

Dr inż. P. Rybak

Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu
Wydział Mechaniczny
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
e-mail:prybak@wat.edu.pl

Obciążenia eksploatacyjne o charakterze udarowym działające na wyposażenie specjalne wozów bojowych

Operating loads of impulse nature acting on the special equipment of the combat vehicles

Słowa kluczowe: wyposażenie specjalne, wóz bojowy, obciążenie udarowe, badania

***Streszczenie:** Zapewnienie wozom bojowym wysokiej skuteczności działania, bezpieczeństwa oraz niezawodności podczas realizacji złożonych zadań jest traktowane priorytetowo. A zatem uzbrojenie i sprzęt wojskowy musi spełniać bardzo wysokie wymagania w tym aspekcie podczas eksploatacji w różnych warunkach. W pracy przedstawiono podstawowe źródła obciążeń dynamicznych działające na wozy bojowe. Uwagę skupiono na obciążeniach mających charakter udarowy, gdyż one głównie wpływają na sprawność i niezawodność pojazdu, urządzeń wewnętrznych i stan psychofizyczny załogi. Obciążenia te wynikają z jazdy terenowych, strzelania z armaty, oddziaływania miny lub IED, trafienia pociskiem przeciwnika. W rezultacie przedstawiono niektóre fragmenty z badań eksperymentalnych i modelowych wozów bojowych. Wyniki tych badań mogą być pomocne przy projektowaniu urządzeń wewnętrznych pojazdu w tym urządzeń specjalnych. Szczególnie w aspekcie wymagań normatywnych dla tej klasy pojazdów oraz ich urządzeń specjalnych.*

Keywords: special equipment, combat vehicle, main battle tank, impact loads, research

***Abstract:** Providing the combat vehicles with high operation effectiveness, safety and reliability during execution of complex tasks makes a priority. Therefore the armament and the military equipment have to meet very high requirements in that aspect when used in various conditions. This paper presents basic sources of dynamic loads affecting the combat vehicles. Attention is paid to the loads of impact nature as they mostly affect the effectiveness and reliability of a vehicle, electronic equipment and psychophysical condition of the combat vehicle crew. These loads result from off-road drives, firing the gun, the influence of the land mines or IED, hitting by enemy's missile. As a result, some fragments of the experimental and model tests on combat vehicles are presented. Results of these tests can be helpful when designing internal vehicle equipment including special equipment. Particularly in the aspect of normative requirements for that class of vehicles and their special equipment.*

1. Wprowadzenie

Wozy bojowe (gąsienicowe lub kołowe), jako podstawowy środek realizacji zadań przez wojska, przewidziane są do wykonywania zadań specjalnych w złożonych warunkach eksploatacji. Poruszając się po drogach i głównie bezdrożach poddawane są oddziaływaniom

dynamicznym w sposób ciągły [4, 6, 11]. Obciążenia te mają bardzo złożoną strukturę i różnią się pomiędzy sobą wieloma czynnikami, w tym między innymi wartością, charakterem, czasem trwania, intensywnością jak i kierunkiem działania. Poziom obciążeń dynamicznych jest zdeterminowany wzajemnym oddziaływaniem złożonego układu, na który składają się następujące elementy, mianowicie: wóz bojowy – wyposażenie wewnętrzne – otaczające środowisko (podłoże) – członkowie załogi [1, 2, 15]. Schemat wzajemnego oddziaływania elementów wymienionego systemu przedstawiono na rys. 1.

Głównymi czynnikami wywołującymi podczas jazdy obciążenia dynamiczne, które działają na pojazdy mechaniczne, a w tym na wyposażenie wewnętrzne i ludzi w nich znajdujących się, są:

- duże opory jazdy o znacznej częstotliwości zmian – rodzaj gruntu i wynikające reakcje siłowe,
- obciążenia dynamiczne wynikające z jazdy z dużymi prędkościami po różnych drogach (w tym podczas pokonywania przeszkód naturalnych oraz sztucznych) – rys. 2a,
- oddziaływania sił bezwładności (gwałtowne przyspieszanie i opóźnianie ruchu, jazda po łuku drogi, zarzucanie itd.) – rys. 2b,
- silnik, układ napędowy i układ jezdny.

W pojazdach gąsienicowych ze względu na złożoność konstrukcji układu jezdnego, generowane są obciążenia będące wynikiem:

- współpracy taśm gąsienic z kołami napędowymi,
- falowania górnych odcinków gąsienic,
- realizacji ruchu wężykowatego, krótkich skoków – jako elementów obrony czynnej.

Rys. 1. Schemat wzajemnego oddziaływania w układzie wóz bojowy – człowiek – wyposażenie wewnętrzne – otoczenie

a) dynamiczne pokonywanie skarpy [3]

b) pokonywanie rowu poprzecznego

Rys. 2. Wozy bojowe podczas jazdy w typowych warunkach drogowych

W wozach bojowych dochodzą dodatkowe źródła obciążeń dynamicznych wynikające z działań bojowych. Są to obciążenia o charakterze udarowym, o różnym kierunku i jak intensywności działania. Można do nich zaliczyć:

- Strzelanie z armaty (rys. 3); poziom udaru zależy od kalibru i rodzaju armaty, typu pocisku, stanu oporopowrotników i in. Obciążenie przy wystrzale osiąga w ułamku sekundy wartość do kilkuset kN generując siłę odrzutu. Siła ta działa na wieżę czołgu, a tym samym na urządzenia wewnętrzne oraz kadłub i załogę. Przybliżoną wartość siły odrzutu armaty czołgowej można określić wg hipotezy Vallier'a [19], z zależności

$$R_0 = \frac{0.5 \cdot M_o \cdot w_{max}^2}{\lambda - L_k + w_{max} \cdot t_p} \text{ [kN]}, \quad (1)$$

gdzie: M_o – masa zespołu odrzutowego [kg], λ – założona długość odrzutu [m], w_{max} – maksymalna prędkość odrzutu swobodnego [m/s], L_k – droga odrzutu swobodnego w końcu okresu powylotowego działania gazów prochowych, t_p – czas zakończenie powylotowego działania gazów prochowych [s].

Rys. 3. Strzelanie z armaty czołgowej

- Uderzenie pocisku lub odłamka w pancerz, bez przebicia. Skutek uderzenia przedstawiono na rys. 4. Energia uderzającego elementu może osiągnąć wartość od kilku do kilkunastu MJ. Wg [5, 7] energię uderzenia można wyznaczyć z zależności

$$E_p = \frac{m_p \cdot V_p^2}{2} \text{ [MJ]} \quad (2)$$

gdzie: m_p – masa pocisku, V_p – prędkość wylotowa pocisku.

- Oddziaływanie czynników rażących po wybuchu min i improwizowanych ładunków wybuchowych (IED). W przypadku obciążenia falą uderzeniową wygenerowaną wybuchem miny, według schematu jak na rys. 5, wartość maksymalnego ciśnienia działającego na pojazd można oszacować wg [Kozłow A. G., Tału K. A., *Konstrukcja i obliczanie czołgu*. Moskwa 1958] z zależności

$$p = 60\psi \frac{m_{MW}^{0,87}}{2,6} (1 + \cos\Theta) \text{ [Pa]}, \quad (3)$$

gdzie: m_{MW} – masa materiału wybuchowego, r – odległość od centrum wybuchu, Θ – kąt spotkania fali uderzeniowej z dnem czołgu, ψ – współczynnik uwzględniający głębokość umieszczenia miny w gruncie i straty energii na oddziaływanie fali uderzeniowej z gruntem i gaśnicą (jeśli wybuch jest pod gaśnicą).

Wymienione obciążenia odnoszą się do pojazdów działających w obszarze bezpośredniego zagrożenia i dotyczą głównie czołgów, wozów bojowych piechoty, kołowych transporterów opancerzonych i innych aplikacji budowanych na ich podwoziach.

Na rys. 6 przedstawiono rozmieszczenie, w nadwoziu wozu bojowego, urządzeń specjalnych względem środka masy C.

Rys. 4. Pancerz po uderzeniu pocisku (pancerz po badaniach w Instytucie Pojazdów Mechanicznych WME WAT) – fot. ze zbiorów własnych

Rys. 5. Schemat usytuowania miny względem pojazdu

Rys. 6. Rozmieszczenie wyposażenia specjalnego w wozie bojowym

Znajdują się one w znacznej od niego odległości, w zależności od typu pojazdu od 800 mm nawet do 2500 mm. Takie położenie urządzeń ma istotny wpływ na poziom obciążeń dynamicznych.

Podczas tworzenia nowego pojazdu lub modernizacji istniejącego prowadzi się szereg prac projektowych mających na celu podwyższenie jego efektywności oraz odporności. Realizuje się wielowariantowe i wieloaspektowe badania modelowe dla przewidywanych obciążeń. Jednakże jakość, trwałość oraz niezawodność wprowadzonych rozwiązań i funkcjonowanie urządzeń można ocenić dopiero po wykonaniu badań eksperymentalnych spełniających wymagania normatywne [10]. W pracy przedstawiono wybrane fragmenty

z wykonanych badań eksperymentalnych wozów bojowych poddanych różnym obciążeniom udarowym. Ich wyniki są dobrą podstawą i mogą być pomocne przy projektowaniu dla pojazdów urządzeń o podwyższonej odporności na udary mechaniczne. Należy podkreślić, że prace związane z badaniem i oceną skutków oddziaływania obciążeń dynamicznych na pojazdy mechaniczne (tak krótko i jak długotrwałych) realizowane są od lat zarówno w ośrodkach krajowych jak i zagranicznych, przedstawione m. in. w [6, 8, 9, 13]. Jednakże publikowane rezultaty odnoszą się do innego aspektu (oddziaływania obciążeń na ludzi) oraz innej kategorii pojazdów (pojazdy lekkie). W odniesieniu do pojazdów ciężkich informacje o pracach w tym obszarze są trudno dostępne i nie do ogólnej wiadomości. Stąd też w pracy podjęto próbę przedstawienia problemu oddziaływania obciążeń o charakterze udarowym na wóz bojowy (czołg) i jego wyposażenie wewnętrzne podczas różnych warunków eksploatacji. Podjęcie tego problemu wynika również z faktu takiego, iż załoga czołgu bez poprawnie działających urządzeń wyposażenia wewnętrznego (w tym specjalnego) nie reprezentuje pełnowartościowego środka bojowego.

Ze względu na wykorzystane wozy bojowe i zakres zrealizowanych badań (parametry, warunki), uzyskane rezultaty cechują się pewną wrażliwością co powoduje, iż mają one charakter jakościowych.

2. Badania eksperymentalne oddziaływania ударów na kadłub wozu bojowego

2.1. Badania podczas jazd terenowych

Badania obciążeń zrealizowano, na terenie WAT, w dwóch etapach. Pierwszy etap obejmował jazdy badawcze z zadanymi prędkościami przez pojedyncze pryzmy trójkątne o zadanych parametrach geometrycznych. Na rys. 7 a i b przedstawiono wybrane przebiegi przyspieszeń pionowych przedniej części kadłuba czołgu dla różnych stanów początkowych gaśnicowego układu jezdnego. Drugi etap zrealizowano podczas jazd po drodze gruntowej średnio pofałdowanej.

Rys. 7. Przebiegi przyspieszeń pionowych kadłuba czołgu, przejazd przez pryzmę trójkątną o wysokości 170 mm i długości l_0 z prędkością $v=5.56\text{m/s}$: a) i b) odpowiadają różnym stanom gaśnicowego układu jezdnego

W tabeli 1 zestawiono wartości przyspieszeń pionowych zarejestrowane w przedniej części kadłuba czołgu dla różnych prędkości jazdy.

Tabela 1. Wartości maksymalne przyspieszeń pionowych przedniej części kadłuba czołgu podczas jazd terenowych po drodze gruntowej średnio pofałdowanej

Lp.	Prędkość jazdy V [m/s]	Przyspieszenie pionowe kadłuba z_k [m/s ²]
1.	2,78	9,9
2.	4.17	14,7
3.	5,56	16,6

Analiza uzyskanych rezultatów badań jednoznacznie wskazuje jakie czynniki determinują poziom obciążenia dynamicznego. Zarówno stan gaśnicowego układu jezdnego, wzrost prędkość jazdy i rodzaj drogi oraz stopień jej pofałdowania mają istotny wpływ na wzrost obciążeń dynamicznych. Dla bezdroży o dużych, losowo rozłożonych

nierównościach i wyższych prędkościach jazdy (od 8 do 15 m/s) poziom obciążeń, w tym przypadku impulsowych, może wielokrotnie przewyższyć wartości zawarte w tabeli.

Jeśli do analizy przyjmie się wariant jazdy po zaoranym i zmrożonym gruncie lub w terenie o podłożu kamienistym lub skalistym (gruzowiska) to istotne znaczenie, w aspekcie poziomu obciążeń dynamicznych, ma typ układu jezdnego pojazdu. Wyniki przeprowadzonych badań wykazują przewagę gaśnicowego układu jezdnego (charakteryzującego się własnością wygładzania nierówności) nad kołowym układem jezdnym.

2.2. Badania przy oddziaływaniu na pojazd wybuchu miny

Pojawienie się wśród środków przeciwpancernych min o działaniu niekontaktowym oraz improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED) spotęgowało problem odporności wozów bojowych i wyposażenia. Podstawowym czynnikiem rażenia min i IED jest ciśnienie fali uderzeniowej wybuchu rozchodzące się z prędkością ponaddźwiękową. Fala działa na napotkaną przeszkodę, w tym przypadku kadłub wozu bojowego. W efekcie powoduje deformację jego elementów często takich, że pojazd może być wyeliminowany z dalszych działań. O takich środkach porażających mówi się, że są "humanitarnymi", ponieważ ich główny czynnik rażenia nie działa bezpośrednio na członków załogi wozów bojowych, tylko na jego strukturę i wyposażenie wewnętrzne.

Warunkiem koniecznym dla zminimalizowania strat w pojazdach przeznaczonych do wykorzystania na konwencjonalnym i niekonwencjonalnym polu walki jest prowadzenie badań zmierzających do określenia poziomu obciążeń i identyfikacji skutków działania udarów od min i IED. Badania teoretyczne i praktyczne powinny być realizowane w sposób niemalże ciągły, struktur nośnych i urządzeń wrażliwych i w efekcie dla pojazdów kompletnych. Łatwe do zrealizowania badania teoretyczne mają tym większą wagę, gdy są zweryfikowane eksperymentalnie. To było jedną z przyczyn zrealizowania badań eksperymentalnych, których rezultaty przedstawiono poniżej.

Celem głównym przeprowadzonych badań eksperymentalnych, w warunkach poligonowych było oszacowanie poziomu obciążeń udarowych działających na kadłub i wyposażenie wozu bojowego podczas wybuchu niekontaktowej miny przeciwdennej. Wygenerował on cele cząstkowe, które można sprowadzić do uzyskania:

- informacji o rozkładzie ciśnienia w silnie ograniczonej przestrzeni (pomiędzy dnem pojazdu a podłożem), m.in. w aspekcie weryfikacji modelu matematycznego rozchodzenia się powybuchowej fali uderzeniowej pomiędzy dnem wozu bojowego a podłożem i elementami mechanizmu gaśnicowego);
- danych o poziomie obciążeń kadłuba gaśnicowego wozu bojowego i istotnych elementów wyposażenia wewnętrznego;
- informacji o poziomie ciśnienia w przedziale załogowym wozu bojowego;
- wiadomości o skutkach działania wybuchu niekontaktowych min przeciwdennych na wyposażenie wewnętrzne pojazdu.

Zakres badań obejmował pomiar i rejestrację następujących sygnałów:

- ciśnienia na elementach kadłuba, w wybranych punktach,
- odkształceń dna kadłuba,
- przyspieszeń pionowych kadłuba i kierowcy.

Do badań wykorzystano wozy bojowe reprezentatywne dla pojazdów klasy czołg. Sylwetkę jednego z nich, wykorzystanego do badań, przedstawiono na rys.8. Źródłem obciążenia były miny z plastycznym materiałem wybuchowym PMW-8 (o masie m_{MWi}) uformowane półsferycznie. Kształt ładunku i sposób ułożenia pod pojazdem przedstawiono

na rys. 9. Minę umieszczano na podłożu w odległości h_i od dna, w osi podłużnej stojącego pojazdu, przy pierwszych lub pomiędzy pierwszymi a drugimi kołami nośnymi.

Rys. 8. Sylwetka obiektu badań

Rys. 9. Przykład ułożenia ładunku materiału wybuchowego pod pojazdem w jego osi podłużnej

Wyniki badań

Na rys. 10 przedstawiono wybrane chwile z badań. Natomiast na rys. 11 i 12 przedstawiono przebiegi czasowe ciśnień działających na elementy kadłuba pojazdu, odkształceń jego dna oraz przyspieszeń pionowych elementu kadłuba podczas wybuchu ładunku o masie m_{MWi} .

a)

b)

Rys. 10. Wybrane chwile z badań eksperymentalnych oddziaływania ładunków wybuchowych na wozy bojowe

Rys. 11. Ciśnienia w wybranych punktach kadłuba w odległości R_i od źródła wybuchu – ładunku o masie m_{MW1} , gdzie $R_1 < R_2 < \dots < R_5$

Rys. 12. Przebieg przyspieszeń pionowych części kadłuba podczas wybuchu ładunku o masie m_{MW1}

Na rys. 13 i 14 przedstawiono przebiegi czasowe ciśnień zarejestrowane na powierzchni dna kadłuba wozu bojowego, w punktach odległych od epicentrum wybuchu odpowiednio o R_1 oraz R_2 , dla dwóch prób, w obydwu z ładunkiem materiału wybuchowego o masie m_{MW3} ($m_{MW3} > m_{MW1}$).

a) R_1

b) R_2

Rys. 13. Przebiegi ciśnień w wybranych punktach dna dla ładunku m_{MW3} , prześwit h , próba 3

a) R_1

b) R_2

Rys. 14. Przebiegi ciśnień w wybranych punktach dna dla ładunku m_{MW3} , prześwit h , próba 4

Przedstawione przebiegi ciśnień fali uderzeniowej dla kolejnych prób mają bardzo zbliżony charakter i bliskie sobie wartości szczytowe. Świadczy to o dużej powtarzalności uzyskanych rezultatów. Efektem oddziaływania tak wysokich ciśnień jest udar mechaniczny jedno lub wielokrotny. Amplituda udaru może przekroczyć normatywne wartości dopuszczalne dla urządzeń specjalnych lub innych. Skutek oddziaływania ładunków wybuchowych na struktury nośne wozów bojowych i na wyposażenie wewnętrzne zależy od wielu czynników, z których każdy może mieć wpływ dominujący jak i nieznaczny. Do najważniejszych z nich należy jednak zaliczyć masę ładunku i jego odległość od kadłuba. Pozostałe czynniki takie jak rodzaj materiału wybuchowego, prześwit pojazdu, położenie względem struktury nośnej, konstrukcja układu jezdnego mogą mieć znaczenie wtórne.

2.3. Badania przy strzelaniu z uzbrojenia głównego

Podczas strzelania z armaty (rys. 15) poziom obciążeń zależy m. in. od następujących czynników kalibru armaty, rodzaju pocisku.

Rys. 15. Strzelanie z armaty w kierunku prostopadłym do osi wzdłużnej

Siła odrzutu armaty oddziałuje poprzez oporopowrotniki na wieżę i zamontowane w niej wyposażenie wewnętrzne (takie jak celownik, dalmierz, przelicznik balistyczny, przyrządy obserwacyjne dzienne i nocne, środki łączności i inne) oraz poprzez łożysko oporowe na kadłub. Uzyskane z badań eksperymentalnych wyniki [16, 17, 18] – przykładowe przebiegi przyspieszeń działające na armatę, elementy wieży oraz środek masy pojazdu – przedstawiono na rys. 16 i 17. Przebiegi przedstawione na rys. 16 odnoszą się do strzelania pociskiem odłamkowym, a na rys. 17 do strzelania pociskiem podkalibrowym.

Rys. 16. Przebiegi przyspieszeń działające na wieżę pojazdu podczas strzelania z armaty pociskiem odłamkowym

Rys. 17. Przebiegi przyspieszeń działające na wieżę pojazdu podczas strzelania z armaty pociskiem podkalibrowym

Zauważa się znaczne wartości przyspieszeń działające na w/w elementy, a w efekcie na wyposażenie wewnętrzne. Maksymalne wartości przyspieszeń wzdłużnych armaty osiągają poziom bliski 2500m/s^2 , wieży ponad 700m/s^2 natomiast środka masy ponad 800m/s^2 , który jest położony poniżej osi czopów armaty. Należy podkreślić, że wielkość udaru działającego na elementy kadłuba i wieży zależy nie tylko od rodzaju pocisku, ale również od stanu technicznego węzłów mocowania i jakości oporopowrotników.

3. Badania modelowe

Efektom działania pocisku na pojazd jest na ogół jego wyeliminowanie z dalszych działań, często zniszczenie. Jedną z metod kształtowania odporności struktur nośnych i wyposażenia wewnętrznego są badania modelowe. Są one realizowane na modelach w pełni odwzorowujących pojazdy rzeczywiste. Modele można wielokrotnie wykorzystywać oraz wielowariantowo analizować, aż do uzyskania konstrukcji spełniającej w całości stawiane wymagania odpornościowe. Spośród różnych możliwych wariantów wybrano te, które

w praktyce zdarzają się najczęściej. Analizowano warianty uderzenia pocisku w wieżę lub przednią część kadłuba czołgu. Pocisk nie powoduje przebicia pancerza lecz więźnie w jego materiale lub rykoszetuje. Wówczas cała lub znaczna część energii pocisku w sposób dynamiczny (udarowy) przekazywana jest pośrednio lub bezpośrednio strukturze nośnej pojazdu. W efekcie udar oddziałuje na znajdujące się w niej wyposażenie wewnętrzne. Poziom obciążenia pojazdu zależy od kalibru armaty, długości przewodu lufy, rodzaju pocisku oraz prędkości początkowej, kąta uderzenia, miejsca uderzenia, położenia przyjętego do analizy węzła konstrukcji itp. Przedstawione na rys. 18 przebiegi czasowe przyspieszeń wzdłużnych odnoszą się do przypadku uderzenia pocisku w wieżę czołgu, o masie ok. 40000kg, rykoszetującym pociskiem wystrzelonym z armaty o kalibrze 120mm.

Rys. 18. Przyspieszenia wzdłużne w wybranych węzłach nadwozia czołgu po trafieniu pociskiem nie powodującym przebicia: 1 – środek masy wieży, 2 – środek masy kadłuba czołgu, 3 – kierowca, 4 – podłoga pod siedziskiem kierowcy

Podczas użytkowania gąsienicowych wozów bojowych, w czasami nieprzewidzianych warunkach, mogą się również zdarzyć bardziej złożone przypadki obciążenia, co po części przedstawia rys. 19 – strzał z armaty własnej podczas pokonywania przeciwnkarpy.

Rys. 19. Gąsienicowy wóz bojowy podczas jazu w złożonych warunkach eksploatacji

Na tego typu obciążenie mogą się składać łącznie wymuszenia od nierówności drogi, strzelania z armaty własnej, oddziaływanie pocisku przeciwnika, wybuch miny przeciwpancernej lub improwizowanego ładunku wybuchowego.

4. Wnioski końcowe

Obciążenia dynamiczne działające na urządzenia specjalne, jak wykazano, charakteryzują się dużą zmiennością zarówno w odniesieniu do wartości jak i do kierunku działania (pionowe, wzdłużne i poprzeczne).

Maksymalne wartości udarów mechanicznych działające na urządzenia specjalne wozów bojowych niekiedy znacznie przewyższają poziom normatywnych i w przyszłości mogą osiągać jeszcze większe wartości. Jest to konsekwencją ciągłej rywalizacji pomiędzy pociskiem a pancerzem.

Mocowanie wyposażenia specjalnego do struktury nośnej wozów bojowych nakłada na projektantów i wytwórców w/w urządzeń stosowania w nich rozwiązań podwyższających odporność udarową i małą wrażliwość na wartość amplitudy wymuszenia, kierunek jego działania oraz pasmo częstotliwości.

Literatura

1. Borkowski W, Rybak P. Modelling of impact strength on combat vehicles. Journal of Kones Powertrain and Transport 2007: 1: 121-130.
2. Borkowski W, Rybak P, Michałowski B, Hryciów Z. Badania odporności udarowej kadłuba pojazdu specjalnego. Teza Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków 2008: 29-36.

3. Borkowski W, Rybak P. Dynamic load in operation of high-speed tracked vehicles. *Journal of Kones Powertrain and Transport* 2009; 4(16): 17-22.
4. Burdziński Z. Teoria ruchu pojazdu gąsienicowego. Warszawa: WKiŁ, 1972.
5. Carlucci D.E., Jacobson S.S. Ballistic. Theory and design of guns and ammunition. CRC Press © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
6. Jamroziak K, Kosobudzki M, Ptak J. Assessment of the comfort of passenger transport in special purpose vehicles. *Eksploatacja i niezawodność* 2013; 1: 25-30.
7. Koszycki T, Kraszewski E. Konstrukcja i obliczanie czołgu cz. I. Warszawa: WAT, 1970.
8. Larcher M. Simulation of the effects of air blast wave. Luxemburg Office of Official Publications of the European Communities 2007.
9. Larsen M D, Jorgensen K C. Landmine protection of armoured personnel carrier M113, 6th European Ls-Dyna Users Conference, Gothenburg 2007.
10. Ministerstwo Obrony Narodowej. Normy Obronne NO-06-A103 i NO-06-A107. Warszawa: MON, 2005.
11. Prochowski L, Rybak P. Analiza wpływu napięcia gąsienicy na obciążenia dynamiczne załogi czołgu. *Biuletyn WAT* 1992; 11: 55-73.
12. RTO Technical Report TR-HFM-090. Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular. Landmine Effects. France: RTO/NATO, 2007.
13. Rust M. Passive Protection Concept. 33 Protection Technologies, 2009.
14. Rybak P, Badania eksperymentalne oddziaływań niekontaktowych min przeciwdennych na strukturę nośną pojazdu gąsienicowego. *Archiwum Motoryzacji* 1997; 3-4: 117-129.
15. Rybak P, Papliński K. Obciążenia udarowe kadłuba wozu bojowego a granice odporności człowieka. *Journal of Kones Powertrain and Transport* 2007; 1: 331-342.
16. Rybak P, Borkowski W, Wysocki J, Hryciów Z, Michałowski B. Badania modelowe lekkiego czołgu na bazie wielozadaniowej platformy bojowej. *Biuletyn Naukowo-Techniczny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Urzędzeń Mechanicznych – „OBRUM” Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe* 2011; 2: 39-58.
17. Rybak P, Borkowski W, Wysocki J, Hryciów Z, Michałowski B. Badania eksperymentalne lekkiego czołgu na bazie wielozadaniowej platformy bojowej. *Biuletyn Naukowo-Techniczny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Urzędzeń Mechanicznych – „OBRUM” Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe* 2011; 2 : 59-60.
18. Rybak P, Borkowski W, Hryciów Z, Michałowski B, Wysocki J. Czołg lekki na bazie wielozadaniowej platformy bojowej” Anders”. Praca zbiorowa pod redakcją A. Najgebauera „Technologie podwójnego zastosowania” – wybrane technologie Wojskowej Akademii Technicznej. Warszawa 2012; WAT: 467-477.
19. Wasserman E. Zasady projektowania broni artyleryjskiej. Warszawa: WAT, 1968.