

**Jerzy Walentynowicz, Grzegorz Trawiński,  
Marcin Wieczorek, Grzegorz Dya**

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu

00-908 Warszawa, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2

e-mail: jwalentynowicz@wat.edu.pl; gtrawinski@wat.edu.pl; mwieczorek@wat.edu.pl;

gdyga@wat.edu.pl

## **STANOWISKO BADAWCZE DO OCENY STANU TECHNICZNEGO PRZEKŁADNI MOSTÓW NAPĘDOWYCH KTO ROSOMAK**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono metody badań mostów napędowych pojazdów mechanicznych. Sformułowano założenia do budowy stanowiska badawczego mostów napędowych KTO Rosomak wykorzystującego wyposażenie hamowni silnikowej. Podano proponowaną konfigurację stanowiska badawczego, metodykę i zakres badań mostów napędowych tego pojazdu.

#### Słowa kluczowe:

mosty napędowe, ocena stanu technicznego, stanowisko badawcze, KTO Rosomak.

### **WSTĘP**

Użytkowane w Afganistanie przez Wojsko Polskie transporterzy Rosomak narażone są na oddziaływanie improwizowanych ładunków wybuchowych (IED — *Improvised Explosive Device*) umieszczanych na drodze przejazdu transporterów. Skutkiem ich wybuchów są uszkodzenia zespołów układu napędowego i jezdnych transporterów. Często po wybuchu miny mechanizmy te nie mają widocznych zewnętrznych uszkodzeń, lecz mogą być uszkodzone wewnątrz. Stąd potrzeba dokładnego sprawdzenia ich stanu technicznego. Aby tego dokonać, konieczne jest

obciążenie tych zespołów momentem zbliżonym do momentu występującego w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Powszechnie prowadzone badania mostów napędowych obejmują pomiary sprawności mechanicznej mostu, momentu tarcia wewnętrznego mechanizmu różnicowego i rozdziału momentu obrotowego na półosie napędowe. Prowadzone są także badania działania mostów i ich trwałości [8, 9]. Podczas tych badań stosowane są dwa rodzaje stanowisk pomiarowych: z otwartym oraz z zamkniętym obiegiem mocy. Stanowiska z otwartym obiegiem umożliwiają zróżnicowanie zadawanych obciążeń na poszczególne półosie przez dwa hamulce oraz wyznaczenie momentu tarcia wewnętrznego mechanizmu różnicowego. Stanowiska z zamkniętym obiegiem mocy umożliwiają zastosowanie do obciążenia tylko jednego hamulca dzięki połączeniu półosi badanego mostu przez specjalne reduktory oraz układy różnicujące prędkość obrotową silnika. Do napędu i obciążenia mostów są stosowane najczęściej maszyny elektryczne zasilane z sieci elektrycznej laboratorium i dlatego ich moc jest na ogół ograniczona parametrami silnika, a przede wszystkim obciążalnością sieci elektrycznej. Większą moc można byłoby uzyskać, stosując silniki spalinowe do napędu stanowiska

Celem prezentowanej pracy było opracowanie możliwie prostego stanowiska badawczego do szybkiej weryfikacji stanu technicznego i przydatności do dalszej eksploatacji przekładni głównych mostów napędowych KTO Rosomak z pojazdów uszkodzonych wybuchami min. Założono potrzebę uzyskania jak największego momentu obrotowego przenoszonego przez przekładnię, a jednocześnie zminimalizowanie kosztów budowy takiego stanowiska.

## **BUDOWA STANOWISKA BADAWCZEGO**

Podczas projektowania stanowiska do badania przekładni głównych mostów napędowych KTO Rosomak przyjęto następujące założenia:

- maksymalne wykorzystanie podzespołów istniejących stanowisk i urządzeń hamowni;

- zapewnienie warunków badania przekładni głównej i mechanizmu różnicowego w warunkach zróżnicowanych obciążeń, porównywalnych z obciążeniami występującymi podczas jazdy transportera;
- zapewnienie wymaganego kierunku obrotów wału wejściowego zgodnych z obrotami hamulca elektrowirowego;
- dostosowanie wymiarów stanowiska do wymiarów i rozwiązań fundamentów hamowni.

Jako źródło napędu skrzyń przekładniowych stanowiska przyjęto dostępny silnik S-359 samochodu Star 266 ze skrzynią biegów, a do obciążenia mostów napędowych zastosowano hamulec elektrowirowy W-230 firmy Schenck.

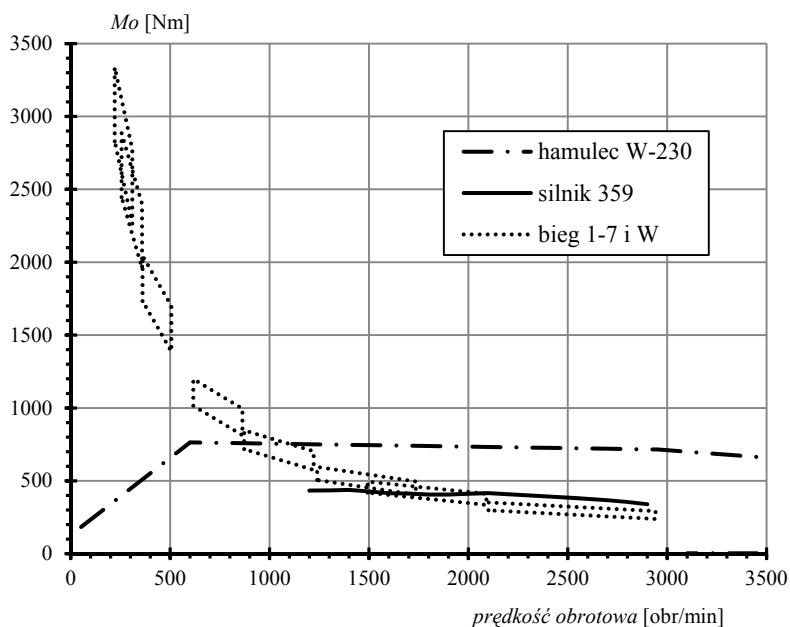
Analiza charakterystyki zewnętrznej silnika S-359 oraz charakterystyki pola pracy hamulca elektrowirowego W-230 z obliczonymi wartościami obciążeń mostów napędowych występującymi przy równomiernym rozdziale mocy na poszczególne cztery półosie napędowe, w eksploatacyjnym zakresie prędkości obrotowej silnika transportera dla zakresu eksploatacyjnego i bojowego, wykazała ich niedopasowanie (rys. 1.). W przypadku bezpośredniego zastosowania silnika S-359 do napędu mostów napędowych przekładnie mostowe byłyby napędzane momentem mniejszym od momentu występującego podczas eksploatacji transportera po włączeniu najczęściej stosowanych przełożeń skrzyni biegów (od I do IV). Jednocześnie moment obciążający hamulec, szczególnie w zakresie małej prędkości obrotowej, wynikający z charakterystyki hamulca byłby mniejszy od momentu wynikającego z oporów ruchu transportera w zakresie małej prędkości jazdy transportera.

Wymienione ograniczenia w bezpośrednim zastosowaniu silnika S-359 i hamulca elektrowirowego W-230 na stanowisku badawczym spowodowały zastosowanie skrzyń biegów z samochodu STAR — jedną po stronie silnika, zmniejszającą prędkość i zwiększającą moment obrotowy, a drugą po stronie hamulca, która zwiększała prędkość obrotową wału wyjściowego, niezbędną do działania hamulca. Uwzględniając także inne przyjęte założenia (ograniczenia) projektowe, opracowano cztery warianty konfiguracji stanowiska (rys. 2.).

W wariantach stanowiska badawczego pokazanych na rysunkach 2a i 2b moc przekazywana jest ze skrzyni biegów na wał wejściowy przekładni wybranego, przelotowego mostu napędowego (drugiego lub trzeciego). Wyjścia mechanizmu

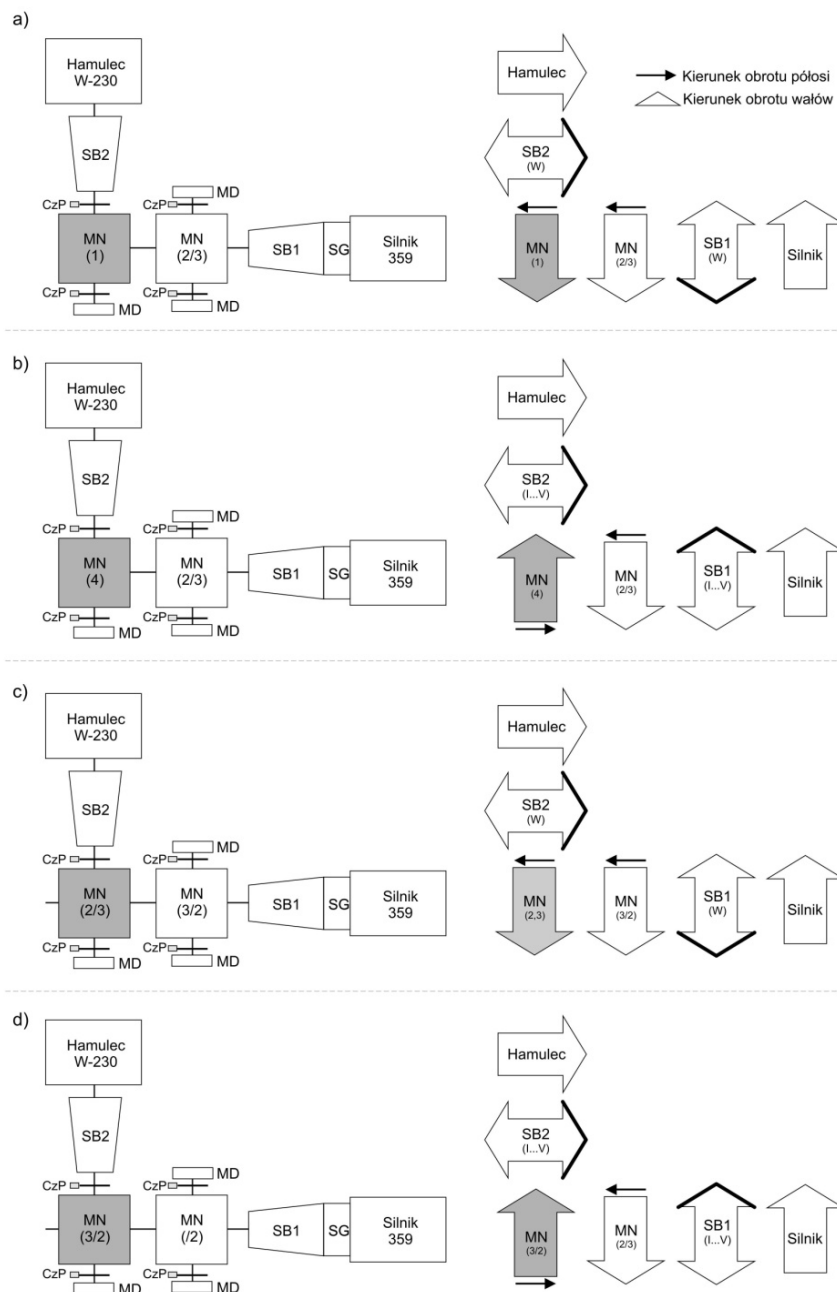
różnicowego mostu są obciążone masami MD. Moc z przekładni mostu napędowego przekazywana jest bez zmiany momentu i prędkości obrotowej na wał wejściowy przekładni nieprzelotowego mostu napędowego: pierwszego (wariant pierwszy) lub czwartego (wariant drugi). Poprzez przekładnię główną mostu (przy zablokowanym mechanizmie różnicowym) moc przekazywana jest na pólisie napędowe. Jedna z nich jest połączona z hamulcem elektrowirowym poprzez „odwroconą” skrzynię biegów SB2, działającą jako przekładnia przyspieszająca.

W trzecim i czwartym wariantcie stanowiska (rys. 2c i 2d) moc ze skrzyni biegów SB1 przekazywana jest na wał przelotowy przekładni mostu drugiego (trzeciego), a następnie na wał przelotowy przekładni mostu trzeciego (drugiego). W tym układzie możliwa jest praca przekładni drugiego mostu napędowego zarówno przy zablokowanym, jak i pracującym mechanizmie różnicowym oraz zmiana kierunku obrotu wałka atakującego (zmiana położenia skrzyń obu badanych mostów o 180° w wariantcie czwartym w odniesieniu do trzeciego).



Rys. 1. Porównanie charakterystyki zewnętrznej silnika S-359, charakterystyki hamulca W-230 oraz pola pracy mostów napędowych na poszczególnych biegach

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Cztery warianty konfiguracji stanowiska badawczego:  
 SG — sprzęgło główne, SB — skrzynia biegów, MN — skrzynia mostu napędowego,  
 MD — masa dodatkowa (bezwładnik), CzP — czujnik prędkości obrotowej

Źródło: opracowanie własne.

Wartość masy obciążającej mechanizm różnicowy badanych przekładni mostów wyznaczono przy założeniu, że na obciążenia dynamiczne mechanizmów mostów napędowych wpływ mają elementy przekazujące moment na koła transportera (półosie, zwolnice, piasty kół i koła transportera). Mają one określony moment bezwładności, a zwolnica nie tylko wpływa na zmianę wartości przenoszonego momentu obrotowego, ale również na moment bezwładności obciążający półoś napędową. Podczas szacowania wartości momentu obciążającego półoś napędową wykorzystano przedstawiony na rysunku 3. schemat kinematyczny zwolnicy oraz wzory opisujące energię kinetyczną przekładni obiegowej. W zapisie tym rozdzielono wpływ poszczególnych składników, który zredukowano do osi wału z kołem słonecznym przekładni:

— wał z kołem słonecznym:

$$E_{K1} = \frac{1}{2} \cdot I_1 \cdot \omega_1^2; \quad (1)$$

— satelita:

$$E_{K2} = \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega_2^2 + \frac{m_2 \cdot V_j^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega_1^2 \frac{r_1^2}{4 \cdot r_2^2} + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \frac{\omega_1^2 \cdot r_1^2}{4}; \quad (2)$$

— jarzmo:

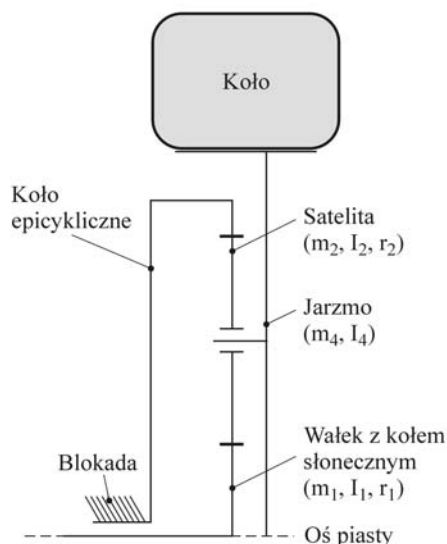
$$E_{K4} = \frac{1}{2} \cdot I_4 \cdot \omega_j^2 = \frac{1}{2} \cdot I_4 \cdot \frac{\omega_1^2}{(1 - i_w)^2}, \quad (3)$$

gdzie:

$$i_w \text{ — przelozienie wewnetrzne } i_w = -\frac{r_1 + 2 \cdot r_2}{r_1};$$

$\omega_1$  — prędkość kątowna wału z kołem słonecznym;

$I_i$  — moment bezwładności elementu o masie  $m_i$  i promieniu  $r_i$  (rys. 3.).



Rys. 3. Schemat kinematyczny piasty koła przyjęty do wyznaczenia momentu bezwładności obciążającego dynamicznie mechanizm różnicowy mostów napędowych KTO Rosomak

Źródło: opracowanie własne.

Ostatecznie moment bezwładności zredukowany do osi wału z kołem słonecznym przekładni opisuje zależność:

$$I_C = I_1 + 4 \cdot \left( I_2 \cdot \frac{r_1^2}{4 \cdot r_2^2} + m_2 \cdot \frac{r_1^2}{4} \right) + I_4 \cdot \frac{1}{(1 - i_w)^2} \quad (4)$$

Ze względu na złożoność elementów szczegółowe obliczenia składowych momentu bezwładności  $I_i$  wykonano za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Dane do obliczeń uzyskano z bezpośrednich pomiarów. Szczegóły konstrukcyjne zamkniętych mechanizmów zaczerpnięto z instrukcji transportera [2, 3]. Obliczony moment bezwładności  $I_C$  zespołu wynosi 1,555 kg·m<sup>2</sup>. Uwzględniając wyniki obliczeń, opracowano projekt bezwładnika o zbliżonym momencie bezwładności.

Do badań przekładni głównych mostów napędowych transportera wyznaczono obciążenia oszacowane na podstawie zależności podanych w literaturze [4–7, 11]. Uwzględniono ograniczenia wynikające z momentu obrotowego silnika, przyczepności kół do podłoża oraz cech konstrukcyjnych układu napędowego, w tym kinematyki działania mechanizmu różnicowego (występujące względne obroty tworzących

go elementów). Dla przekładni mostowych KTO Rosomak za najbardziej niekorzystne uznano następujące sytuacje:

- transporter wykonuje manewr zawracania z maksymalnym kątem skrętu kół kierowanych (przy założeniu, że koła toczą się bez poślizgu);
- unieruchomienie jednego z kół podczas pokonywania terenu o zróżnicowanych właściwościach powoduje krótkotrwałe zwiększenie prędkości obrotowej koła drugiej półosi, która zaczyna obracać się dwa razy szybciej niż kosz mechanizmu różnicowego.

Prawidłowość doboru wartości momentu obciążającego sprawdzono, wykonując obliczenia geometryczne i wytrzymałościowe przekładni głównej i mechanizmu różnicowego. Do sprawdzenia wytrzymałości przekładni stożkowej wykorzystano metodykę zalecaną w normie ANSI/AGMA 2003-A86 (*Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Generated Straight Bevel, Zerol Bevel and Spiral Bevel Gear Teeth*) oraz dostosowane do niej wymagania wiodącego producenta przekładni, firmy Gleason [7].

Uzyskane z obliczeń wymiary mechanizmów mostu napędowego były bardzo zbliżone do tych określonych na badanym obiekcie (różnice nie przekraczały 5%). Wynik potwierdził prawidłowość przyjętego sposobu postępowania i jednocześnie stał się podstawą do określenia wartości granicznych warunków badań, tj. momentu obrotowego do 3370 N·m i prędkości obrotowej półosi (przy zahamowanej drugiej półosi) nie większej niż 380 obr/min.

Oszacowano również siły międzyzębowe oraz istotne dla trwałości przekładni obciążenia poprzeczne łożysk. Ze względu na możliwość wystąpienia dużej różnicy prędkości obrotowej pomiędzy elementami mechanizmu różnicowego wyznaczono prognozowany przyrost temperatury, jaki może wystąpić w wyniku tarcia na styku obracających się kół satelitarnych i obudowy mechanizmu różnicowego [1, 10, 12]. Wykonane w tym zakresie szacunkowe obliczenia wykazały, że podczas badań mostów zachodzi konieczność ciągłego kontrolowania temperatury badanych zespołów, co uwzględniono w opisanej poniżej propozycji metody prowadzenia badań.



## METODYKA BADAŃ

Przekładnie mostowe będą badane w trzech etapach:

- wstępnym, obejmującym wzrokową ocenę weryfikacji stanu mostów napędowych oraz pomiar wybranych geometrycznych wielkości kontrolnych (sprawdzenie luzu osiowego i kąтового zgodnie z wymaganiami technicznymi), wymianę oleju na nowy oraz określenie jego stanu wyjściowego poprzez pomiar stałej dielektrycznej za pomocą urządzenia do olejów silnikowych;
- podstawowym, obejmującym określenie zdolności pracy mostów pod obciążeniem, gdy praca przekładni mostowych odbywa się w warunkach symulowanego zmiennego obciążenia realizowanego poprzez dobór przełożeń SB1 i SB2 w eksploatacyjnym zakresie prędkości obrotowej silnika 359; możliwe do zrealizowania przełożenia obu skrzyń biegów (przy istniejących ograniczeniach) przedstawiono na rysunku 2. cyframi rzymskimi;
- badań wibroakustycznych, polegających na ocenie stanu technicznego elementów mostów napędowych (przekładnie, łożyska) metodą pomiaru wibracji dla obliczonych i sprawdzonych eksperymentalnie prędkości obrotowych w warunkach stałego obciążenia.

Badania wibracyjne planuje się poprzedzić badaniami wstępnymi, obejmującymi dobór miejsc i sposobów mocowania czujników drgań na podstawie szczegółowej analizy amplitudowo-częstotliwościowej zarejestrowanych już wcześniej sygnałów.

Podczas badań przekładni mostowych mierzona będzie między innymi temperatura oleju w przekładniach oraz temperatura nagrzewania się poszczególnych stref przekładni mostowych. Już wykonane badania rozpoznawcze podczas testowania zbudowanego stanowiska wykazały, że pomiar temperatury półosi napędowych może być dobrym parametrem do oceny stanu technicznego (obciążenia) mostu, zwłaszcza łożysk przekładni głównej.

Badania pierwszej (od silnika) przekładni mostu napędowego prowadzone będą przy niezablokowanym i zablokowanym mechanizmie różnicowym. Napięcie mechanizmu, a tym samym obciążenie łożysk uzyskiwane będzie poprzez zastosowanie bezwładników MD (rys. 2.).

Rozważana jest możliwość badania w przyszłości drugiej przekładni mostu napędowego przy zróżnicowanej prędkości obrotowej obu półosi. W tym celu planuje się zastąpienie masy bezwładnej MD hamulcem, który pozwoli na swobodne różnicowanie momentów obciążających półosie mechanizmu. Aby można było to uzyskać, planuje się użycie zwolnicy i hamulca tarczowego z koła transportera lub samochodu ciężarowego.

W wyniku prac opartych na przyjętych do projektu założeniach i dostępnych urządzeniach zbudowano prototypowe stanowisko badawcze (rys. 4.).



Fot. 1. Widok ogólny stanowiska badawczego przekładni głównych mostów napędowych KTO Rosomak

*Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.*

## WNIOSKI

1. Wykonane badania testowe stanowiska wykazały w pełni poprawność jego działania i przydatność do testowania przekładni głównych mostów napędowych

KTO Rosomak. Stanowisko umożliwia szybkie określenie stanu technicznego wymontowanych z transportera przekładni mostów napędowych z wykorzystaniem metod diagnostyki wibracyjnej i pomiary temperatury w wybranych miejscach bez konieczności demontażu mechanizmów i szczegółowej weryfikacji ich elementów składowych.

2. Kolejne prace powinny obejmować badania przekładni mostów w pełni sprawnych technicznie (nowych) w celu określenia poziomów odniesienia dla wybranych w metodyce parametrów diagnostycznych, a także badania porównawcze przekładni mostowych pojazdów po uszkodzeniach spowodowanych wybuchami min, a następnie stopień gotowości technicznej i przydatności do dalszego użytkowania.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2012 jako projekt rozwojowy.*

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Dajniak H., *Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie*, WKŁ, Warszawa 1985.
- [2] *Instrukcja eksploatacji, Kołowy Transporter Opancerzony 8×8 ROSOMAK. Opis i użytkowanie*, WZM, Siemianowice Śląskie 2004.
- [3] *Instrukcja napraw, Kołowy Transporter Opancerzony 8×8 ROSOMAK*, WZM, Siemianowice Śląskie 2004.
- [4] Jaśkiewicz Z., *Projektowanie układów napędowych pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa 1982.
- [5] Jaśkiewicz Z., *Przekładnie stożkowe i hipoidalne*, WKŁ, Warszawa 1978.
- [6] Jaśkiewicz Z., *Układy napędowe samochodu. Mosty napędowe*, WKŁ, Warszawa 1977.
- [7] Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A., *Układy napędowe pojazdów samochodowych. Obliczenia projektowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [8] Lanzendoerfer J., *Badania pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa 1977.

- [9] Orzełowski S., *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*, WNT, Warszawa 1995.
- [10] *Podstawy konstrukcji napędów maszyn*, red. B. Baranowski, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [11] *Poradnik inżyniera samochodowego. Elementy i materiały I*, red. Z. Jaśkiewicz, WKŁ, Warszawa 1990.
- [12] Skoć A., Spalek J., Markusik S., *Podstawy konstrukcji maszyn*, cz. 2, WNT, Warszawa 2008.

## **TEST STAND FOR TECHNICAL STATE ESTIMATION OF AXLE FINAL DRIVE FOR AMV ROSOMAK**

### **ABSTRACT**

There are presented the methods of motor vehicle's driving axle testing. Assumptions were formulated for construction the test stand of wheeled armored vehicle Rosomak's driving axle, using equipment of an engine test bench. There are given proposed configuration of test stand, method and range of this vehicle driving axles research.

Keywords:

axle driving, engine test bench, assessment of technical state, test stand, wheeled armored vehicle Rosomak.