

mjr dr inż. Wojciech KOPERSKI
ppor mgr inż. Łukasz SZMIT
mgr Adam GAWRON
Wojskowa Akademia Techniczna

BADANIA ODDZIAŁYWANIA POCISKÓW O RÓŻNEJ KONSTRUKCJI NA OŚRODKI O NISKIEJ GĘSTOŚCI OSŁONIĘTE OSŁONAMI BALISTYCZNYMI

Streszczenie: W ramach pracy przeprowadzono badania dynamiczne w celu określenia oddziaływania pocisków amunicji strzeleckiej na ośrodki o niskiej gęstości (w tym symulujące tkankę żywą), osłonięte lekkimi osłonami balistycznymi, typu kamizelki kuloodporne. Wyniki badań stanowią swoistą bazę danych niezbędną do weryfikacji istniejących metod badania osłon balistycznych oraz modelowania i symulowania ran postrzałowych. Analiza wyników badań pozwoliła wyznaczyć zasadnicze kierunki optymalizacji konstrukcji osłon balistycznych, ze szczególnym uwzględnieniem efektywniejszego rozpraszania energii uderzenia pocisku. Wyznaczone kierunki optymalizacji osłon wpływają bezpośrednio na formułowane wymagania taktyczno-techniczne dla kamizelek kuloodpornych, stanowiących indywidualną osłonę balistyczną żołnierzy i funkcjonariuszy, zapewniając tym samym poprawę ich bezpieczeństwa. Zastosowanie się do formułowanych, w oparciu o wyniki badań zawartych w pracy, wymagań zmniejszy ryzyko powstawania urazów związanych z postrzałem (złamania kości, rany tłuczone, urazy wielonarządowe).

RESEARCH OF INTERACTION BETWEEN BULLETS AND TARGET OF LOW DENSITY COVERED WITH LIGHT BALLISTIC PROTECTION LAYERS OF TYPES USED IN BODY ARMOURS

Abstract: The purpose of dynamic research conducted in order to determine interaction between bullets and target of low density (simulating live body) covered with light ballistic layers of types used in body armors. Research allowed to optimize construction of ballistic protection devices to more effective dissipation the bullet's kinetic energy. It has influence on body armors requirements formulation. These body armors were used as individual protection device of soldiers and officers providing better protection and diminishing the risk of after shot traumas (bones cracking, multiple traumatic injures). Research was based on firing at targets made of different materials protecting live body covered with light ballistic protection materials. During every survey, impact kinetic energy was measured and interaction with target and protection layers material was registered. In case of protection perforation, the energy and character of target damages was also registered. Moreover, overpressure generated by bullet passing the target (after protection layer perforation) was measured. Mentioned above data allowed to verify models which simulate wounds. Analyzing all data collected during research will allowed to optimize existing constructions of ballistic protection devices. Developed methodology of ballistic protection devices testing allowed to test new solutions in field of body armors, regarding bullets terminal effects complex determining. Additionally, introducing of standardizes testing methodology allowed to compare protective materials and ballistic properties of projectiles being in use and developed as well.

1. Wstęp

Oślony balistyczne są jednym z podstawowych środków zwiększenia bezpieczeństwa żołnierzy i funkcjonariuszy realizujących swoje zadania. Kamizelki kuloodporne oprócz podstawowej funkcji ochrony balistycznej pełnią również ważną rolę psychologiczną, zwiększając poczucie bezpieczeństwa. Użytkownik kamizelki musi być przekonany o skuteczności osłony, której używa oraz musi być pewien, że sama osłona nie będzie źródłem zranienia. Dotychczasowe metody oceny skuteczności osłon balistycznych tylko częściowo uwzględniają zjawiska zachodzące podczas trafienia pocisku w osłonę. Stosuje się zazwyczaj kryterium dopuszczalnego ugięcia osłony. Deformacja tylnej ściany osłony w kierunku ciała użytkownika może być źródłem obciążenia, powodującego uszkodzenia tkanek.

W związku z tym, celem jest podjęcie działań mających na celu wprowadzenie takich procedur badawczych, które uwzględnią w szerszym ujęciu problem dynamicznego ugięcia osłon balistycznych i konieczność bezpiecznego dla użytkownika rozproszenia energii kinetycznej pocisku uderzającego w osłonę. Drugim, niezwykle istotnym zagadnieniem, jest dynamicznie rozwijający się kierunek w konstrukcji amunicji, zmierzający ku zmniejszeniu kalibru i zwiększeniu prędkości pocisków. Pojawiające się rozwiązania konstrukcyjne małokalibrowej amunicji charakteryzują się pociskiem o prędkości początkowej ok. 700 m/s, kalibrem od 4 do 6 mm oraz masą pocisku ok. 2g. Pociski takie posiadają znacznie wyższą zdolność do przebijania osłon balistycznych. Należy zatem poszukiwać skutecznych i bezpiecznych sposobów ochrony przed działaniem nowo konstruowanych typów amunicji. Kolejnym ważnym zagadnieniem jest możliwość stosowania amunicji z pociskami fragmentującymi. Amunicja uważana za bezpieczną, stosowana do szkolenia na strzelnicach, w przypadku próby użycia jej poza strzelnicą niesie duże zagrożenie dla osób postronnych. Należy uświadomić użytkowników amunicji z pociskami fragmentującymi jakie zagrożenia może spowodować niewłaściwe jej użycie. Z wyżej wymienionych powodów celem jest podjęcie prac w kierunku określenia oddziaływania różnej konstrukcji pocisków amunicji strzeleckiej na cele o niskiej gęstości (od $0,6\text{g/cm}^3$ do $1,4\text{g/cm}^3$) imitujących tkankę żywą. Ponadto, badania wymaga oddziaływanie osłon balistycznych na ośrodki o gęstości zbliżonej do ciała ludzkiego.

2. Analiza metod i warunków wykonywania badań oddziaływania pocisków na cele o niskiej gęstości

Jednym z kluczowych parametrów współczesnej amunicji jest jej skuteczność. Istotną część badań, jakim poddawana jest nowoprojektowana amunicja, stanowią badania skuteczności oddziaływania amunicji na cele, do niszczenia których jest ona przeznaczona. Badania sposobu i skuteczności oddziaływania pozwalają również opracować sposoby skutecznego zabezpieczenia się przed oddziaływaniem amunicji. Istnieją standardowe i powszechnie stosowane metody oceny oddziaływania amunicji artyleryjskiej i strzeleckiej w odniesieniu do celów o tzw. dużej gęstości (płyty stalowe, elementy opancerzenia kompozytowego itp.). Badania skuteczności oddziaływania amunicji na siłę żywą są zwykle marginalizowane ze względu na to, że upowszechnienie wyników takich badań pośrednio dotyka zagadnień związanych z ofiarami konfliktów zbrojnych, co z reguły jest „niewygodnym tematem”. Badania oddziaływania amunicji strzeleckiej na cele o niskiej gęstości, czyli o gęstości zbliżonej do ciała ludzkiego, prowadzone są zwykle w celu określenia sposobów zabezpieczenia się przed oddziaływaniem określonych typów amunicji. Wyniki tych badań są wykorzystywane przede wszystkim przy konstruowaniu lekkich osłon balistycznych ale w ostatnich latach coraz szerzej wykorzystuje się je w medycynie. W

traumatologii symulowane rany postrzałowe służą między innymi opracowywaniu procedur ratunkowych oraz procedur leczenia ran postrzałowych. Modelowanie ran postrzałowych jest zagadnieniem niezwykle złożonym a weryfikacja powstających modeli musi odbywać się w oparciu o dane eksperymentalne. W trakcie analizy danych o postrzałach, pozyskanych podczas wieloletnich obserwacji pola walki i zdarzeń kryminalnych z użyciem broni palnej, stwierdzono, że pociski tego samego typu w podobnych sytuacjach raziły cel z różnym skutkiem. Częściowo tłumaczy to niezwykle skomplikowana mechanika powstawania rany postrzałowej. W odróżnieniu od ran zadanych bronią białą (nóż, miecz itp.), gdzie niszczenie tkanki zachodzi tylko w miejscu działania ostrza, wystrzelony pocisk oddziałuje na tkankę żywą, tworząc pulsującą ranę postrzałową. W związku z tym, oprócz rozcinania, miażdżenia tkanek oraz drażenia otworu postrzałowego, tworzą się zaburzenia przejściowe propagujące się we wszystkich kierunkach [1]. Dookoła toru lotu pocisku występuje chwilowa, pulsująca jama postrzałowa [2]. Pulsująca rana postrzałowa generuje fale ciśnienia o dużej amplitudzie. Fale takie powodują rozległe dodatkowe uszkodzenia np. pęknięcia kości i niszczenie sąsiednich tkanek nie będących w bezpośredniej styczności z pociskiem. Podczas pulsacji rany postrzałowej występuje również zjawisko zasysania, przez wytworzone podciśnienie, ciał obcych, zanieczyszczeń a przede wszystkim bakterii utrudniających proces leczenia rany postrzałowej. Ponadto wysoka temperatura pocisku powoduje uszkodzenia tkanek. Dodatkowo na skutek wnikania pocisku w cel, spada jego prędkość obrotowa, co powoduje utratę stabilizacji, zmianę w trajektorii oraz koziolkowanie w celu [1].

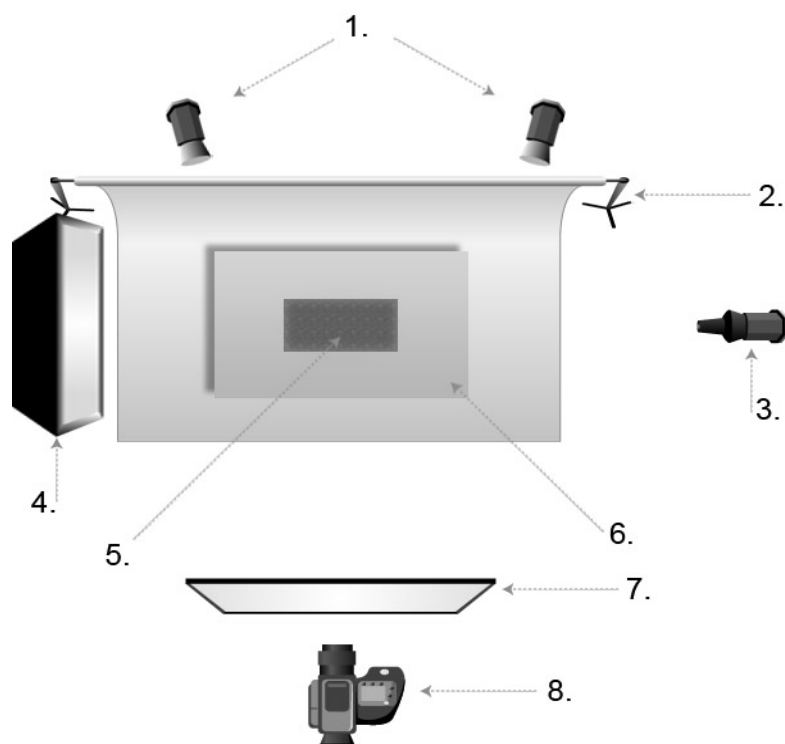
Opisane wyżej zjawiska zwykle występują jednocześnie, choć w specyficznych warunkach jedno z nich przeważają, dlatego też działanie tego samego typu pocisku może się różnić w zależności od warunków penetracji celu.

Badania oddziaływania pocisków na cele o niskiej gęstości, w tym również na tkanki żywe prowadzone są od dawna. Mimo to do dnia dzisiejszego nie określono spójnej jednolitej metodyki oceny skuteczności oddziaływania pocisków amunicji strzeleckiej na siłę żywą. Istnieją jednak opisane w literaturze metody badawcze służące do oceny skuteczności amunicji. Metody te można sklasyfikować w dwóch zasadniczych grupach. Są to metody polegające na wykorzystaniu do symulacji rany szeregu substancji mających zastąpić tkankę lub też naturalnych tkanek o zbliżonych do ciała ludzkiego właściwościach.

Z analizy metod badania oddziaływania pocisków wynika, że badania oddziaływania pocisków na siłę żywą nie są zbyt skomplikowane, jednakże proces ich przygotowania jest czasochłonny, wymaga dużego zaplecza i dużych nakładów finansowych. Najbardziej efektywna wydaje się metoda z zastosowaniem żelatyny balistycznej. Przy zastosowaniu żelatyny balistycznej w łatwy sposób można uzyskać dane o całym procesie penetracji pocisku, a przede wszystkim o zjawiskach dynamicznych zachodzących w ośrodku o niskiej gęstości symulującym tkankę żywą.

3. Metodyka badań

Do przeprowadzania badań zestawiono stanowisko badawcze, którego schemat przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Schemat stanowiska 1 – układ oświetleniowy, 2 – ekran, 3 – układ miotający, 4 – kulochwyt, 5 – blok żelatynowy, 6 – podstawa, 7 – osłona kamery, 8 – kamera Panthom 12 [rys.Ł.Łuczyński]

Badania realizowano poprzez ostrzał bloków żelatynowych osłoniętych osłonami balistycznymi w postaci tkanin, blach stalowych, próbek materiałów wykorzystywanych do konstrukcji lekkich indywidualnych osłon balistycznych. Zjawisko penetracji bloku żelatynowego rejestrowano za pomocą kamery. Dodatkowo w części testów, za pomocą czujników piezoelektrycznych rejestrowano przebieg ciśnienia generowanego przez poruszający się w bloku pocisk. Do oceny skutków oddziaływania pocisku na cel wykorzystywano:

- prędkość pocisku bezpośrednio przed uderzeniem przyjmowaną jako prędkość uderzenia pocisku;
- prędkość pocisku w chwili opuszczania bloku żelatynowego;
- wymiary i kształt kanału chwilowego wytwarzanego przez pocisk w czasie penetracji;
- prędkość narastania kanału chwilowego;
- głębokość odkształcenia dynamicznego osłony;
- prędkość odkształcania się osłony.

4. Badania oddziaływania pocisków o różnej konstrukcji na cele o niskiej gęstości osłonięte lekkimi osłonami balistycznymi

W ramach badań oddziaływania pocisków o różnej konstrukcji na cele o niskiej gęstości przeprowadzono badania porównawcze pocisków warstwowych (o klasycznej konstrukcji rdzeń-płaszcz lub rdzeń koszulka-płaszcz) i monoblokowych – wykonanych ze specjalnie spreparowanych materiałów, których właściwości sprawiają, że pociski fragmentują po uderzeniu w cel o dużej twardości (płyty stalowe itp.). Opisane wyżej pociski monoblokowe reprezentują jeden z najnowocześniejszych i obecnie najmodniejszy kierunek w konstrukcji

amunicji ćwiczebnej. Badania prowadzono zgodnie z opisaną powyżej metodyką, stosując jakocel bloki żelatynowe 10% i 20% osłonięte różnymi osłonami w tym próbkami materiałów stosowanych do wytwarzania kamizelek kuloodpornych.

4.1 Badania oddziaływania na cele o niskiej gęstości 9mm pocisków fragmentujących

Amunicja pistoletowa z pociskami fragmentującymi to jeden z dynamiczniej rozwijających się kierunków w konstrukcji amunicji ćwiczebnej [1,15-19]. Amunicję z pociskami fragmentującymi stosuje się zarówno w procesie szkolenia, do treningów strzeleckich, jak i podczas prowadzenia działań patrolowo-interwencyjnych w terenie zurbanizowanym, podczas których zachodzi duże ryzyko zranienia osób postronnych przypadkowym rykoszetem. Jest także wykorzystywana przez jednostki specjalne [20]. Dzięki zbliżonym, a czasami niemalże identycznym podstawowym właściwościom balistycznym pocisków bojowych i fragmentujących, możliwe jest stosowanie tych dwóch typów amunicji zamiennie, bez korekty przyrządów celowniczych, a odpowiednia ich konstrukcja gwarantuje prawidłowe działanie automatyki broni [16]. Działanie takiego pocisku charakteryzuje się tym, że pocisk, po uderzeniu w twardy cel, fragmentuje na wiele drobnych odłamków (proszek), które niemal natychmiast wytracają energię w niewielkiej odległości od miejsca trafienia [15]. Wykorzystuje się ją także, w sytuacjach, gdzie wymagane jest zminimalizowanie ryzyka wystąpienia rykoszetów lub zranień przypadkowych osób (np. podczas walk prowadzonych w obiektach o niewielkich rozmiarach, budynkach, samolotach itp.) [3]. Już ze wstępnej obserwacji działania takich pocisków, widać wyraźnie, że te same cechy, dzięki którym pociski fragmentujące są niemalże idealnymi pociskami szkolno-treningowymi, mogą powodować duże zagrożenie dla osób rażonych nimi bezpośrednio.

Najczęściej stosuje się dwa typy amunicji fragmentującej. Jest to amunicja fragmentująca z pociskiem metalowo-polimerowym lub pociskiem ze spieku metalowo-metalowego. Istnieją również rozwiązania amunicji z pociskami z kompozytu metalowo-ceramicznego, jednak nie jest to szeroko rozwijany kierunek rozwoju amunicji pistoletowej ze względu na ograniczenia technologiczne.

Badania oddziaływania pocisków z kompozytu metalowo-metalowego na cele o niskiej gęstości przeprowadzono z wykorzystaniem bloków żelatynowych 20% osłoniętych osłonami balistycznymi w kilku konfiguracjach:

– Konfiguracja nr 1

Nieosłonięty blok żelatynowy, imitujący bezpośrednie rażenie pociskiem. Układ ten symuluje skutki rażenia siły żywej bezpośrednio w tkankę mięśniową bez wywołanej wcześniej fragmentacji pocisku (postrzał bezpośredni);

– Konfiguracja nr 2

Blok żelatynowy osłonięty tkaniną mundurową, imitujący bezpośrednie rażenie siły żywej okrytej odzieżą. Układ ten symuluje postrzał w okrytą ubraniem część ciała;

– Konfiguracja nr 3

Blok żelatynowy osłonięty bezpośrednio osłoną z blachy grubości 1 mm. Układ ten imituje rażenie siły żywej, osłoniętej sztywną osłoną o dużej twardości. Bada on skutki rażenia siły żywej odłamkami powstałymi na skutek fragmentacji pocisku w bezpośredniej styczności z tkanką;

– Konfiguracja nr 4

Blok żelatynowy osłonięty bezpośrednio tkaniną mundurową i blachą grubości 1 mm w odległości 80 mm od bloku. Układ ten imituje warunki rażenia siły żywej przez niewzmocnione drzwi pojazdu;

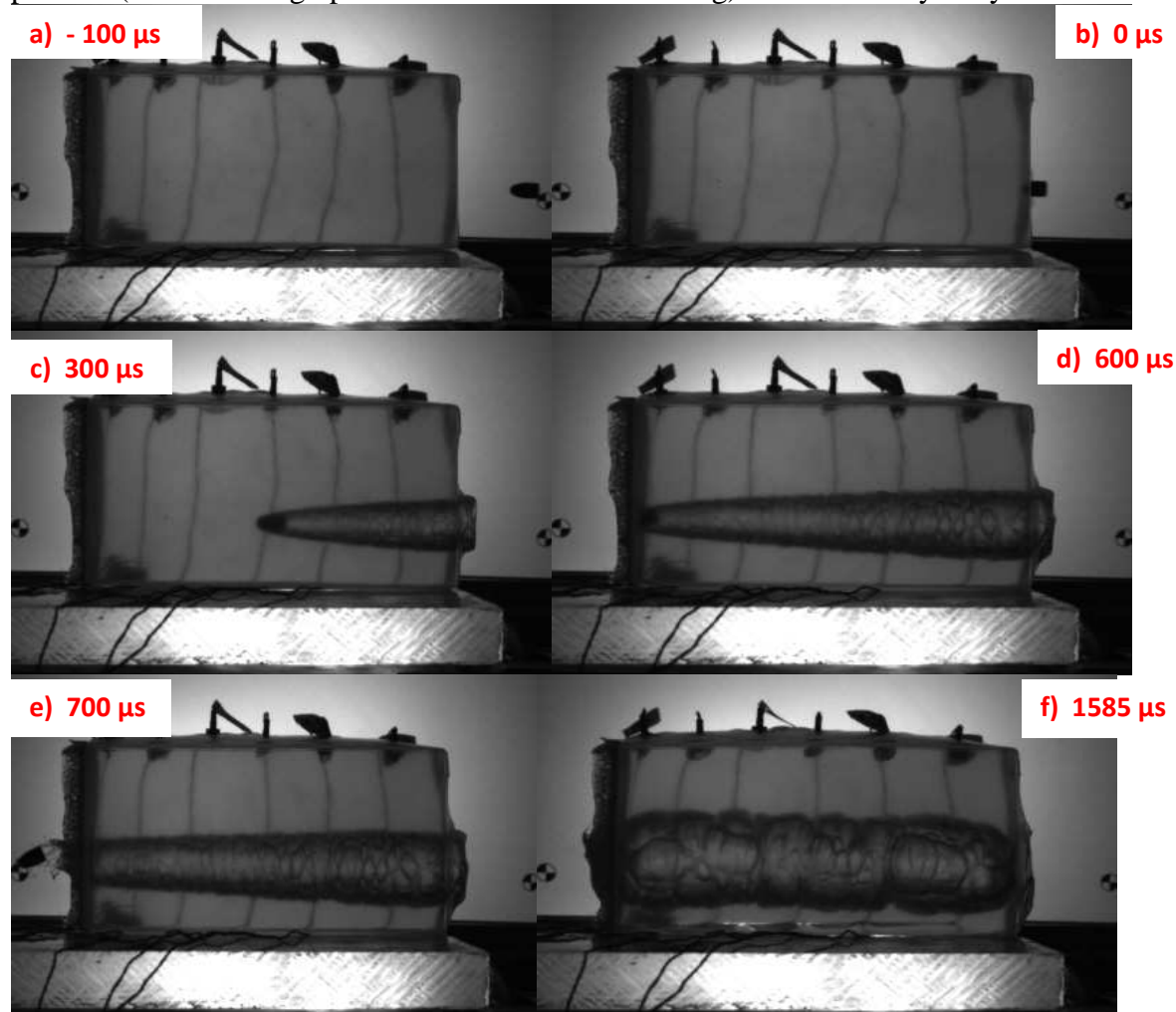
– Konfiguracja nr 5

Blok żelatynowy osłonięty bezpośrednio tkaniną mundurową i blachą grubości 1 mm w odległości 280 mm od bloku. Układ ten ma za zadanie zbadać zdolność rażenia siły żywej przez pył i drobiny powstałe na wskutek fragmentacji pocisku w niewielkiej odległości od siły żywej;

– Konfiguracja nr 6

Dwa bloki żelatynowe rozdzielone bezpośrednio blachą grubości 1 mm. Układ ten ma na celu porównanie kanałów chwilowych bez fragmentacji i pocisku sfragmentowanego. Sytuacja taka może wystąpić przy rażeniu siły żywej i uderzeniu podczas penetracji w ośrodek o znacznej twardości np. w kość.

Na fotografii 1 zostały przedstawione wybrane kadry filmu, na którym zarejestrowano lot pocisku (standardowego pocisku Parabellum o masie 6g) w bloku żelatynowym.



Fot.1. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem bojowym w konfiguracji nr 1

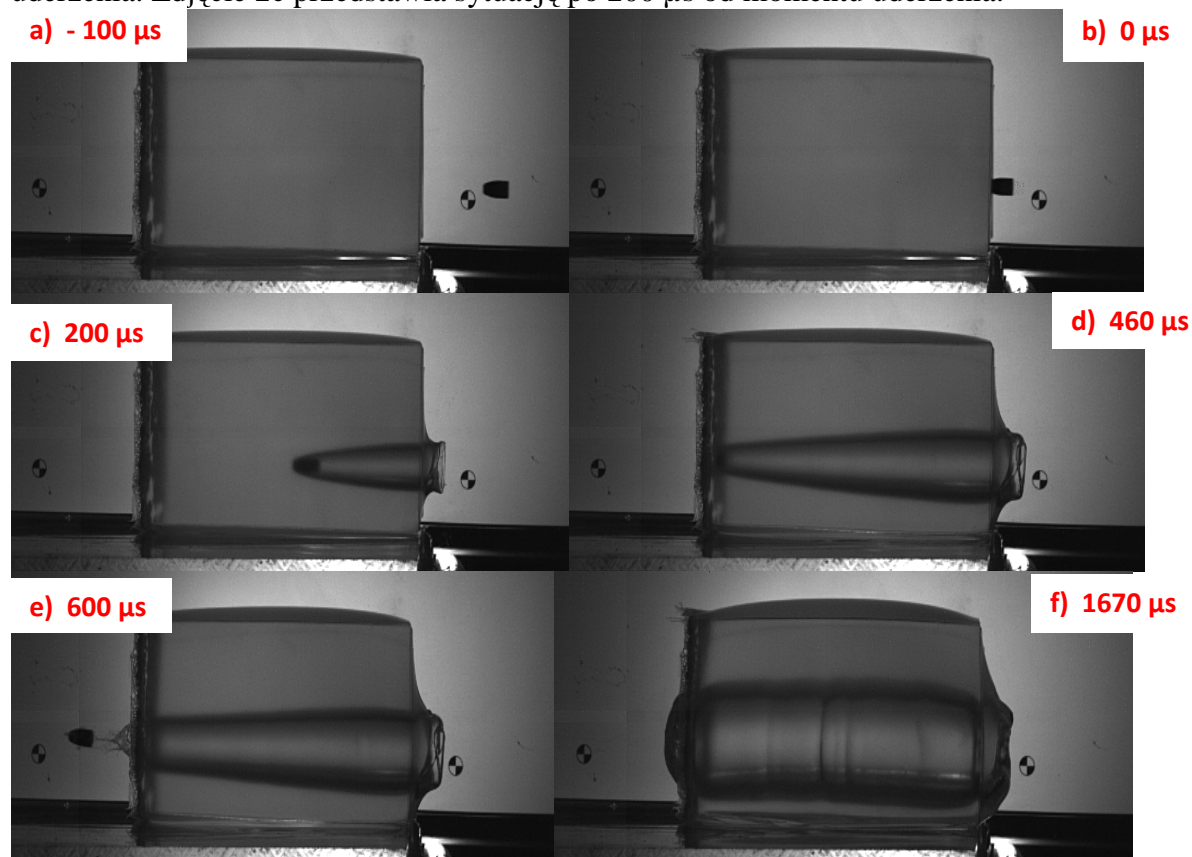
Fotografia 1a przedstawia położenie pocisku na 100 μs przed uderzeniem w blok. Średnia prędkość uzyskiwana przez pocisk bojowy wyniosła 345 m/s, a energia 475,2 J. Zdjęcie 1b to moment uderzenia. Fotografia 1c to ok. 300 μs po uderzeniu – obrazuje proces wnikania pocisku w blok żelatynowy i formowanie się chwilowej jamy postrzałowej. Zdjęcie 1d to czas 600 μs po uderzeniu a zarazem moment „wyjścia” pocisku z bloku żelatynowego. Na zdjęciu widać wyraźnie uformowaną jamę chwilową z otwartymi końcami i kształcie, przypominającym stożek. Spowodowane jest to faktem, iż jama cały czas się rozszerza i trwa to dłużej niż ruch pocisku w bloku. Kadr 1e przedstawia moment w ok. 700 μs po uderzeniu.

Widać jak pocisk, po opuszczeniu bloku, traci stabilizację i zaczyna koziółkować. Jama chwilowa dalej zwiększa swą objętość. Średnia prędkość wylotowa pocisku na tym odcinku wyniosła 275 m/s, co daje spadek prędkości o 20,3%, a wartość średnia energii 301,8 J – spadek o 36,5%.

Ostatnia fotografia 1f pokazuje moment uzyskania przez chwilową jamę postrzałową największej średnicy, której wartość średnia wyniosła 53,6 mm. Zdjęcie to zarejestrowano ok. 1 585 μ s po uderzeniu pocisku w blok.

Analizując rejestrację procesu penetracji bloku przez pocisk bojowy, widać wyraźnie, że po wylocie pocisk zachowuje swój kształt i 63% energii (302 J), czyli nadal jest zdolny razić cele w bliskiej odległości za blokiem żelatyny. Jama chwilowa ma regularne kształty, a powstały kanał trwały nie wykazuje dodatkowych zniszczeń.

Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 1 przedstawiono na fotografii 2. Podobnie jak w przypadku pocisku bojowego fotografia 2a przedstawia chwilę na 100 μ s przed uderzeniem. Średnia wartość prędkości zmierzona w tym miejscu wyniosła 440 m/s a obliczona energia 583,8 J. Kadr 2b to moment uderzenia. Zdjęcie 2c przedstawia sytuację po 200 μ s od momentu uderzenia.



Fot.2. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 1

Widać wyraźnie początek formowania się stożkowej jamy chwilowej. 460 μ s po uderzeniu pocisk opuszcza blok żelatynowy, co przedstawiono na fotografii 2d. Podobnie jak w przypadku pocisku bojowego widać wyraźny kanał chwilowy, który w tym przypadku posiada większą średnicę.

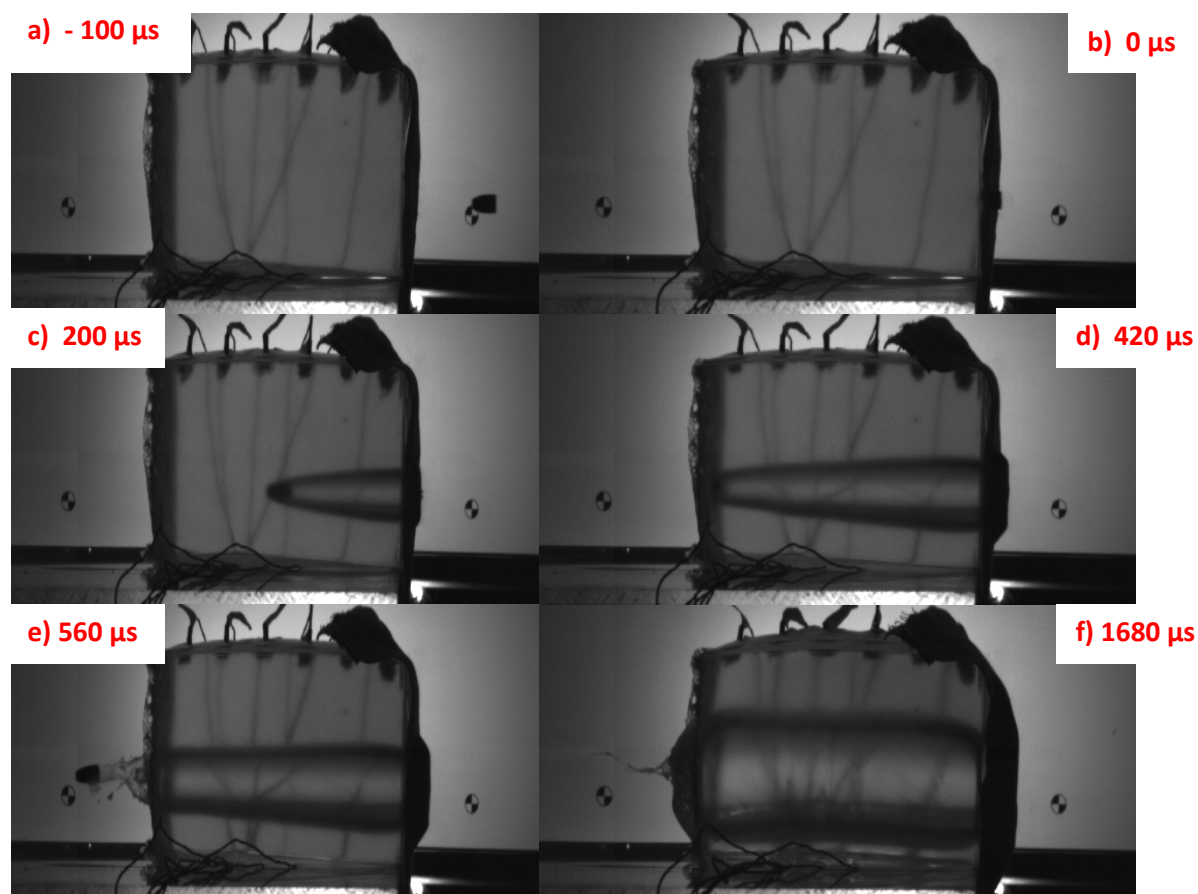
Kadr 2e to moment 600 μ s po uderzeniu. Widoczny jest nieodkształcony i nieuszkodzony pocisk Cu-Sn traci stabilizację i zaczyna koziółkować. Średnia wartość prędkości pocisku w

tym momencie wynosiła 337 m/s (spadek o 23,3%) a energia 343,7 J (spadek o 41,1%). Ostatnie zdjęcie zostało wykonane 1 670 μ s od chwili uderzenia pocisku w blok żelatynowy. W tym momencie kanał chwilowy uzyskał największą średnicę, której wartość średnia dla wszystkich serii strzałów wyniosła 64,7mm, czyli o ponad 10 mm więcej niż w przypadku pocisku bojowego.

Porównując wyniki dla pocisku bojowego i fragmentującego Cu-Sn w konfiguracji nr 1 można stwierdzić, że:

- pociski fragmentujące uzyskują znacznie większe prędkości, zarówno uderzenia, jak i wylotu (masa mniejsza o 2 g). W związku z tym, w oczywisty sposób wzrosła również energia uderzenia tych pocisków;
- ze względu na mniejszą masę i bezwładność, pociski fragmentujące „tracą” w bloku żelatynowym więcej energii, co skutkuje znaczącym wzrostem średnicy kanału chwilowego;
- nieosłonięty blok żelatynowy nie powoduje fragmentacji i deformacji pocisku Cu-Sn, można więc stwierdzić iż zachowuje się podobnie jak pocisk bojowy.

Przebieg strzału w konfiguracji układu nr 2 przedstawiono na fotografii 3.



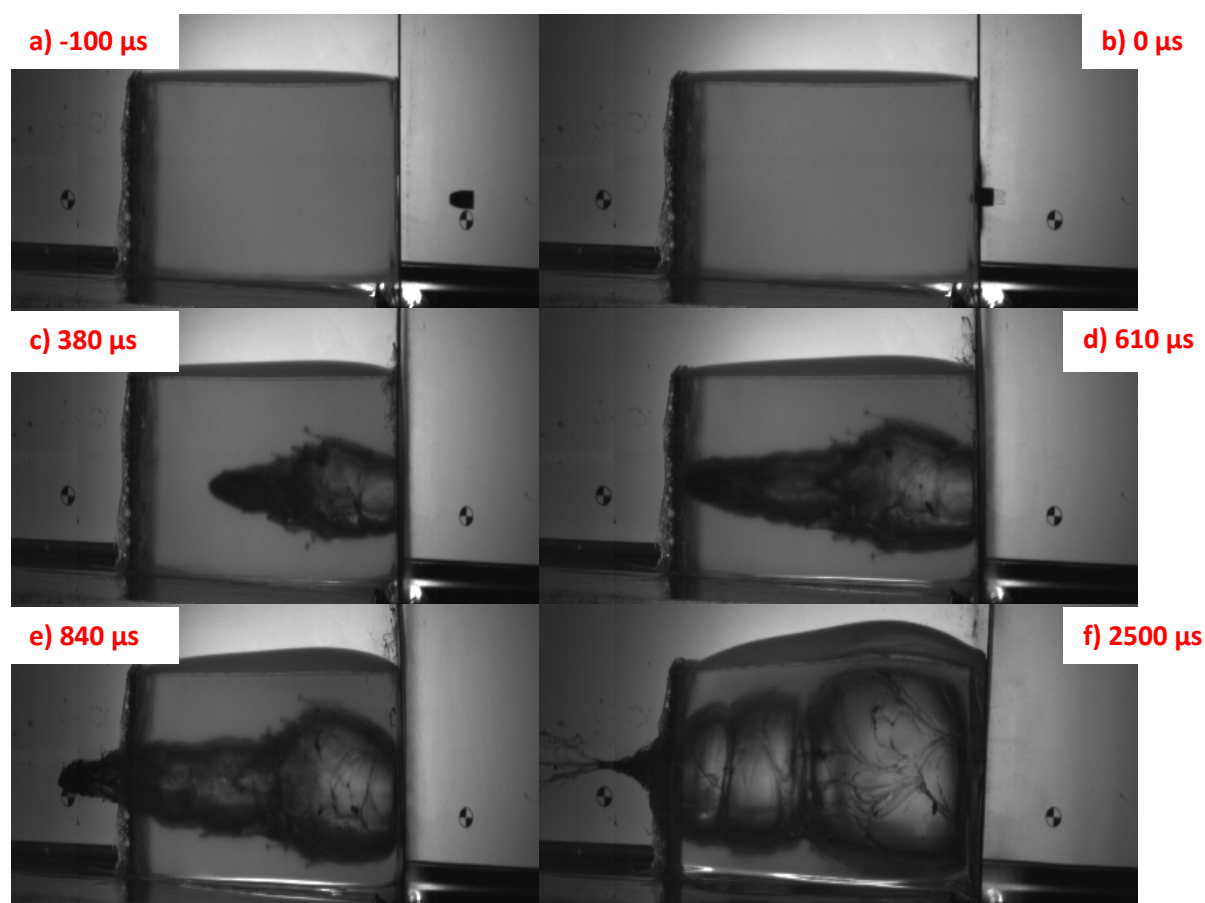
Fot.3. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w układzie badawczym nr 2

Prędkość wylotu pocisku z układu zmierzono 580 μ s po uderzeniu. Średnia jej wartość wynosiła 333 m/s, średnia energia kinetyczna pocisku 334,9 J. Z obliczeń wynika więc, że blok osłonięty tkaniną „przejął” ok. 42,2% energii pocisku, czyli wartość bardzo zbliżoną do wartości uzyskanych w przypadku bloku nieosłoniętego (343,7 J– 41,1%). Można też zauważyć, iż pocisk nieznacznie odchyła się od osi strzału. Średnicę maksymalną chwilowej jamy postrzałowej ustalono w chwili ok. 1 680 μ s po uderzeniu (fotografia 3e), jej średnia

wartość wyniosła 63,6 mm, co również praktycznie pokrywa się z wynikami uzyskanymi w poprzednim układzie dla pocisku fragmentującego Cu-Sn.

Porównując wyniki uzyskane w konfiguracji nr 1 i nr 2 dla pocisku fragmentującego Cu-Sn można stwierdzić, że osłona z warstwy tkaniny mundurowej nie stanowi praktycznie żadnej przeszkody dla pocisku, o czym świadczą podobne wyniki uzyskiwanych prędkości i energii wylotowych oraz średnicy kanału chwilowego. Osłona ta nie wywołuje również fragmentacji pocisku ze spieku Cu-Sn i zachowuje się on podobnie jak pocisk bojowy.

Porównując wyniki badań z układów badawczych nr 1 i nr 3 dla pocisków bojowych można zauważyć, iż blacha stalowa o grubości 1 mm nie stanowi dostatecznej ochrony dla siły żywej. Pocisk przebija ją i po przejściu przez blok żelatynowy zachowuje dalej ok. 40% swojej energii. Co więcej, ze względu na „mieczkowanie” i deformację samego pocisku po perforacji takiej osłony, skutki takiego postrzału mogą być groźniejsze między innymi ze względu na zwiększoną średnicę kanału chwilowego (w tym przypadku o ok. 6 mm).



Fot.4. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 3

Na fot.4 przedstawiono przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 3.

Kadr 4a przedstawia moment 100 μ s przed uderzeniem. Średnia wartość prędkości, zmierzona na tym odcinku wyniosła 439 m/s, a energii uderzenia 581,1 J. Na zdjęciu 4b, wykonanym w chwili uderzenia pocisku w osłonę, widać początek fragmentacji pocisku ze spieku Cu-Sn. Część fragmentów, w postaci pyłu, rozprzestrzenia się radialnie wokół miejsca uderzenia. Masa tych pozostałości nie została określona.

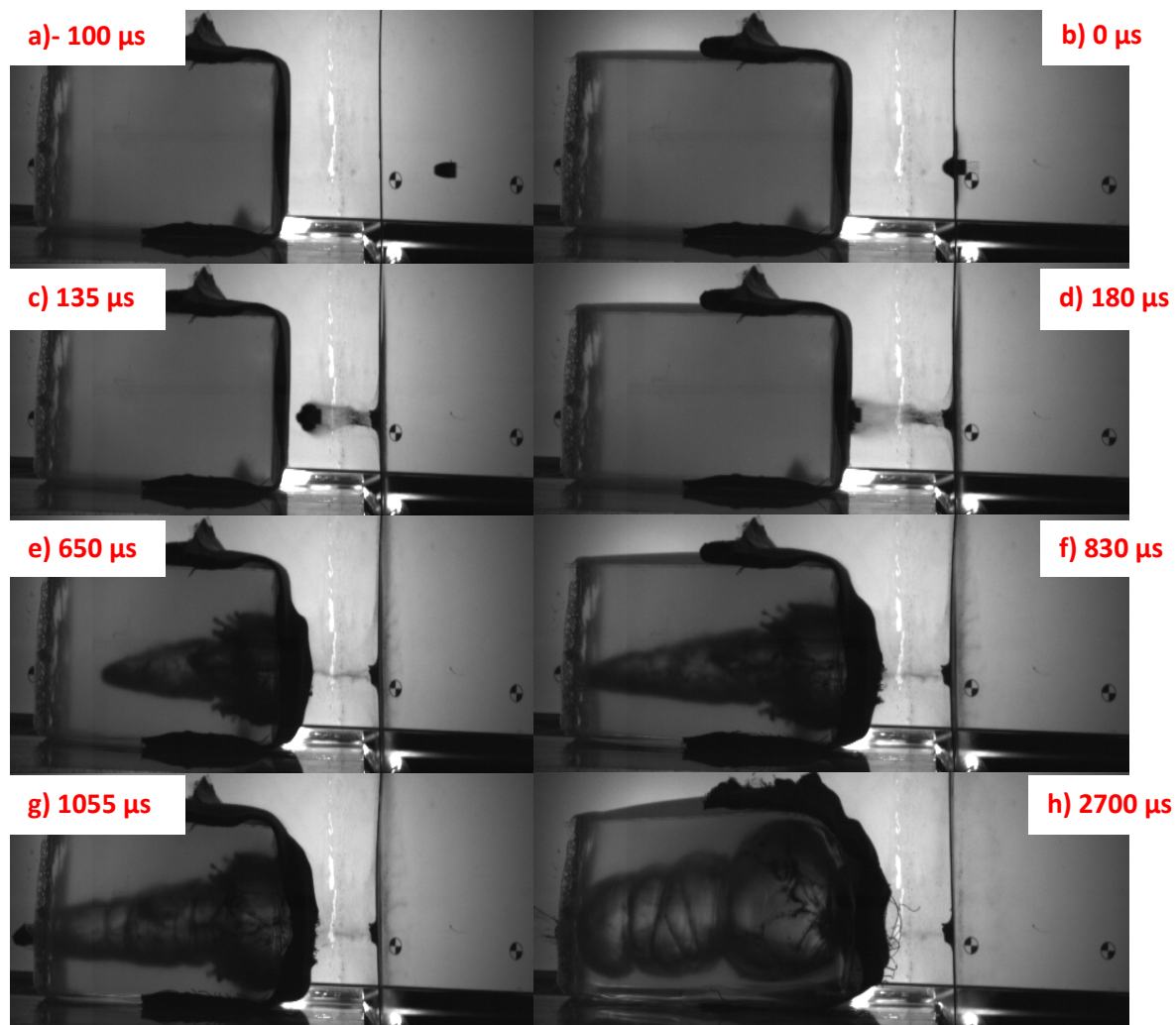
Fotografia 4c przedstawia moment 380 μ s po uderzeniu pocisku w układ badawczy. Widać na nim wyraźnie rozprzestrzeniającą się „chmurę” fragmentów o nieregularnym kształcie,

drażących blok żelatynowy w kierunku zgodnym z wektorem prędkości pocisku. Powstająca, za poruszającymi się fragmentami pocisku, chwilowa jama postrzałowa ma również nieregularny kształt, jest pofałdowana i na jej powierzchni widać wyraźnie pozostałości pyłu z pocisku, które zostały całkowicie wyhamowane i pozostały w bloku. Zdjęcie 4d, wykonane 610 μs po uderzeniu, przedstawia moment „wyjścia” niektórych fragmentów z bloku żelatynowego. Zauważalne są fragmenty pocisku w postaci „obłoku”, rozciągnięte są na znaczną odległość, a jama chwilowa powstaje niejako, w dwóch odmiennych postaciach – pęcherza od strony osłony, oraz stożka z porwaną, nieregularną powierzchnią od strony wylotu. Jest to spowodowane najprawdopodobniej faktem, iż w pierwszej fazie wnikania fragmentów pocisku w blok żelatynowy „obłok” pyłu i fragmentów był na tyle zwarty, że zachowywał się podobnie jak lity pocisk. Jednak w miarę rozprzestrzeniania się fragmentów działanie ich zmieniało swój charakter i oddziaływało na żelatynę w nieregularny sposób. Sytuacja ze zdjęcia 4e przedstawia chwilę 840 μs po uderzeniu. Zauważyć można, iż mimo upływu 230 μs od chwili, gdy pierwsze fragmenty zaczęły opuszczać blok żelatynowy, „obłok” pyłów, fragmentów oraz wyrwanej żelatyny, nadal opuszcza blok. Średnia prędkość fragmentów zmierzona na tym odcinku wyniosła 149 m/s, co daje jej spadek rzędu 66%. Fotografia 4f to moment 2 500 μs po uderzeniu. Jest to chwila, w której jama postrzałowa ma największą średnicę. Jeden z pęcherzy chwilowej jamy postrzałowej, wykracza znacznie poza szerokości bloku żelatynowego. Z tego powodu zmierzenie średnicy maksymalnej jest niecelowe.

Analizując powyższe wyniki oraz porównując je z układem, w którym wykorzystano pocisk bojowy, należy stwierdzić, że postrzał pociskiem fragmentującym Cu-Sn w takiej konfiguracji jest znacznie bardziej niebezpieczny dla osoby ranionej, niż w przypadku pocisku bojowego. Pocisk fragmentujący wytraca w bloku znacznie więcej prędkości (o ok. 30%) niż pocisk bojowy, a co za tym idzie pozostawia w bloku znacznie więcej energii.

Na fotografii 5 przedstawiono przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym w konfiguracji nr 4.

Na zdjęciu 5a przedstawiono sytuację na 100 μs przed uderzeniem pocisku, fragmentującego ze spieku Cu-Sn w początek układu badawczego nr 4. Średnia prędkość pocisku w tej chwili wyniosła 437,3 m/s a wartość średnia energii pocisku w tym punkcie to 577,3 J. Kadr 5b przedstawia moment uderzenia pocisku w osłonę z blachy, wywołuje ona fragmentację pocisku. Zauważyć można, że część fragmentów nie perforuje blachy i rozprzestrzenia się radialnie. Fotografia 5c, wykonana 135 μs po uderzeniu pocisku w blachę, przedstawia sytuację tuż przed uderzeniem fragmentów w blok żelatynowy osłonięty tkaniną. Maksymalna średnica „obłoku” fragmentów wyniosła średnio 17 mm, a jego średnia prędkość uderzenia w blok żelatynowy wyniosła 403,6 m/s. Spadek prędkości spowodowany perforacją blachy i przebyciem odległości 80 mm wyniósł średnio tylko 8%. Ze względu na nieznaną masę fragmentów nie określono energii uderzenia.



Fot.5. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym za spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 4

Kadr 5d przedstawia moment uderzenia „obłoku” fragmentów w blok żelatynowy osłonięty tkaniną (180 μ s po uderzeniu). Sytuacja ze zdjęcia 5e została zarejestrowana 650 μ s po uderzeniu. Widać na niej jak rozprzestrzeniające się fragmenty działają dwufazowo. W pierwszej fazie część fragmentów porusza się w kierunku strzału i formuje jamę chwilową podobnie jak pocisk lity. Pozostała część fragmentów porusza się radialnie do osi strzału powodując bardzo duże zniszczenia, pokazane na zdjęciu 5e. Jama chwilowa w tej części nie ma regularnego kształtu a żelatyna zatrzymuje znaczną ilość pyłów i fragmentów. Fotografia 5f, wykonana 830 μ s po uderzeniu pocisku w blachę, jest kontynuacją poprzedniej sytuacji.

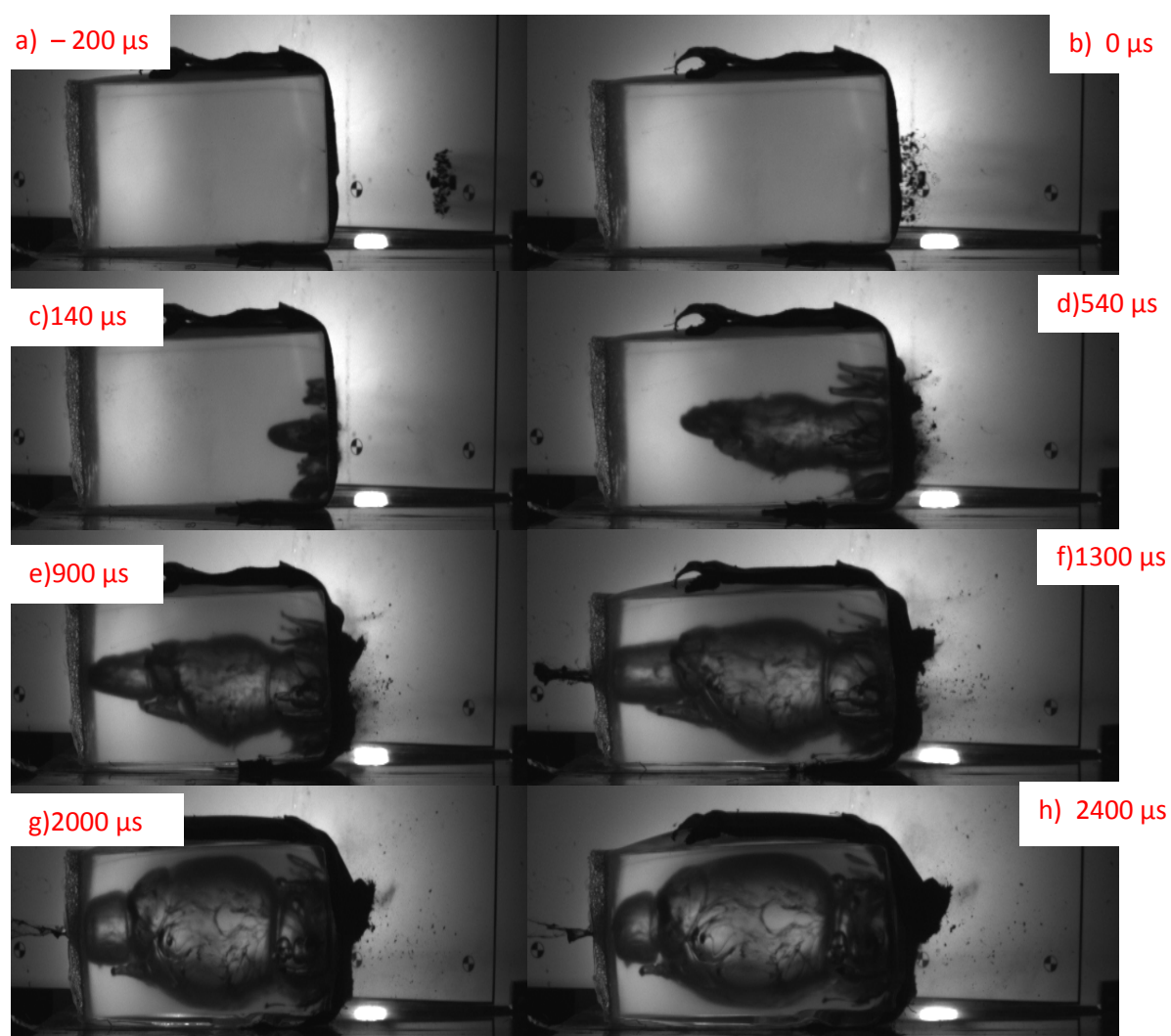
W tym momencie pierwsze fragmenty pocisku zaczynają opuszczać blok żelatynowy, 225 μ s później wykonano zdjęcie 5g (1 055 μ s po uderzeniu w blachę). Widać na nim „zbitkę” fragmentów, które opuściły blok żelatynowy ze średnią prędkością 122,3 m/s, co daje spadek prędkości o 72%. Zdjęcie 5h przedstawia moment największego rozszerzenia bloku żelatynowego, zarejestrowany 2 700 μ s po uderzeniu.

Podsumowując wyniki badań w konfiguracji nr 4, potwierdzają się wnioski sformułowane dla konfiguracji nr 3. Odległość 80 mm, na której poruszały się fragmenty pocisku przed uderzeniem w blok żelatynowy, pozwoliła na ekspansję radialną fragmentów do ok. 17 mm. To praktycznie dwukrotnie większa średnica oddziaływania niż w przypadku pocisku litego. Dzięki temu jama chwilowa powstaje w nieco odmienny sposób, który spowodował jeszcze

większe zniszczenia bloku, co należy odczytać, jako znacznie większe obrażenia. Jest to kolejny dowód na zwiększone niebezpieczeństwo stosowania pocisków fragmentujących do celów innych niż szkolno-treningowe.

Badania oddziaływania pocisków w konfiguracji nr 5 miały za zadanie zbadać zdolność rażenia siły żywej przez odłamki powstałe na wskutek fragmentacji pocisku w niewielkiej odległości od siły żywej. Stosowanie pocisków fragmentujących w pomieszczeniach zamkniętych powoduje bardzo duże prawdopodobieństwo wywołania ich fragmentacji przez przedmioty znajdujące się w pomieszczeniu. W związku z tym, aby zbadać skutki rażenia fragmentami pocisku z większej odległości niż to miało miejsce w konfiguracji nr 4, zaproponowano układ badawczy w konfiguracji nr 5, składający się ze sztywno zamocowanej osłony z blachy grubości 1 mm i oddalonego od niej o 280 mm bloku żelatynowego, osłoniętego warstwą tkaniny.

Na fotografii 6 przedstawiono proces oddziaływania fragmentów pocisku fragmentującego ze spieku Cu-Sn na siłę żywą w konfiguracji nr 5.



Fot.6. Przebieg penetracji bloku żelatynowego pociskiem fragmentującym ze spieku Cu-Sn w konfiguracji nr 5

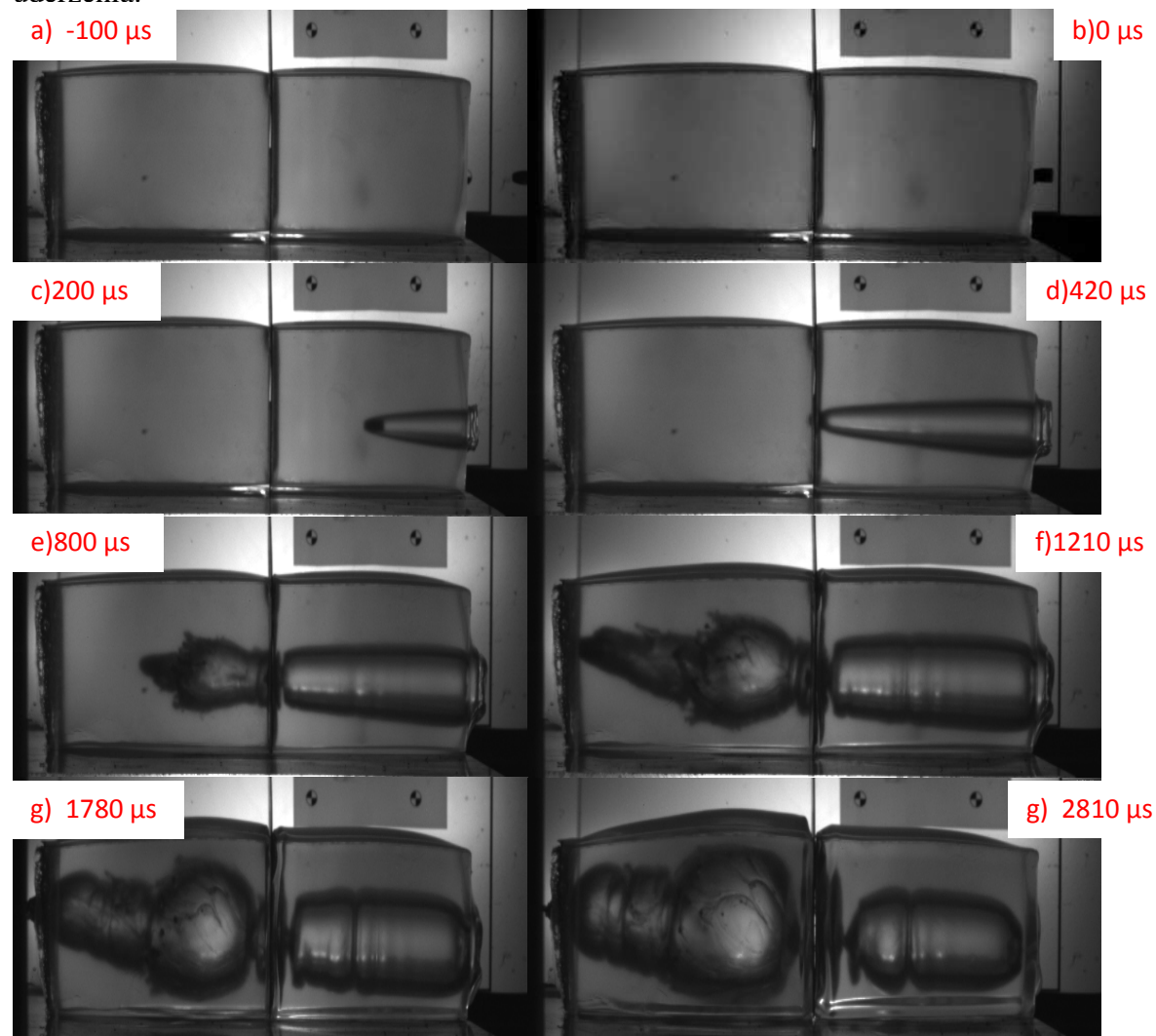
Zdjęcie 6a przedstawia moment na ok. 200 μ s przed uderzeniem fragmentów w blok żelatynowy osłonięty tkaniną. W tym momencie fragmenty pokonały ok. 2/3 dystansu między osłoną z blachy a blokiem (ponad 190 mm). Średnia prędkość „obłoku” fragmentów w tym

punkcie wyniosła 385 m/s. Na podstawie analizowanych wcześniej układów wiadomo, iż po uderzeniu pocisku w blachę część masy pocisku w postaci fragmentów pozostaje przed blachą. Stwierdzono, że reszta fragmentów, penetrując osłonę z blachy, wybija z niej niewielki krążek zwany „misczką”. Porusza się ona razem z fragmentami i tak jak one działa na blok żelatynowy. Zakładając, iż ubytek masy pocisku rekompensuje masa fragmentu blachy, obliczono energię uderzenia fragmentów w blok żelatynowy, której wartość średnia wyniosła 448 J. Ze względu na dokonane założenie jest to wartość jedynie szacunkowa i dla każdego strzału może się różnić w pewnym stopniu od wartości rzeczywistej. Sytuacja z fotografii 6b przedstawia moment uderzenia fragmentów w blok. W tym momencie średnica „obłoku” osiągała maksymalną wartość, która wyniosła średnio 55 mm. Wynika z tego, że przy takiej konfiguracji układu powierzchnia oddziaływania fragmentów jest ponad sześć razy większa niż w przypadku litego pocisku, przy zachowaniu energii zbliżonej do energii pocisków bojowych. Energia ta przekazana na blok na tak dużej powierzchni powoduje bardzo poważne zniszczenia, co przedstawiono na zdjęciu 6c wykonanym 140 μ s po uderzeniu fragmentów w blok. Część 6d przedstawia sytuację 540 μ s po uderzeniu. Na zdjęciu tym widać, że część fragmentów odbiła się od bloku żelatynowego osłoniętego tkaniną. Pozostała część porusza się w kilku częściach drążąc kilka mniejszych kanałów, a tam gdzie fragmenty są największe, powstał kanał główny. Jego powierzchnia jest nieregularna i zależy wyłącznie od sposobu fragmentacji pocisku i ich „drogi” w bloku. Kadr 6e przedstawia moment, w którym pierwsze fragmenty opuszczają blok. Dzieje się to po ok. 900 μ s od uderzenia. Widać, iż fragmenty, które drążyły mniejsze jamy chwilowe już wyhamowały i pozostały w bloku żelatynowym. Główny kanał zaś, podzielony jest na 3 części, z której każda formuje się w inny sposób i z innymi prędkościami. Jak pokazuje sytuacja z następnego zdjęcia 6f, wykonanego 1 300 μ s po uderzeniu, pierwsza część (od strony wlotu fragmentów) głównej jamy chwilowej praktycznie się nie zmieniła, środkowa znacznie powiększyła swoją objętość a część wylotowa powiększyła się nieznacznie. Wartość średnia prędkości fragmentów określona w tym momencie wyniosła 128 m/s. Daje to średni spadek prędkości fragmentów rzędu 66,8%. Część 6g przedstawia sytuację ok. 2 000 μ s po uderzeniu fragmentów. Środkowa część kanału chwilowego nadal zwiększa swoją objętość a dwa skrajne zaczynają maleć. Na fotografii 6h wykonanej ok. 2 400 μ s po uderzeniu zauważyć można, że środkowa część osiąga największą objętość, lecz podobnie jak w poprzednich przypadkach, średnicy maksymalnej nie zmierzono.

Podsumowując powyższe rozważania można zauważyć, iż używanie pocisków fragmentujących ze spieku Cu-Sn w obiektach zamkniętych jest bardzo niebezpieczne dla siły żywej. Jak wykazały badania w konfiguracji nr 5 fragmenty pocisku w odległości 280 mm od miejsca fragmentacji nadal posiadają dość znaczną energię i niszczą blok żelatynowy na kilkakrotnie większej powierzchni niż sam pocisk. Niesie to za sobą o wiele poważniejsze urazy, niż te zaobserwowane w przypadku układu badawczego nr 4. Oprócz głównego kanału chwilowego o nieregularnych kształtach i podzielonego na części zachowujące się w różny sposób, występują mniejsze kanały chwilowe, które dokonują dodatkowych zniszczeń. W bloku pozostała też znaczna część fragmentów w postaci pyłu i większych odłamków, co może powodować dodatkowe powikłania pourazowe. Nie można również pominąć faktu, że fragmenty, które opuściły blok nadal poruszają się ze znaczną prędkością i pomimo przebycia drogi 500 mm (w tym ok. 200 mm w żelatynie) nadal mają energię zdolną razić kolejną osobę lub urządzenie techniczne. Głównym celem zestawienia konfiguracji nr 6 była próba zasymulowania sytuacji, gdy osoba postrzelona jest pociskiem fragmentującym, który fragmentuje w wyniku uderzenia w kość lub inny ośrodek o znacznie wyższej twardości niż tkanka miękka, mogący wywołać fragmentację pocisku. Drugim ważnym celem badań tego układu jest ukazanie na jednym materiale (filmie, zdjęciu) różnic w oddziaływaniu na siłę żywą pocisków bojowych i fragmentujących ze spieku Cu-Sn.

Co prawda, strzał oddawany jest tylko za pomocą pocisku fragmentującego, ale jak wykazały badania w układzie badawczym nr 1 pociski te, niepoddane fragmentacji, zachowują się niemalże identycznie, jak pociski bojowe i można z niewielkim błędem stwierdzić, iż do momentu uderzenia pocisku w twardą przegrodę mamy do czynienia z symulacją strzału pociskiem bojowym, a od momentu perforacji przesłony symulujemy penetrację pociskiem fragmentującym. Ze względu na powyższe założenie, jak i na porównawczy charakter badań w tym układzie, nie dokonano w tym przypadku żadnych pomiarów, a badania potraktowano jakościowo.

Fotografia 7 przedstawia wizualizację procesu penetracji bloku żelatynowego w konfiguracji nr 6. Na zdjęciu 7a przedstawiono sytuację na 100 μ s przed strzałem. Fotografia 7b to moment uderzenia pocisku w pierwszy blok żelatynowy. Część 7c to chwila po 200 μ s od uderzenia.



Fot.7. Proces penetracji bloku żelatynowego w konfiguracji nr 6|

Pocisk penetruje blok żelatynowy bez fragmentacji, a tworzący się kanał chwilowy ma regularny, stożkowy kształt o niewielkiej średnicy. Fotografia 7d, wykonana w ok. 420 μ s od momentu uderzenia, to moment penetracji blachy, fragmentacji pocisku i umownej zmiany penetratora z pocisku bojowego na fragmentujący. Kanał chwilowy jamy postrzałowej powiększył swoją objętość, ale nadal ma regularny, stożkowy kształt, a fragmenty pocisku nie zdążyły jeszcze rozpocząć penetracji drugiego bloku żelatynowego. Ich działanie ukazuje sytuacja ze zdjęcia 7e wykonanego 800 μ s po uderzeniu czyli ok. 380 μ s od fragmentacji

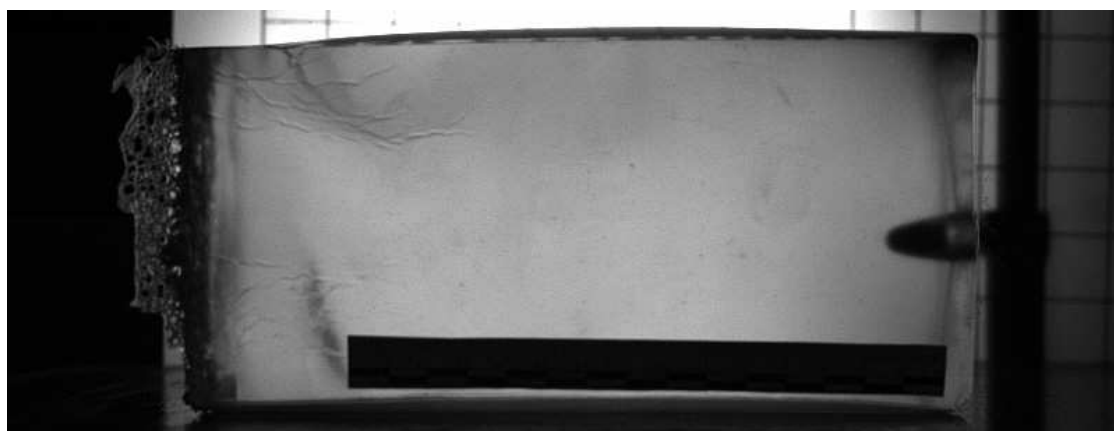
pocisku. Widać tu jak odmienny charakter ma proces penetracji bloku przez fragmenty. Główne ich zgrupowanie porusza się szybciej i draży jamę chwilową w podobny sposób co bojowy, odchylając się jednak od kierunku strzału. Reszta fragmentów porusza się w różnych kierunkach i powiększa skokowo średnicę jamy chwilowej. Podobną sytuację można było zaobserwować w konfiguracjach nr 3, 4 i 5. Jama chwilowa po stronie pocisku bojowego ma już kształt walca i powiększa stopniowo swoją średnicę.

Fotografia 7f przedstawia moment, gdy pierwsze fragmenty opuszczają układ po 1 210 μ s od uderzenia. Widać na niej, jak bardzo odchylił się kierunek ruchu największych fragmentów od kierunku strzału. Zauważyć można również, jak jama chwilowa po stronie pocisku fragmentującego, podzielona jest na dwie części – jedna ma kształt pochylonego walca a druga przypomina kulę. Jest to zapewne spowodowane faktem, iż w części kulistej oddziaływały zarówno większe fragmenty, które dokonały całkowitej penetracji jak i fragmenty mniejsze, rozchodzące się radialnie od osi strzału, które wyhamowały w żelatynie i są widoczne w postaci ciemnych punktów. Część walcowa zaś powstała przez oddziaływanie grupy większych fragmentów poruszających się blisko siebie w kierunku strzału, działających podobnie jak pocisk lity. Po stronie pocisku bojowego jama chwilowa ma jednolity kształt walca, którego średnica dalej rośnie. Na zdjęciu 7g przedstawiono sytuację w chwili 1 780 μ s po uderzeniu. Jama chwilowa po stronie pocisku bojowego osiągnęła w tym momencie swoją maksymalną średnicę. Po stronie pocisku fragmentującego jama ta nadal zwiększa swą objętość. Ostatnie zdjęcie 7h przedstawia moment osiągnięcia maksymalnej średnicy przez kanał chwilowy po stronie pocisku fragmentującego. Ma to miejsce 2 810 μ s po uderzeniu.

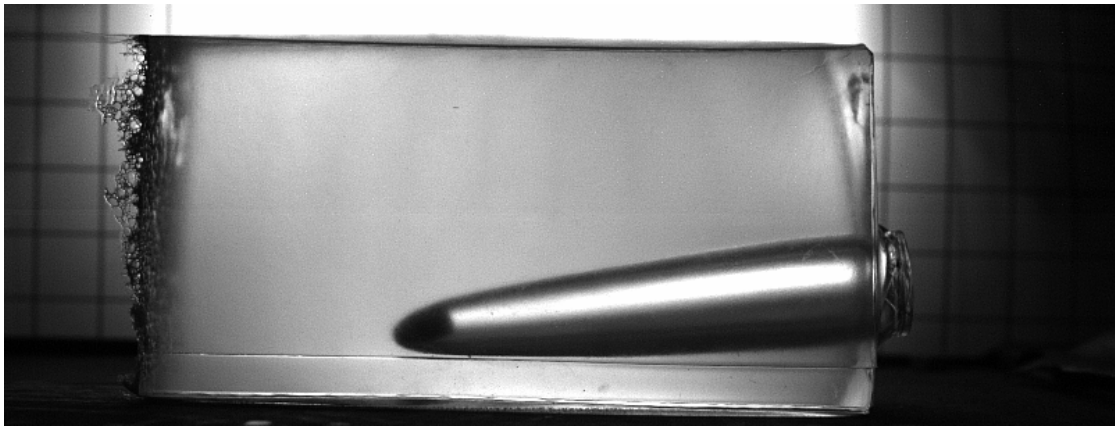
Analizując wyniki opisane powyżej można stwierdzić, że oddziaływanie pocisku bojowego na siłę żywą ma znacznie łagodniejszy charakter niż fragmentującego pocisku ze spieku Cu-Sn.

4.2 Badania oddziaływania na cele o niskiej gęstości 9 mm pocisków amunicji pistoletowej o zwiększonej skuteczności

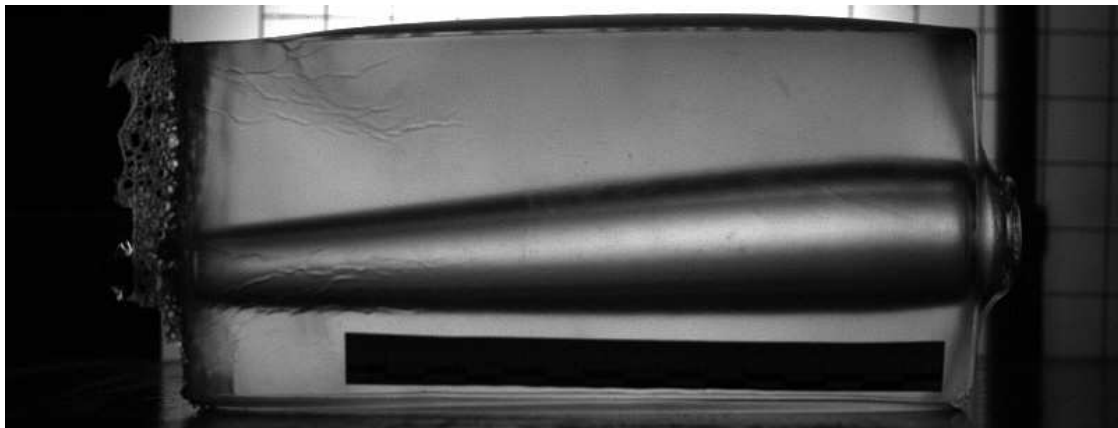
W opisanej poniżej części badań przeprowadzono testy określające oddziaływanie na cel o niskiej gęstości pocisków o zwiększonej skuteczności. Do badań użyto 9mm amunicji Parabellum JHP (Jacket Holow Point). Oddziaływanie amunicji JHP porównano ze standardowym pociskiem FMJ używanym między innymi w NATO. Na fotografiach 8-13 przedstawiono oddziaływanie standardowego pocisku FMJ. Fotografia 8 przedstawia pocisk wnikający w blok żelatynowy, prędkość pocisku wynosiła 325 m/s. Na fotografii 9 przedstawiono formujący się kanał chwilowy.



Fot.8. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy

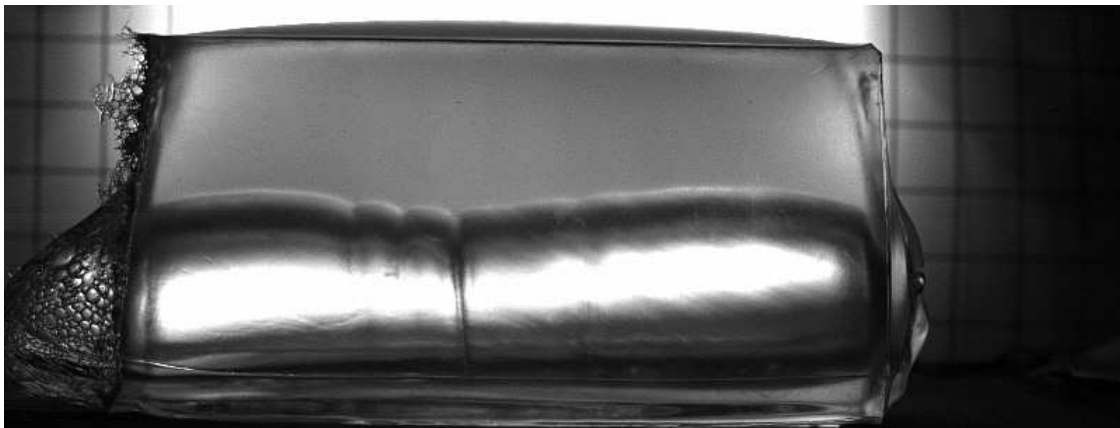


**Fot. 9 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy
– 720 μ s po uderzeniu w blok**



**Fot.10. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy
– 980 μ s po uderzeniu w blok**

Po około 980 μ s pocisk opuszcza blok żelatynowy z prędkością ok. 210 m/s. Na fotografii 10 pokazano narastający regularny, stożkowy kanał chwilowy.

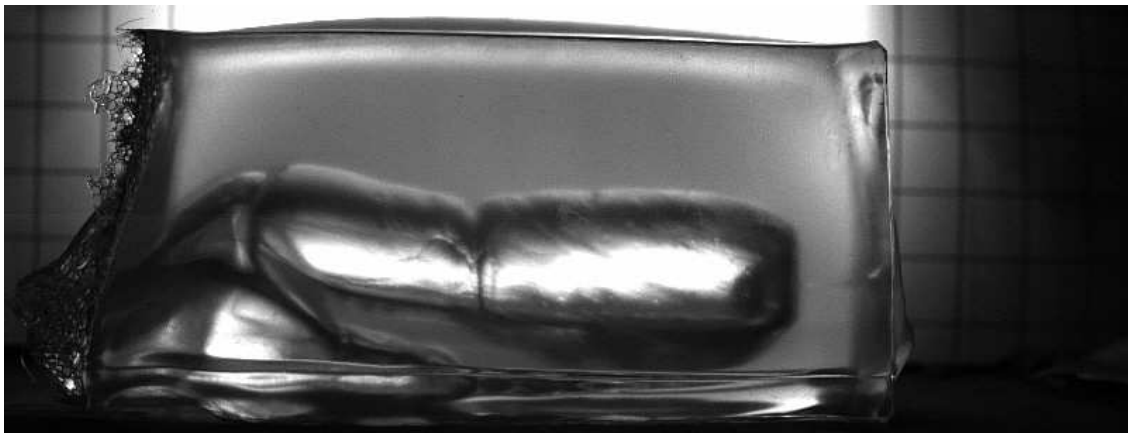


**Fot.11. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy
– 2245 μ s po uderzeniu w blok**

Po ok. 2 500 μ s od uderzenia w blok kanał chwilowy przyjmuje swoje maksymalne wymiary. Średnica maksymalna kanału chwilowego wynosiła średnio 62,5 mm, a średnia prędkość narastania kanału chwilowego wynosiła 1,6 m/s.

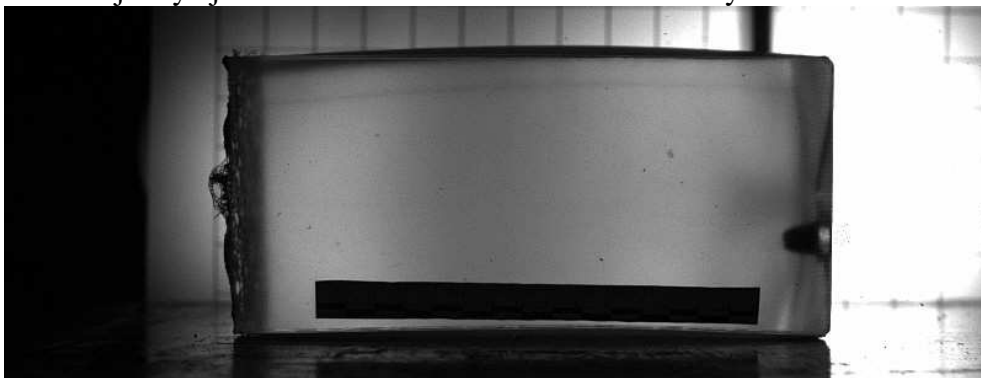


**Fot.12. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy
– 2500 μ s po uderzeniu w blok**



Fot.13. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% blok żelatynowy – 4100 μ s po uderzeniu w blok, widoczny pulsujący chwilowy kanał rany postrzałowej

Na fotografiach 14-17 przedstawiono proces penetracji bloku żelatynowego przez pocisk JHP. Fotografia 14 przedstawia moment uderzenia pocisku w blok. Średnia prędkość pocisków amunicji użytej w badaniach w momencie uderzenia wynosiła 327 m/s.



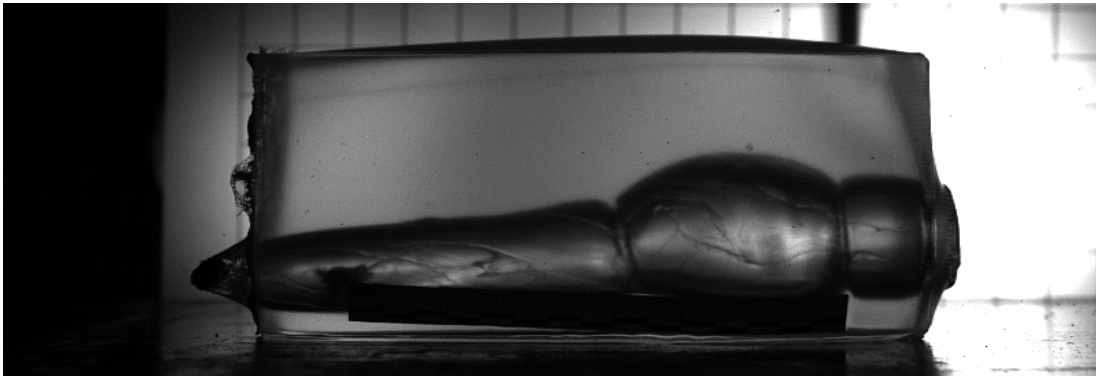
Fot.14. 9 mm pocisk JHP penetrujący 20% blok żelatynowy – uderzenie w blok

Po ok. 400 μ s następuje zerwanie płaszczka i deformacja miękkiego rdzenia pocisku. Moment zerwania płaszczka i spowodowane nim zaburzenie kształtu kanału chwilowego pokazano na fotografii 15.



Fot.15. 9 mm pocisk JHP penetrujący 20% blok żelatynowy – 400 μ s po uderzeniu w blok, widoczny zaburzony kanał rany postrzałowej

Po około 1 300 μ s zdeformowany pocisk opuszcza blok z prędkością około 135 m/s. Na fotografii 16 pokazano nieregularny kształt kanału chwilowego oraz zdeformowany pocisk opuszczający blok. We wnętrzu kanału chwilowego widoczny jest poruszający się za pociskiem zerwany płaszcz pocisku.



Fot.16. 9 mm pocisk JHP penetrujący 20% blok żelatynowy – 1320 μ s po uderzeniu w blok, widoczny zdeformowany pocisk i nieregularny formujący się kanał rany postrzałowej

Po około 2 300 μ s kanał chwilowy jamy postrzałowej osiąga swoje maksymalne rozmiary. Średnica maksymalna kanału chwilowego wynosiła średnio 75 mm a prędkość narastania kanału chwilowego 1,5 m/s.



Fot.17. 9 mm pocisk JHP penetrujący 20% blok żelatynowy – 2300 μ s po uderzeniu w blok

Na fotografiach 18-21 przedstawiono uderzenie 9mm pocisku FMJ w blok żelatynowy osłonięty osłoną balistyczną klasy 3 zgodnie z normą PN-V-87000.

Fotografia 18 przedstawia moment uderzenia pocisku w blok. Średnia prędkość pocisków amunicji użytej w badaniach w momencie uderzenia wynosiła 327 m/s.



Fot.18. 9 mm pocisk FMJ uderzający w 20% osłonięty blok żelatynowy

Po uderzeniu w osłonę osłona odkształca się hamując i deformując pocisk. Odkształcenie narasta (fot.19) powodując dynamiczne ugięcie bloku żelatynowego.



**Fot.19. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% osłonięty blok żelatynowy
– 409 μ s po uderzeniu w blok**

Po około 2 700 μ s wartość ugięcia dynamicznego osłony jest maksymalna i wynosi średnio 48,3mm(fot.20). Średnia prędkość wzrastającego ugięcia dynamicznego osłony w głąb bloku wynosi 35,4 m/s. Nie stwierdzono przebicia osłony balistycznej ani uszkodzenia ciągłości powierzchni czołowej bloku. Sugeruje to, że nie powstanie w takim przypadku klasyczna rana postrzałowa. Jednak znaczna prędkość i głębokość odkształcenia dynamicznego osłony może powodować uszkodzenia organów wewnętrznych. Sugeruje to wyraźnie znaczna deformacja bloku w dalszej fazie uderzenia (fot.21).



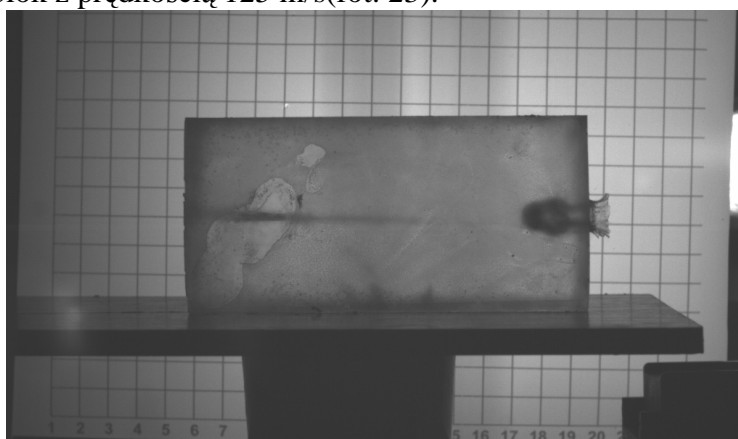
**Fot.20. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% osłonięty blok żelatynowy
– 2700 μ s po uderzeniu w blok**



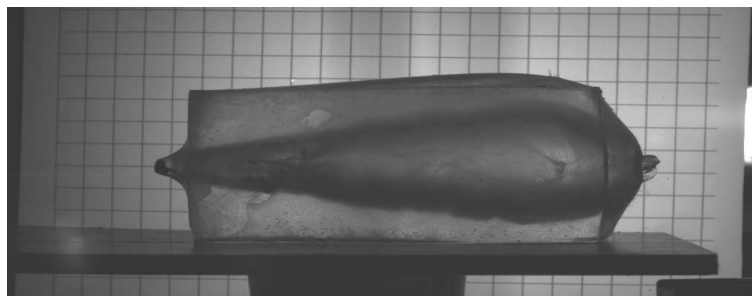
**Fot.21. 9 mm pocisk FMJ penetrujący 20% osłonięty blok żelatynowy
– 6000 μ s po uderzeniu w blok**

W celach porównawczych wykonano test z wykorzystaniem ośrodka o gęstości poniżej 1g/cm^3 odpowiadającego gęstością tkance tłuszczowej. W tym celu wykorzystano żel parafinowy $0,8\text{g/cm}^3$.

Na fotografiach 22-27 przedstawiono przebieg penetracji bloku z żelu parafinowego. Na fotografii 22 pokazano pocisk tuż po uderzeniu w blok. Pocisk ulega właściwie natychmiastowej deformacji. Prędkość uderzenia pocisku wynosiła 350m/s . Po $3\ 100\ \mu\text{s}$ pocisk opuszcza blok z prędkością 125m/s (fot. 23).



**Fot.22. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego
– 200 μ s po uderzeniu w blok**



**Fot.23. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego
– 3100 μ s po uderzeniu w blok**

Po $5\ 200\ \mu\text{s}$ narastający z prędkością $4,1\ \text{m/s}$ kanał chwilowy osiąga rozmiary maksymalne. Maksymalna średnica kanału wynosiła $125,7\ \mu\text{s}$ (fot. 24).



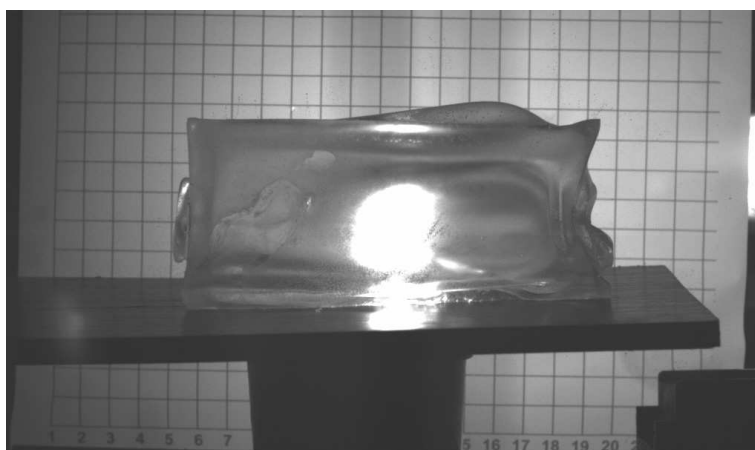
**Fot.24. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego
– $5200\ \mu\text{s}$ po uderzeniu w blok**

Pomiędzy $5\ 200\ \mu\text{s}$ a $9\ 200\ \mu\text{s}$ następuje faza zamykania i kurczenia się kanału chwilowego (fot.25).



**Fot.25. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego
– $8800\ \mu\text{s}$ po uderzeniu w blok**

Na skutek sprężenia pęcherza gazów uwieczonych we wnętrzu kanału chwilowego w $9\ 200\ \mu\text{s}$ następuje eksplozja sprężonego gazu (fot. 26).



Fot.26. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego – $9200\ \mu\text{s}$ po uderzeniu w blok; eksplozja sprężonego gazu wewnątrz rany postrzałowej

W wyniku eksplozji narasta wtórny kanał chwilowy w ranie postrzałowej(fot. 27).

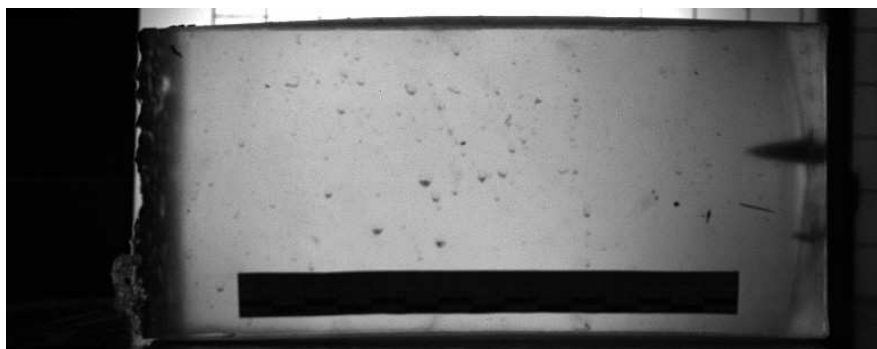


Fot.27. 9 mm pocisk JHP penetrujący blok żelu parafinowego – 10 300 μ s po uderzeniu w blok,narastanie wtórnego kanału chwilowego wewnątrz rany postrzałowej

4.3 Badania oddziaływania na cele o niskiej gęstości 5,7 mm pocisków amunicji pistoletowej

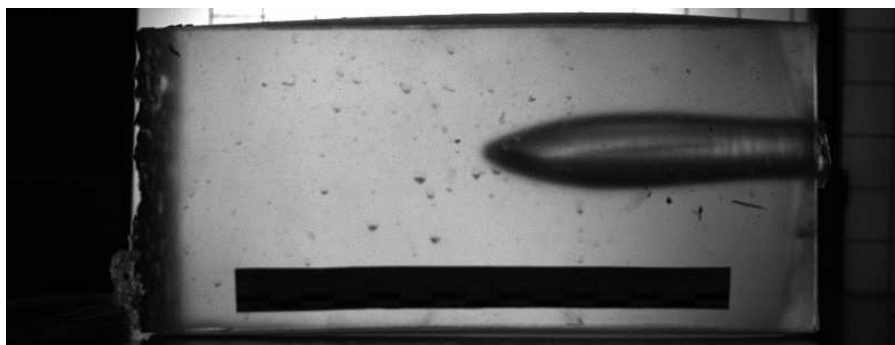
Na fotografiach 28-33 przedstawiono proces penetracji bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm. Fotografia28 przedstawia moment uderzenia pocisku w blok.

Średnia prędkość pocisków amunicji użytej w badaniach w momencie uderzenia wynosiła 650 m/s.



Fot.28. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7mm

Po około 180 μ s pocisk traci stabilizację i zaczyna obracać się w bloku. Kanał chwilowy zwiększa średnicę(fot.29).



Fot.29. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7mm- 180 μ s po uderzeniu

Na fotografiach 30-33 przedstawiono dalszy przebieg penetracji.



Fot.30. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm – 200 μ s po uderzeniu w blok

Pocisk po utracie stabilizacji obraca się w bloku w sposób losowy i po 2 100 μ s opuszcza blok z prędkością 60 m/s (fot. 31). Kanał chwilowy zwiększa średnicę z prędkością ok. 0,45 m/s.

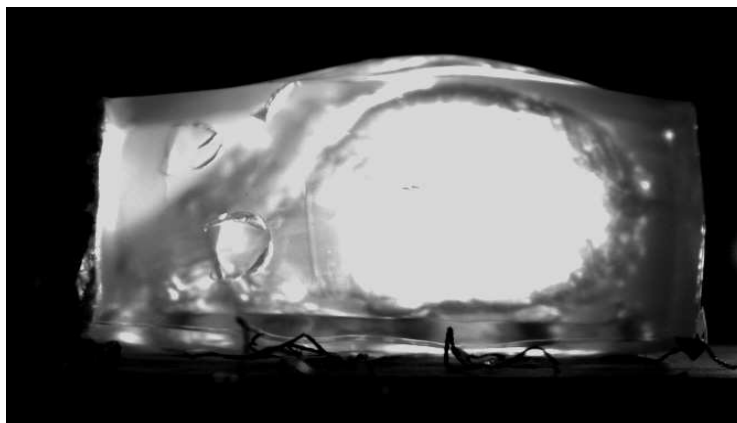


Fot.31. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm – 2 100 μ s po uderzeniu w blok



Fot.32. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm – 2 400 μ s po uderzeniu w blok

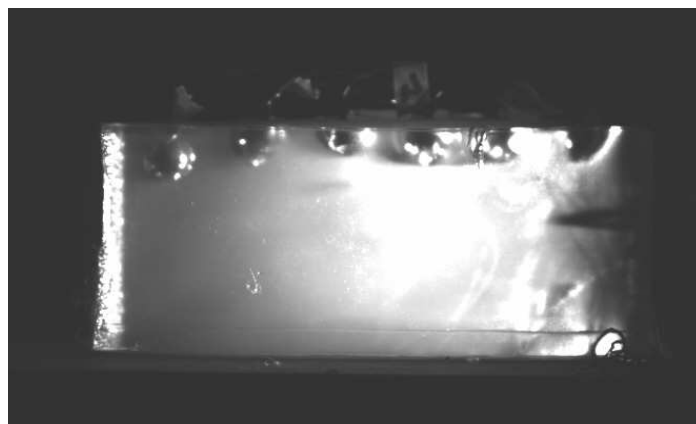
Po około 4 000 μ s kanał chwilowy osiąga swoją maksymalną średnicę około 97 mm(fot.33).Wartość maksymalna nadciśnienia generowanego przez poruszający się pocisk wynosi średnio 0,22 MPa.



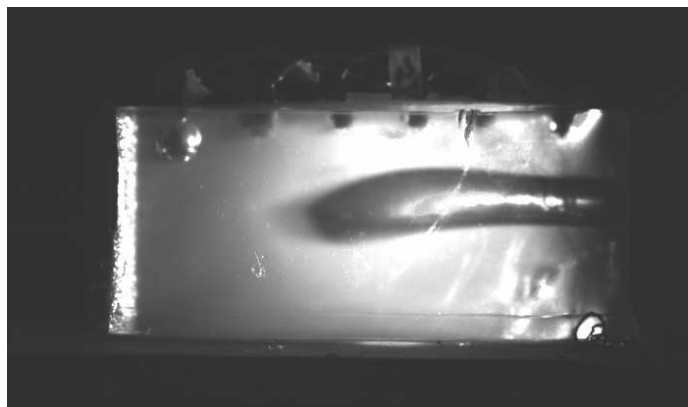
Fot.33. Penetracja 20% nieosłoniętego bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm –4000 μ s po uderzeniu w blok

Na fotografiach34-37 przedstawiono proces penetracji osłoniętego osłoną klasy 3 bloku żelatynowego przez pocisk kalibru 5,7 mm. Fotografia34 przedstawia moment przebicia osłony przez pocisk i początek penetracji bloku. Średnia prędkość pocisków amunicji użytej w badaniach w momencie uderzenia w osłonę wynosiła 650 m/s. Na fotografiach 35-37 pokazano dalszy przebieg penetracji bloku żelatynowego. Mechanizm penetracji jest podobny do opisanego powyżej mechanizmu penetracji bloku nieosłoniętego.

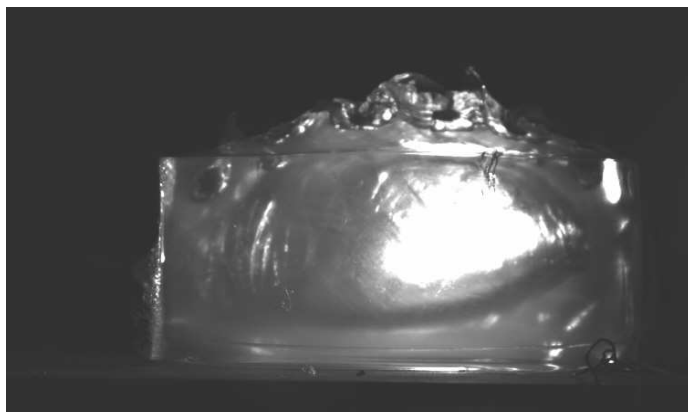
Z analizy danych wynika, że osłona klasy 3 nie stanowi istotnej przeszkody dla pocisków amunicji tego typu.



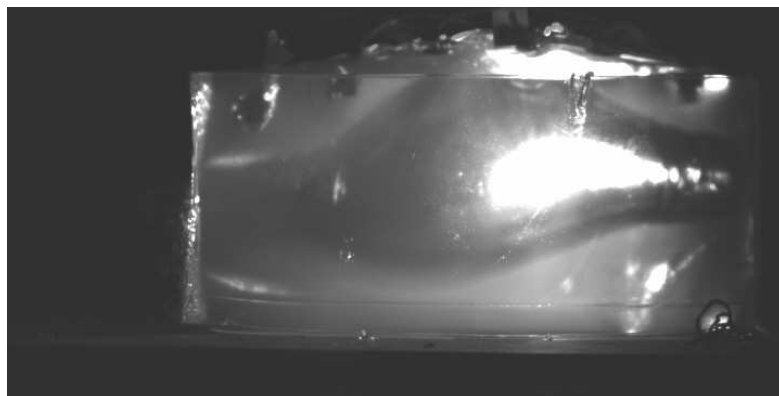
Fot.34. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego miękką osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm –90 μ s po uderzeniu w blok widoczne przebicie osłony



Fot.35. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego miękką osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm –200 ms po uderzeniu w blok

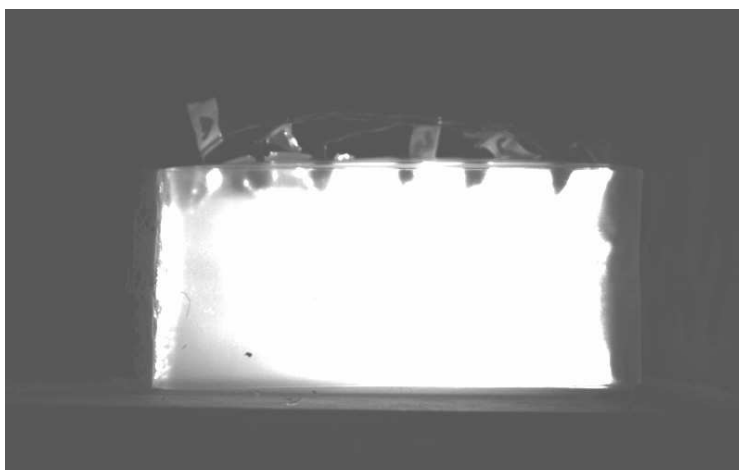


Fot.36. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego miękką osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm – chwila wylotu pocisku z przestrzelonego bloku



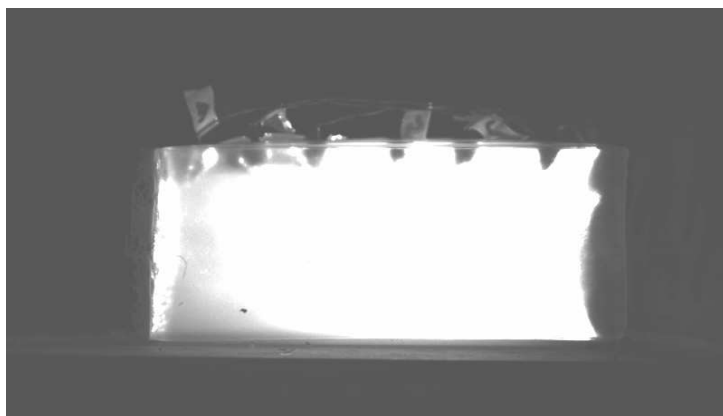
Fot.37. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego miękką osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm – chwila maksymalnego rozmiaru kanału chwilowego

Na fotografiach 38-39 przedstawiono wybrane wyniki badań oddziaływania pocisków amunicji kalibru 5,7 mm na cele o niskiej gęstości osłonięte osłoną balistyczną klasy 4 wg PN-V87000.



Fot.38. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego twardą osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm – chwila uderzenia w osłonę

Pocisk, po uderzeniu w osłonę, zostaje przez osłonę zatrzymany. Osłona odkształca się w głąb bloku. Po 2 730 μ s następuje maksymalne ugięcie dynamiczne osłony na głębokość 24mm ze średnią prędkością 7,17 m/s (fot.39).



Fot.39. Penetracja 20% bloku żelatynowego osłoniętego twardą osłoną balistyczną przez pocisk kalibru 5,7 mm – 2700 μ s po uderzeniu pocisku

Osłona zatrzymuje pociski, jednak następuje naruszenie ciągłości tylnej warstwy osłony, powodując oderwanie się pojedynczych fragmentów materiału osłony. Dokonana analiza rejestracji prób z 10% blokami żelatynowymi wykazała, że pociski w blokach 10% tracą znacznie mniej energii. Spowodowane jest to mniejszą gęstością ośrodka. Konsekwencją tego są większe rozmiary kanałów chwilowych ale i mniejsze uszkodzenia bloku w postaci kanału trwałego.

5. Wnioski

Analizując dostępne informacje i dane literaturowe nasuwa się wniosek, że poprawa poziomu ochrony balistycznej żołnierzy i funkcjonariuszy jest jednym z podstawowych problemów, które należy jak najszybciej rozwiązać.

Należy zastanowić się nad opracowaniem nowoczesnej metodyki badań osłon balistycznych. Dotychczas stosowane metodyki badań nie uwzględniają oddziaływania dynamicznego osłony na ciało użytkownika. Stosuje się jedynie kryterium mniejszego bądź większego dopuszczalnego ugięcia osłony. Podejście takie nie uwzględnia wielu czynników powodujących zranienia. Nie uwzględnia się prędkości dynamicznego odkształcania się osłon

i generowanego przez nie obciążenia tkanek. Uginająca się z dużą prędkością osłona, nawet przy założeniu, że ugnie się na dopuszczalną przez obowiązujące normy głębokość, generuje znaczne obciążenie tkanek, co w konsekwencji może prowadzić do poważnych obrażeń. Współczesna traumatologia opisuje przypadki, w których pomimo tego, że osłona balistyczna spełniła swoje zadanie i pocisk został zatrzymany, to na skutek dynamicznego oddziaływania osłony następowało pęknięcie organów wewnętrznych (płuc, wątroby, żołądka, śledziony). Dzięki prowadzeniu badań nowoczesnych osłon balistycznych, w sposób uwzględniający wpływ osłony na tkanki miękkie, będzie możliwa wielokryterialna optymalizacja konstrukcji osłon, w taki sposób, aby do minimum ograniczyć obrażenia wewnętrzne.

Kolejnym doświadczeniem z przeprowadzonych badań jest fakt, że bardzo dynamicznie rozwijająca się technologia amunicji fragmentującej nie jest w pełni bezpieczna. Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że zastosowanie niedostatecznych zabezpieczeń strzelnic może powodować znaczne zagrożenia dla użytkowników amunicji fragmentującej i osób postronnych. Przeprowadzone badania oddziaływania takiej amunicji na cele imitujące tkankę żywą pokazują, że w przypadku fragmentacji amunicja ta wywołuje rozległe i głębokie rany postrzałowe.

Literatura

- [1] L. D. Heaton, J. B. Coates, J. C. Beyer, *Wound Ballistics*, Medical department, United States Army, Washington 1962, <http://history.army.mil/booksdoc/wwii/woundblstcs/default.html>
- [2] R. Woźniak, W. Furmanek „*Wprowadzenie w technikę wojskową, Broń lufowa*”
- [3] L. Radziszewski „*Balistyka końcowa pocisków amunicji małokalibrowej przy strzelaniu do wybranych celów*”
- [4] *Emergency War Surgery*, Borden Institute Walter Reed Army Medical Center, Washington, DC 2004, wyd. 3, [www.brooksidepress.org/products/emergency%20War20%20Surgery/Table of Contents.pdf](http://www.brooksidepress.org/products/emergency%20War20%20Surgery/Table%20of%20Contents.pdf)
- [5] J. Jussila *Wound ballistic simulation: Assessment of the legitimacy of law enforcement firearms ammunitions by means of wound ballistic simulation*
- [6] G. Dyckmans, N. Ndompetelo, A. Chabotier, *Numerical and experimental study of the impact of small caliber projectiles on ballistic soap*, J. Phys. IV France 110 (2003)
- [7] P. G. Arvidsson, *Soldier lethality and wound ballistics from a Swedish perspective*, NDIA 51 Joint Services Small Arms Symposium, Atlantic City, 18.05.2005, www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/wednesday/arvidsson.pdf
- [8] www.gotavapen.se/gota/cbj/soap_proj1280.jpg
- [9] Nicholas N. C., Welsh J.R. *Ballistic Gelatin*, Institute for Non-Lethal Defense Technologies Report. February 2004
- [10] N. C. Nicholas, J. R. Welsh, *Ballistic Gelatin*, Applied Research Laboratory The Pennsylvania State University, 2004
- [11] Uzar Al., Dakak M., Ozer T., Oğünç G., Yiğit T., Kayahan C., Oner K., Sen D., *A new ballistic simulant „transparent gel candle” (experimental study)*, Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery 9(2): 104-6, 2003 April
- [12] Fackler M. L., Surinchak J. S., Malinowski J. A., Bowen R. E., *Bullet fragmentation: a major causa of tissue disruption*, Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care. 24(1), 1984
- [13] Fackler M. L., Malinowski J. A., *The wound profile: a visual method for quantifying gunshot wound components*, Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care, 25(6): 522-529 1985 Jun.

- [14] FBI Ballistic Test Protocol:
- [15] W. Furmanek, P. Kupidura, R. Woźniak, „Analiza konstrukcyjna amunicji strzeleckiej o ograniczonej strefie rażenia pod kątem jej przydatności w działaniach wojskowych i policyjnych”, Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej, Kołobrzeg, 2002,
- [16] J. Janiszewski, K. Rutyna, Z. Surma, W. Furmanek, *Badania pocisków fragmentujących*, Biuletyn WAT, Nr 2, 2007
- [17] G. Belanger et al., *Frangible practice ammunition*, United States Patent 5, 237, 930, 1993
- [18] H. L. West et al., *Lead-free frangible ammunition*, United States Patent 5, 616, 642, 1997
- [19] S. J. Bilsbury et al., *Low toxicity composite bullet and material therefore*, United States Patent 5, 665, 808, 1997
- [20] www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/frangible.htm
- [21] Ł. Kalinowski, *Badania technologiczne i balistyczne pocisków pistoletowych z kompozytu proszkowo – polimerowego*.
- [22] W. Furmanek, P. Kupidura, *Charakterystyka nowoczesnej ćwiczebno-pozoracyjnej amunicji ćwiczebnej i kierunki jej rozwoju*. Rozwój i modernizacja środków bojowych – IV Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna 20-21 września 2001 Skarżysko-Kamienna
- [23] J. Janiszewski, W. Furmanek, J. Kijewski, *Badania technologiczne fragmentującego się pocisku pistoletowego*. V międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia, Waplewo, 2004
- [24] T.L. Jones *Frangible and Nontoxic Ammunition*, www.policeandsecurity-news.com, 2003
- [25] W. Furmanek, J. Kijewski, *Badania efektów oddziaływania wybranych pocisków strzeleckich na przegrody o różnych właściwościach fizycznych*, rozprawa doktorska WAT 2006, Warszawa
- [26] J. MacDougall, A. Bernier, *Terminal effects of new small arms ammunition*, Int. Infantry & Joint Services Small Arms System Annual Symposium, NDIA 17 May 2005, www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/tuesday/macdougall.pdf
- [27] E. Włodarczyk *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*
- [28] J. Szadkowski, *Balistyka zewnętrzna, model balistyczny*, Kielce 2004