiegu oleju, b) kompletny grzejnik

Zastąpienie grzania elektrycznego przez olejowe ma jedną podstawową zaletę. Zapewniono jednorodne i równomierne ogrzewanie całej powierzchni płyty poprzez zamianę skoncentrowanych źródeł ciepła w postaci grzejników oporowych na ogrzany olej przesyłany pod płytą w wymuszonym przez labirynt obiegu. Jest oczywistym, że taki sposób ogrzewania płyty ma większą bezwładność termiczną niż do tej pory stosowane grzejniki oporowe. Czas osiągnięcia wymaganych parametrów wyjściowych nieznacznie się wydłużył i wynosił ok. 1,5 godziny.

Temperatura płyty grzewczej w obydwu przypadkach była różna. W przypadku płyty ogrzewanej elektrycznie temperatura ta wynosiła średnio 150° C, natomiast podczas grzania za pomocą oleju ok. 56° C. Nie ma to jednak wpływu na rozkład temperatury na powierzchni płyty grzewczej. Bardziej równomierny rozkład temperatury został osiągnięty przez zamianę ogrzewania elektrycznego na olejowe.

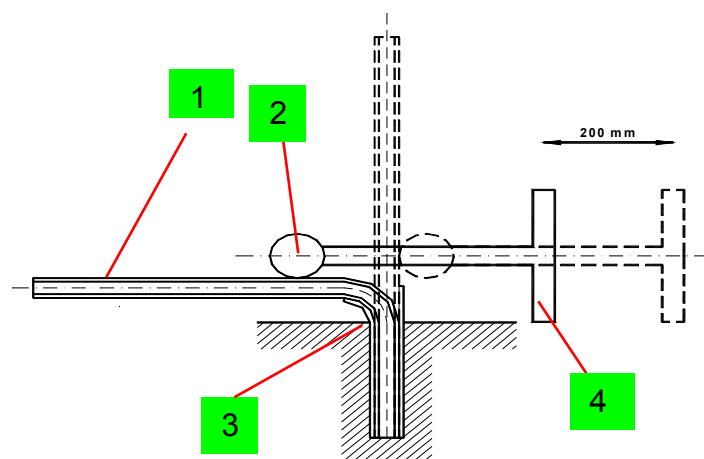
3. Program przyspieszonych badań zmęczeniowych próbek wkładów do kamizelek kuloodpornych

Zmiany odporności wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych wynikają z wielu przyczyn. Do podstawowych należy zaliczyć intensywność i warunki użytkowania. Skutkiem wysokiej intensywności oraz trudnych warunków eksploatacji tego sprzętu są:

- zużycie mechaniczne wkładów balistycznych na skutek odkształceń wkładów, tarcia ich powierzchni o materiał poszycia, odkształceń wynikających z warunkowań transportowych oraz warunków przechowywania,
- zużycie wynikające z penetracji do wnętrza wkładu obcych ciał w postaci pyłu i wody,
- zużycie wynikające z penetracji do wnętrza wkładu balistycznego soli i wilgoci pochodzących z potu,
- naturalne, trudne do identyfikacji uszkodzenia mechaniczne wynikające z indywidualnych cech psychofizycznych oraz kultury technicznej użytkownika.

3.1. Cykl zmęczenia mechanicznego

Największy wpływ na zmiany odporności balistycznej wkładu tkaninowego mają jego cykliczne miejscowe odkształcenia wynikające z budowy i charakteru działań użytkownika. Są one stosunkowo proste do zasymulowania na stanowisku do badań zmęczeniowych. Na rys. 5 [1] przedstawiono schemat stanowiska do wymuszeń odkształceń mechanicznych.



Rys.3. Schemat stanowiska do wymuszeń odkształceń mechanicznych, 1) odkształcana próbka, 2) element wymuszający odkształcenie, 3)element sprężysty – płyta ABS, 4) suwak.[1]

W stosunku do odkształceń mechanicznych, wpływ pozostałych, wymienionych powyżej elementów, na zmiany odporności wkładu balistycznego, jest znikomy. Również, jak wykazano w [1] cykliczne zmiany temperatury nie wpływają na zasadnicze właściwości wkładu tkaninowego. Stąd zdecydowano, że jedynym elementem, który należy brać pod uwagę w ocenie stopnia zmian odporności balistycznej wkładu aramidowego jest stopień jego zmęczenia mechanicznego.

Zgodnie z powyższym oraz z założeniami przedstawionymi w [1] cykl zmęczenia mechanicznego przebiegał następująco:

A. Liczba cykli odkształceń na stanowisku z rys. 3 w odniesieniu do cyklu rocznego wynosi:

$N = 20 \times 109,5 = 2190 \approx 2200$ cykli, gdzie liczba 20 stanowi liczbę dobowych odkształceń, natomiast liczba 109,5 liczbę dób efektywnej eksploatacji kamizelki.

B. Liczba odkształceń $N_i = n \times i$ dla każdej z 10 – ciu próbek jw. i jest wielokrotnością N w przedziale od 1 do 10 (lata eksploatacji - i). Próbka nr 1 nie była poddawana cyklowi zmęczenia.

C. Temperatura wkładów poddanych procesowi zmęczenia mechanicznego wynosiła $18^\circ \div 25^\circ \text{C}$

Poniżej podano oznaczenia kolejnych próbek i odpowiednio liczbę cykli zmęczenia, Liczbę cykli podano dla jednego kierunku odkształcania.

Tabela 1. Oznaczenia próbek

Nr próbki	Liczba cykli na kierunek n_c
1	2
1	0
2	2200
3	3300
4	4400
5	5500
6	6600
7	7700
8	8800
9	9900
10	11000

3.2. Program badań

Program badań obejmował trzy główne zagadnienia:

- ocenę próbek na podstawie termogramów wykonanych metodą termowizji w podczerwieni,
- określenie granicy odporności balistycznej v_{50} za pomocą odłamków standardowych wg STANAG 2920,
- określenie wytrzymałości na rozciąganie przędzy aramidowej pochodzącej

3.2.1. Badania termowizyjne

Badania termowizyjne realizowano za pomocą kamery termowizyjnej AGEMA. Polegały one na wykonaniu termogramów każdej z badanych próbek na stanowisku przedstawionym na rys. 3. Termostatowaną w temperaturze $20^{\circ}\pm 2^{\circ}$ C próbkę umieszczano na płycie grzewczej. Do zadań, które należało wykonać było ustalenie:

- rozkładu temperatury na powierzchni płyty grzewczej,
- rozkładu temperatury na powierzchni wzorcowej próbki aramidowego wkładu tkaninowego, nie poddawanej cyklowi zmęczenia mechanicznego,
- określenie temperatury płyty oraz czasu wygrzewania, w których termowizyjny obraz próbki byłby najbardziej czytelny,
- określenie maksymalnej różnicy temperatury ΔT na powierzchni badanej próbki po czasie t od chwili umieszczenia próbki na płycie grzewczej.
- wykonanie termogramów każdej z badanych próbek.
- wykonanie wykresów obrazujących zmiany $\Delta T = f(t_z)$, gdzie t_z oznacza czas cyklu zmęczeniowego próbki.

3.2.2. Badania odporności balistycznej

Badania odporności balistycznej próbek prowadzono w celu określenia jej zmian w zależności od t_z . Badana wielkością była prędkość v_{50} , która określa granicę odporności balistycznej (ang - *ballistic limit*). Stanowi ona prędkość, przy której prawdopodobieństwo przebicia pancerza standardowym odłamkiem wynosi 0,5. Badania przeprowadzono zgodnie ze STANAG 2920.

Podstawowym zadaniem do wykonania było zapewnienie porównywalnych warunków badań. Wiązało się to przede wszystkim:

- ze sposobem zamocowania próbek, który gwarantowałby jednakowe warunki oceny po każdym strzale – niedopuszczenie do tworzenia się tzw. „kieszni”, która powstaje po kilku strzałach na powierzchni próbki zmieniając jej geometrię,
- z zachowaniem porównywalnego rozkładu trafień dla każdej z próbek, przez co zapewniono by te same warunki oceny wielkości v_{50} .

Efektom prowadzonych badań według tego punktu programu było określenie, w postaci wykresu, zależności $v_{50} = f(t_z)$, która obrazowałaby dynamikę zmian granicy odporności balistycznej wkładu tkaninowego w funkcji czasu zmęczenia mechanicznego.

3.2.3. Badania wytrzymałości na rozciąganie przędzy aramidowej

Konieczność oceny zmian wytrzymałości przędzy aramidowej pochodzącej z próbek tkaninowych jest uzasadniona potrzebą wyjaśnienia, czy miejscowe zmiany w strukturze przędzy aramidowej mają wpływ na odporność balistyczną pakietu tkaninowego. Przędza aramidowa pochodziła z tkaninowych wkładów balistycznych, balistycznych obszaru, który nie uległ zniszczeniu podczas badań odporności bali-

stycznej. W każdym przypadku przędza pochodziła z tego samego obszaru próbki tkaninowej i w każdym przypadku tej samej warstwy.

Zadania do wykonania w zakresie badań wytrzymałościowych stanowiło:

- określenie średniej siły zrywającej przędzy aramidowej pochodzącej z tego samego obszaru każdej z próbek
- określenie wydłużenia Δl_{sr} przędzy w chwili zerwania dla próbek jak wyżej.

W celu uzyskania wiarygodnych wyników badań należało zbadać po minimum 10 próbek pochodzących z tej samej warstwy i obszaru każdej z próbek, co oznacza łącznie 100 próbek przędzy. Pasma przędzy pozyskiwano z siódmej warstwy tkaninowej licząc od strony elementu sprężystego 3 – rys. 5.

Badania prowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy ZWICK – 100 przeznaczonej min. do badań wytrzymałości włókien technicznych.

4. Wyniki badań

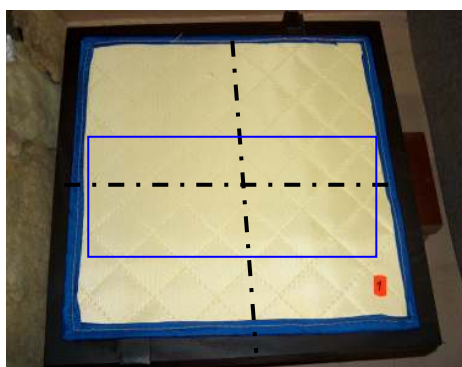
Badania zostały przeprowadzone zgodnie z założeniami przedstawionymi w rozdziale 3 sprawozdania. Warunki prowadzonych badań odpowiadały warunkom otoczenia, tzn.: temperatura otoczenia $18^{\circ} \div 25^{\circ} \text{C}$ przy wilgotności względnej powietrza ok. 95 %.

Z uwagi na destrukcyjny wpływ promieniowania UV na właściwości włókna aramidowego wszystkie próbki, zarówno pakiety tkanin, jak i włókno do badań wytrzymałościowych, były przechowywane w szczelnie zamkniętych czarnych opakowaniach.

Badania termowizyjne oraz odporności balistycznej przeprowadzono w WITU, natomiast badania wytrzymałości przędzy w Przedsiębiorstwie Sprzętu Ochronnego „MASKPOL” S.A.

4.1. Wyniki badań termowizyjnych

Wyniki badań termowizyjnych zostały przedstawione na termogramach zamieszczonych poniżej, poza termogramem płyty grzewczej, który został przedstawiony na rys. 4. Obserwowany obszar każdej próbki został przedstawiony na rys. 7



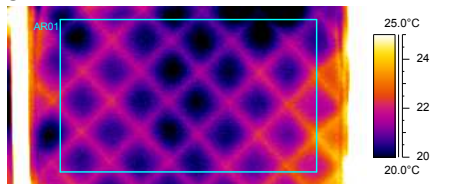
Rys. 4. Obszar próbki do badań termowizyjnych

Z porównania z termogramem z rys. 1 widać wyraźnie, że obraz termowizyjny płyty charakteryzuje się bardziej równomiernym rozkładem temperatury na jej powierzchni. Jak wcześniej wspomniano jest to wynikiem zmiany systemu ogrzewania polegającym na zastąpieniu grzania elektrycznego na olejowe oraz zmianie polega-

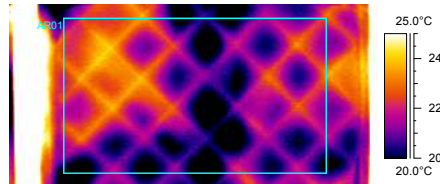
jącej na pokryciu jej powierzchni cienką warstwą termoodpornego lakieru – czarny mat.

Termogramy próbek od nr 1 do 10 wg tabeli 1 przedstawiono na rys. 7.

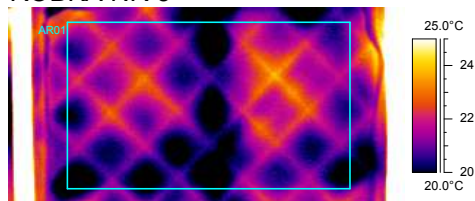
PRÓBKA NR 1



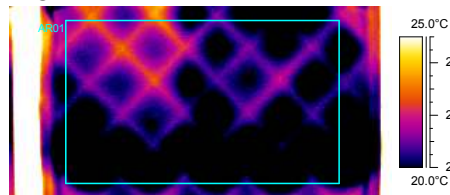
PRÓBKA NR 2



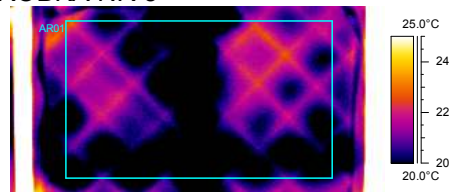
PRÓBKA NR 3



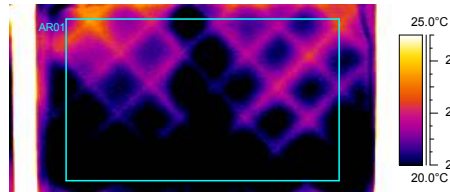
PRÓBKA NR 4



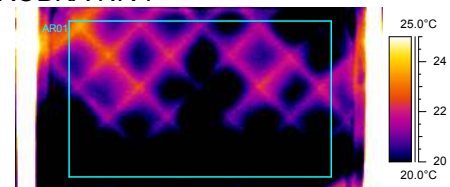
PRÓBKA NR 5



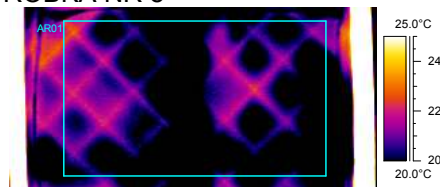
PRÓBKA NR 6



PRÓBKA NR 7



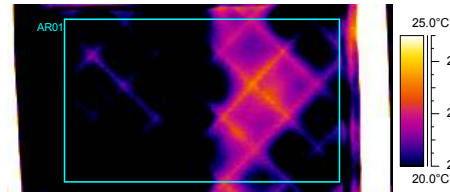
PRÓBKA NR 8



PRÓBKA NR 9



PRÓBKA NR 10

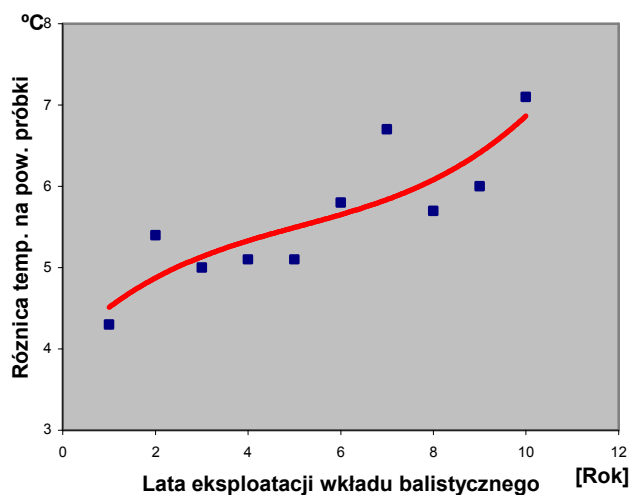


Rys.5. Termogramy próbek tkaninowych wkładów aramidowych.

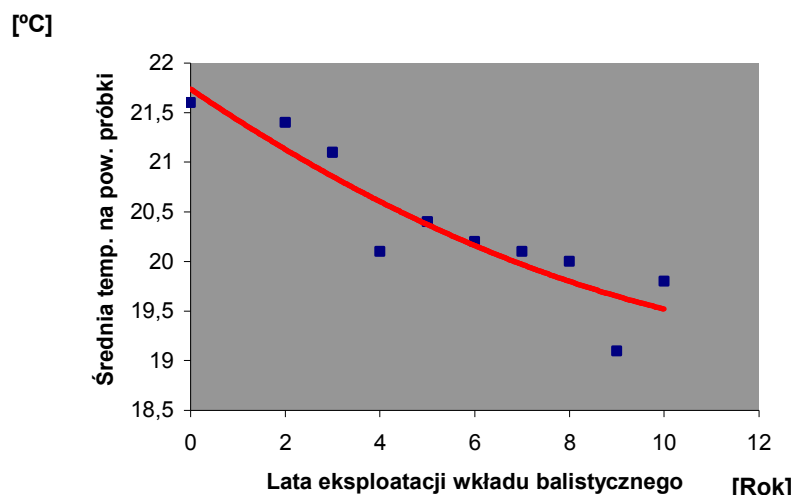
Tabela 2. Charakterystyka termogramów zamieszczonych na rys. 7, rejestracja po 80 [s] od ustalenia się temperatury.

Nr próbki	Pierwszy termogram, rejestracja po x_0 [s]	Ostatni termogram, rejestracja po upływie 80 [s] od x_0	Różnica temperatury ΔT na pow. próbki [° C]	Średnia temperatura T_{sr} na pow. próbki [° C]	Odchylenie standardowe
	2	3	4	5	6
1	5	85	4,3	21,6	0,6
2	3	83	5,4	21,4	1,1
3	5	85	5,0	21,1	0,9
4	2	82	5,1	20,1	0,9
5	3	83	5,1	20,4	1,0
6	3	83	5,8	20,2	1,0
7	7	87	6,7	20,1	1,2
8	4	84	5,7	20,0	1,0
9	4	84	6,0	19,1	1,2
10	3	83	7,1	19,8	1,3

Wpływ czasu zmęczenia materiału balistycznego – próbek aramidowych tkaninowych wkładów balistycznych do kamizełek kuloodpornych przedstawiono na wykresach na rys. 9 i 10.



Rys. 6. Wykres zmian różnicy temperatury ΔT na powierzchni próbki wkładu tkaninowego w funkcji okresu eksploatacji według liczby cykli zmęczeniowych wg tabeli 1 (kolor czerwony – linia trendu).



Rys. 7. Zależność średniej temperatury na powierzchni próbki T_{sr} . W funkcji okresu eksploatacji wkładu balistycznego według liczby cykli zmęczeniowych wg tabeli 1 (kolor czerwony – linia trendu).

Wyniki badań zobrazowane na powyższych wykresach wykazują wpływ czasu zmęczenia próbek tkaninowych na ich właściwości cieplne. Wpływ ten w odniesieniu do wartości ΔT i T_{sr} nie jest duży jednak trend zmian tych wielkości jest wyraźny. Zmiany tych wartości są zbieżne z obrazami termalnymi próbek zamieszczonymi na rys. 8, na których obszary w kolorze czarnym pojawiają się narastająco ze wzrostem czasu zmęczenia materiału.

4.2. Wyniki badań odporności balistycznej

Badania poziomej odporności balistycznej prowadzono w celu określenia prędkości v_{50} odłamka standardowego wg. STANAG 2920.

Tabela 3. Wyniki badań granicy odporności balistycznej v_{50} próbek tkaninowych wkładów aramidowych do kamizełek kuloodpornych.

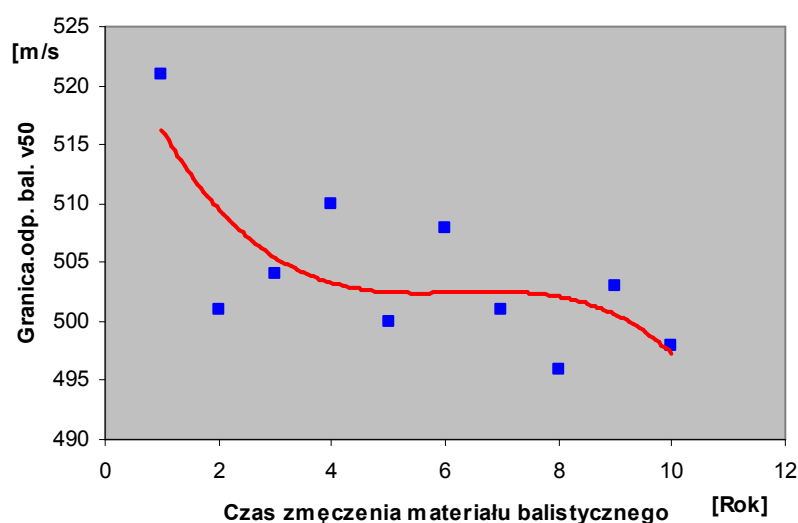
Nr pr.	Prędkości składowe do obliczenia v_{50} [m/s]	Wynik próby	Δv [m/s]	Grani-ca odp. balist. v_{50} , [m/s]	Nr pr.	Prędkości składowe do obliczenia v_{50} [m/s]	Wynik próby	Δv [m/s]	Grani-ca odp. balist. v_{50} , [m/s]
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	491*	+	25	521	6	488*	+	40	508
	579	-				519*	+		
	582	-				528*	-		
	576	-				470	+		
	567	-				524*	-		
	554	-				423	+		
	533	-				488*	+		
	458	+				503*	-		
	513*	-							
	516*	-							
	498*	+							
	512*	-							
	435	+							
	497*	+							

c.d. tabeli 3

2	510*	-	32	501	7	511	+	26	501
						466	+		
	499*	-				467	+		
	483	+				488*	+		
	484*	+				543	-		
	495*	+				470	-		
	501*	+				524	+		
						517	-		
	516*	-				506*	-		
						594*	-		
		497*	-						
		591*	+						
3	518*	-	40	504	8	503*	-	27	496
						496*	-		
	479*	+				495*	+		
	505*	+				482*	+		
	490*	+				471	+		
	514*	-				491*	+		
	519*	-				509*	-		
4	493*	+	34	510	9	496	+	37	503
						519*	-		
	507*	+				486*	+		
	519*	-				484*	+		
	520*	-				521*	-		
	527*	-				511*	-		
494*	+								
5			30	500	10	510*	-	31	498
						504*	+		
	517*	-				514*	-		
	487*	+				514*	-		
	511*	-				484*	+		
	501*	-				493*	-		
	498*	+				483*	+		

Oznaczenia:

- „-” - przebiecie całkowite próbki,
- „+” - przebiecie częściowe próbki,
- „* ” - wartości prędkości do obliczenia v_{50} .



Rys. 8. Zależność granicy odporności balistycznej v_{50} od czasu zmęczenia próbki (kolor czerwony – linia trendu)

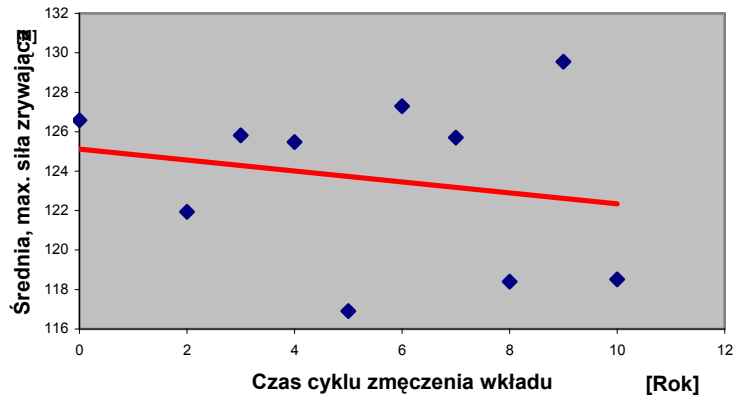
4.3. Wyniki badań wytrzymałości przędzy aramidowej na rozciąganie

Badania przędzy aramidowej pochodzącej z wkładów prowadzono w celu sprawdzenia, czy proces zmęczenia mechanicznego miał wpływ na wytrzymałość przędzy aramidowej. Próbki do badań i sposób ich pozyskiwania opisano w punkcie 3.2.3. sprawozdania. Wyniki w postaci protokołów z badań zawierających szczegółowe informacje z badań kolejnych próbek zamieszczono w załączniku 1 do sprawozdania. W tabeli 4 przedstawiono wyniki w postaci uśrednionych wartości badanych właściwości przędzy.

Tabela 4. Maksymalna średnia siła zrywająca oraz średnie odkształcenia przędzy aramidowej pochodzącej z wkładów poddanych zmęczeniu mechanicznemu.

Nr próbki	Średnia siła zrywająca F_{sr} [N]	Średnie odkształcenie przy maksymalnej sile $\varepsilon_{F_{\text{sr}}}$ [mm]	Odkształcenie przy zniszczeniu ε [%]
1	2	3	4
1	126,58	7,44	3,06
2	121,94	6,96	2,98
3	125,82	7,05	3,22
4	125,47	6,95	3,49
5	116,90	7,09	3,06
6	127,29	6,93	2,87
7	125,71	6,91	2,92
8	118,40	7,02	2,94
9	129,55	7,03	2,94
10	118,52	7,11	2,91

Na wykresie na rys. 11 przedstawiono zależność maksymalnej średniej siły zrywającej od długości cyklu zmęczenia zgodnie z tablicą 1.



Rys. 9. Wykres zmian średniej maksymalnej siły zrywającej w funkcji długości cyklu zmęczenia mechanicznego wkładu balistycznego (kolor czerwony – linia trendu)

Z wykresu wynika, że proces zmęczenia mechanicznego kuloodpornych aramidowych wkładów balistycznych do kamizelek praktycznie nie ma wpływu na wytrzymałość przędzy. Linia trendu wykazuje, co prawda nieznaczny spadek właściwości wytrzymałościowych włókna, jednak nie stanowi on o właściwościach odpornościowych całego układu balistycznego.

5. Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań udało się ocenić, że wpływ na odporność balistyczną aramidowego wkładu tkaninowego do kamizelki kuloodpornej ma długość cyklu zmęczenia mechanicznego. W każdym z badanych parametrów - granica odporności balistycznej v_{50} , różnica temperatury na powierzchni próbki ΔT a także, chociaż w niewielkim stopniu, wytrzymałość przędzy aramidowej odnotowano systematyczne zmiany we właściwościach badanych próbek. W przypadku v_{50} oraz siły zrywającej i średniej temperatury powierzchni próbki był to spadek natomiast różnica temperatury na powierzchni próbki rosła wraz z wydłużającym się czasem zmęczenia. Potwierdziły się również wyniki pracy wykonanej w 2003 roku. Wzrost różnicy temperatury na powierzchni próbki odpowiadał spadkowi odporności balistycznej.

W ocenie właściwości próbek niewątpliwie pomogła modernizacja stanowiska do badań termowizyjnych. Zmiana sposobu grzania płyty stanowiącej promiennik podczerwieni pozwoliła na ujednorodnienie rozkładu temperatury na jej powierzchni. Różnica temperatury wnosila ok. 2° C. Stąd, przy zawężonym obszarze pomiarowym, mniejszym od wymiarów powierzchni płyty uzyskano prawie wzorcowe warunki badań zapomoga kamery termowizyjnej.

Z wyników uzyskanych podczas badań wynikają następujące wnioski:

1. Metoda oceny stanu technicznego aramidowych, tkaninowych próbek wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych za pomocą termowizji w podczerwieni wymaga zapewnienia właściwych warunków badań, tzn. równomiernego rozkładu temperatury na powierzchni płyty grzewczej, właściwego przylegania próbki do płyty oraz określenia czasu badania, który jest charakterystyczny dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych wkładów.

2. Posiadanie wzorcowych termogramów tkaninowych wkładów balistycznych jest podstawą do prowadzenia badań nieniszczących tych wyrobów.
3. Określenie dopuszczalnych wartości ΔT lub T_{sr} na powierzchni próbki w odniesieniu do próbek wzorcowych, przy zapewnieniu charakterystycznych dla danego rozwiązania warunków badań powinno się określić dla rzeczywistych rozwiązań w relacji z dopuszczalnymi zmianami odporności balistycznej V_{50} .
4. Wyniki badań wytrzymałości przędzy aramidowej pochodzącej z próbek tkaninowych po zmęczeniu mechanicznym dowodzą, że zmiany odporności balistycznej oraz parametry termiczne wykazane na termogramach nie mają związku z wytrzymałością przędzy aramidowej. Są one odzwierciedleniem zmian strukturalnych związanych z konstrukcją tkaniny oraz postacią całego pakietu tkaninowego.
5. W celu jednoznacznego określenia wpływu czasu eksploatacji na odporność balistyczną aramidowych wkładów tkaninowych do kamizelek kuloodpornych niezbędne jest przeprowadzenia badań kamizelek pochodzących z tej samej partii produkcyjnej po długoletnim użytkowaniu. Warunkiem do uzyskania wiarygodnych wyników badań byłoby posiadanie nowych, nie eksploatowanych wyrobów, które mogłyby stanowić materiał porównawczy - wzorcowy.
6. W przypadku podjęcia pracy związanej z oceną stanu technicznego tkaninowych wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych metodami bezinwazyjnymi, konieczne jest na etapie odbioru każdej partii produkcyjnej wykonanie termogramów wzorcowych, które będą służyć jako materiał porównawczy do oceny tych wyrobów po długoletnim użytkowaniu.
7. Najważniejszym wnioskiem przeprowadzonych prac jest wykazanie, że przędza aramidowa, jako materiał, nie ulega zniszczeniu podczas procesu długotrwałego zmęczenia mechanicznego struktury tkaninowej. Wynika stąd, że przędza może być poddana przetwórstwu do postaci np. włókna ciętego. Taka postać przędzy umożliwi uzyskanie struktur włókienniczych w postaci włókien, filców, mat i innych, które mogłyby mieć szerokie zastosowanie w konstrukcji kompozytów polimerowych, barier cieplnych (min. maskowanie w podczerwieni), dodatków do dzianin odpornych na przecięcie oraz w wielu innych dziedzinach techniki, gdzie wymagana jest wysoka odporność mechaniczna, chemiczna i cieplna wyrobu.