

Roman **BOGUCKI**

BADANIA PROTOTYPÓW NAKŁADEK ELASTOMEROWYCH NA CZŁONY TAŚM GĄSIENICOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia prototypowych nakładek metalowo-elastomerowych na ogniwach taśm gąsienicowych czołgu PT-91. Badania stopnia zużycia potwierdziły możliwość zastosowania badanego elastomeru na nakładki ogniw gąsienic szybkobieźnych pojazdów gąsienicowych.

Słowa kluczowe: pojazd gąsienicowy, gąsienica metalowa, nakładka metalowo-elastomerowa, badania tribologiczne, zużycie ściernie.

1. WSTĘP

Zastosowanie nakładek gumowych lub kompozytowych na ogniwa taśm gąsienicowych szybkobieźnych pojazdów gąsienicowych ma na celu:

- poprawę funkcjonalności pojazdu w związku z możliwością bezpośredniego korzystania z dróg publicznych;
- ograniczenie niszczenia powierzchni dróg (zwłaszcza asfaltowych);
- zmniejszenie emisji ciepła wydzielającego się w czasie tarcia gąsienicy metalowej o utwardzone podłoże;
- zmniejszenie poślizgu pojazdu na utwardzonych drogach;
- zmniejszenie emisji hałasu w czasie ruchu pojazdu.

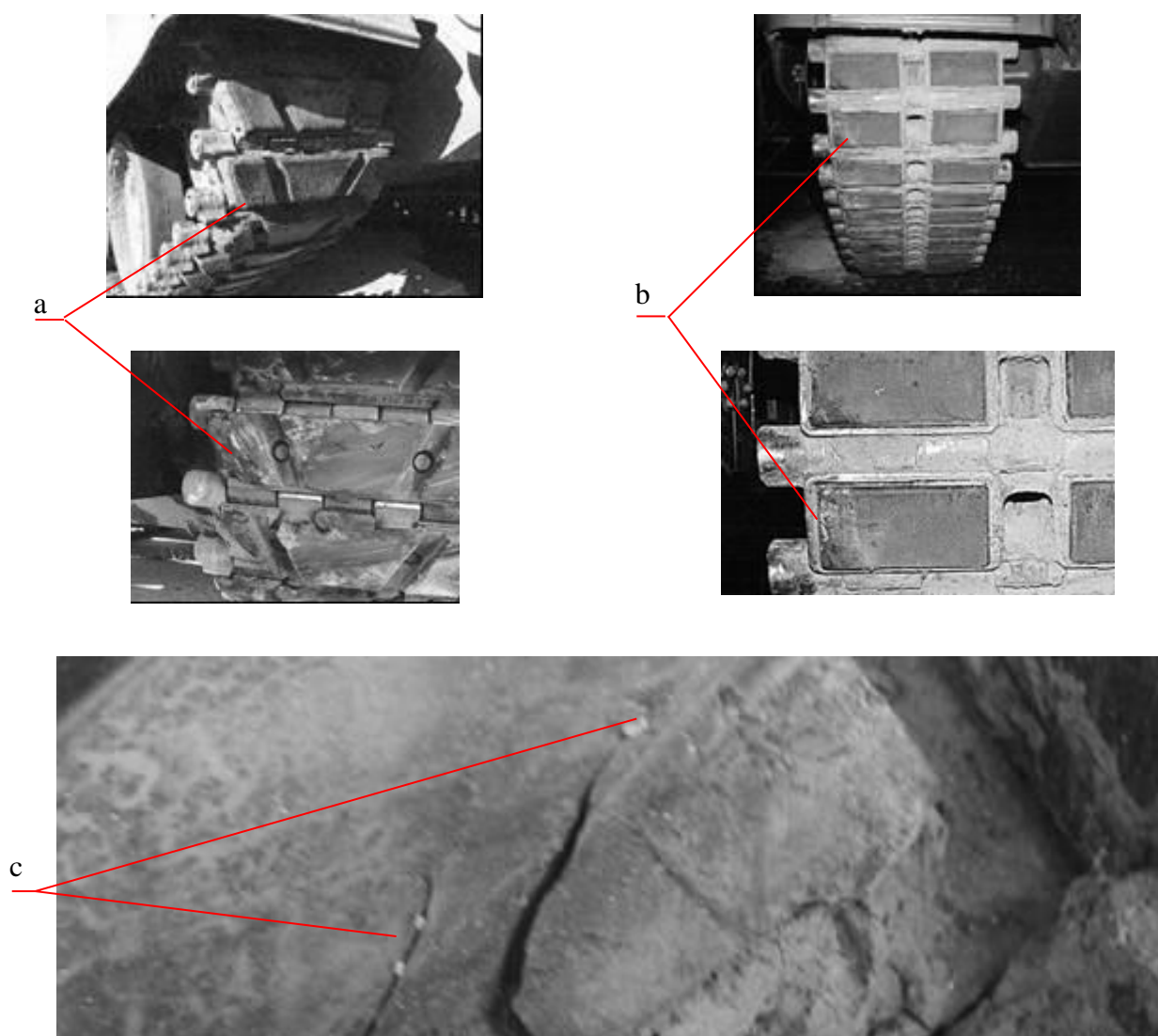
Dotychczasowe badania zużycia potwierdzają, że odporność na zużycie ściernie jest właściwością materiału ściśle związaną z rodzajem tribosystemu [1]. Szacunkowo ocenia się, że ograniczenie zużycia ściernego węzłów kinematycznych maszyn i urządzeń tylko o 10% zmniejszyłoby wydatki w gospodarce narodowej o około 10 miliardów dolarów rocznie [2]. W trakcie eksploatacji pojazdów gąsienicowych w kontakcie gumowej nakładki ogniwa gąsienicy z podłożem gruntowym dominuje zużycie przez wrywanie fragmentów gumy i nieznaczne zużycie ściernie. Intensywność zużycia ściernego zależy od rodzaju materiału ściernego, twardości kontaktujących się elementów cząstek ścierniwa znajdujących się w strefie tarcia, jak również od wzajemnej prędkości. Zjawiska towarzyszące zużyciu ściernemu przebiegają zarówno na powierzchni, jak i w warstwie wierzchniej gumy [1], [3].

Zużycie występuje wskutek oddziaływania twardych cząstek podłoża gruntowego na powierzchnię nakładki przez [1]:

- mikroskrawanie;
- rysowanie;
- bruzdowanie;
- mielenie.

Oddziaływanie to prowadzi do powstawania mikro- i makropęknięć gumy, a następnie do odrywania się jej fragmentów w obszarach kontaktowych.

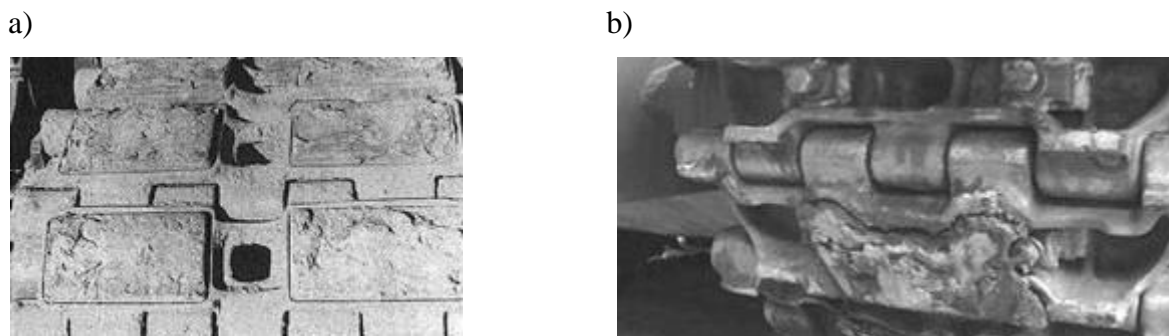
Obecnie na nakładki stosuje się gumę o podwyższonej trwałości [4]. Nie spełnia ona jednak wymagań funkcjonalnych ZTT, które dla nakładek na gąsienicę czołgu PT91/T-72 i nakładek podwozia samobieżnej haubicy 155 określają ich przebieg odpowiednio na 1500 km i 1300 km. Badania wykazały, że już po kilku kilometrach przebiegu nakładki gumowe wykazują pierwsze uszkodzenia. Na rys. 1a i 1b przedstawiono charakterystyczne miejsca powstawania uszkodzeń nakładek gumowych w trakcie badań zakładowych mostu gąsienicowego MG-20 i zestawu przeciwlotniczego PZA Loara. Na rys.1c widoczne są twarde cząstki luźnego podłoża gruntowego prowadzące do klinowego oddziaływania i rozdarcia, a następnie wykruszania się fragmentów gumy nakładki wyrobu MG-20.



Rys. 1. Uszkodzenia nakładek gumowych stwierdzone w trakcie badań zakładowych w OBRUM [6]

a- fragment gąsienicy mostu gąsienicowego MG-20 (24.04.2012), b- fragment gąsienicy zestawu przeciwlotniczego PZA Loara (18.10.2000), c- widoczne twarde cząstki podłoża gruntowego działające rozklinowująco w szczelinie pęknięcia gumy nakładki mostu gąsienicowego MG-20 (24.04.2012).

Na rys. 2 przedstawiono widok zużytych nakładek gumowych gaśienicy czołgu PT-72 oraz mostu gaśienicowego MG-20 po przebiegu odpowiednio 902 km i 1120 km [5], [6].



Rys. 2. Widok nakładek gumowych po badaniach eksploatacyjnych

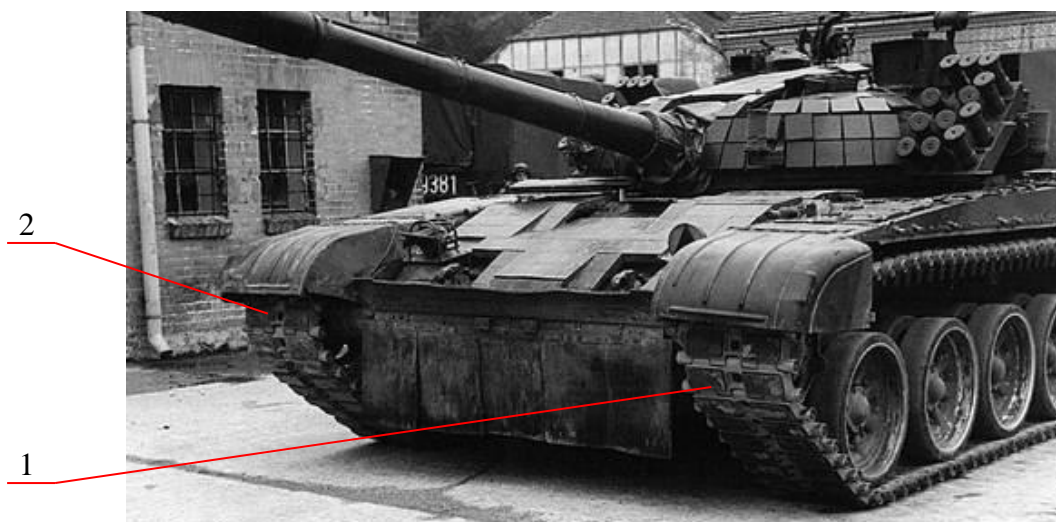
a- fragment gaśienicy czołgu PT-91 po przebiegu 902 km [5] b- fragment gaśienicy mostu gaśienicowego MG-20 po przebiegu 1120 km [6].

2. PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań były nakładki metalowo-elastomerowe elementów taśm gaśienicowych czołgu PT-91 wykonane wg projektu wynalazczego [7] z dwóch gatunków poliuretanów (patrz tablica 1) wybranych po badaniach wstępnych z sześciu rodzajów nakładek [8], [9]. Dla łatwej identyfikacji nakładek wprowadzono barwniki koloru zielonego i czerwonego.



Rys. 3. Widok nakładki A przeznaczonej do badań eksploatacyjnych [6]



Rys. 4. Widok czołgu PT-91 z zamontowanymi nakładkami metalowo-elastomerowymi [10]

1- nakładka A (kolor zielony); 2- nakładka B (kolor czerwony)

Na rys. 3 przedstawiono widok nakładki A (kolor zielony), a na rys. 4 widok nakładek A i B zamontowanych w taśmach gąsienicowych czołgu PT-91 przeznaczonych do badań eksploatacyjnych [6].

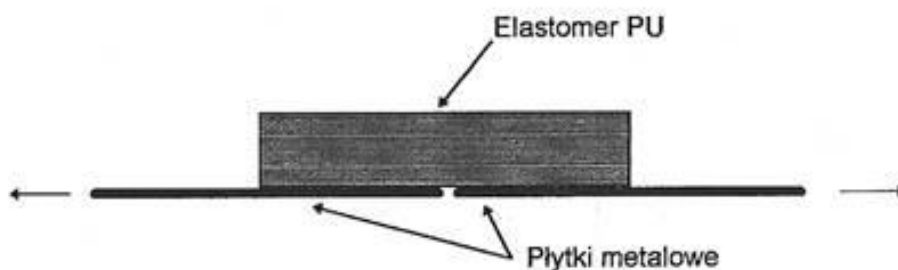
2.1. Własności mechaniczne zastosowanych tworzyw poliuretanowych (elastomerowych)

Własności mechaniczne zastosowanych tworzyw na nakładki metalowo-elastomerowe do badań eksploatacyjnych przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Główne własności mechaniczne tworzyw elastomerowych [11]

Rodzaj badania	Nakładka A	Nakładka B
Wytrzymałość na rozrywanie [MPa] wg PN-82/C-04205	20...30	15...25
Wydłużenie względne [%] wg PN-82/C-04205	300...500	400...600
Twardość [°ShA] wg PN-71/C-04238	85...95	75...85

Badania przyczepności tworzywa do płytki metalowej prowadzono w próbie rozrywania aż do zerwania w materiale rodzimym tworzywa lub do zerwania połączenia z płytką metalową wg schematu przedstawionego na rys. 4.

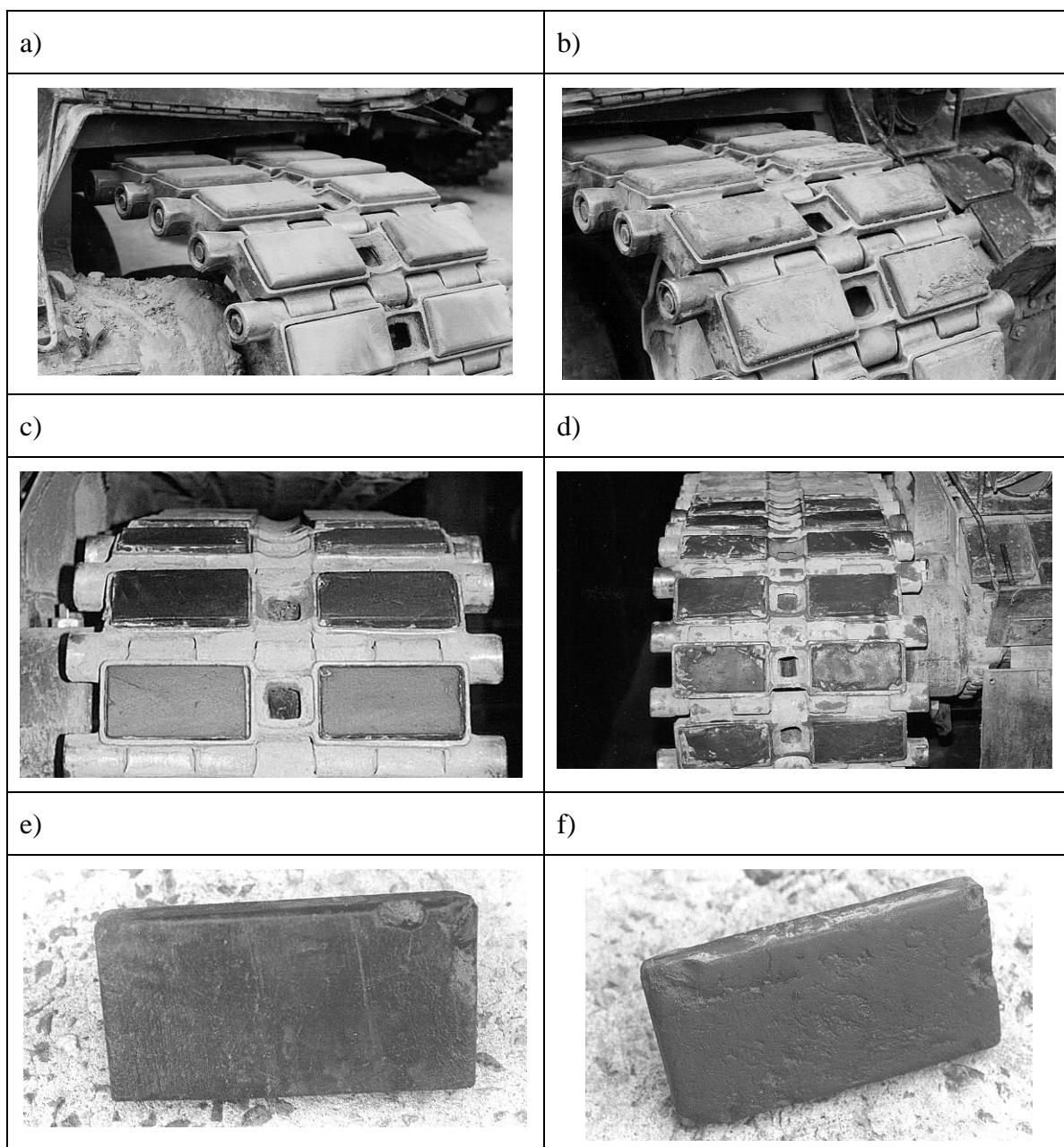


Rys. 4. Schemat badania przyczepności tworzywa elastomerowego do podłoża metalowego nakładek [11]

Podczas badań następowało rozerwanie tworzywa A przy naprężeniu od 20 do 30 MPa. Nie występowało odklejenie się tworzywa nakładki A lub B od płytki metalowej. Wyniki badań przyczepności tworzywa elastomerowego do podłoża metalowego potwierdziły wymaganą wytrzymałość połączenia [11].

2.2 Badania trwałości eksploatacyjnej

Ocenę trwałości eksploatacyjnej nakładek A i nakładek B prowadzono poprzez pomiar zmiany grubości elastomeru, ubytek masy nakładki i utraty przyczepności elastomeru do płytki metalowej. Badania prowadzono podczas szkolenia kierowców po drogach utwardzonych oraz po podłożu odkształcalnym gruntowym i bezdrożach na poligonie. Badania wykonano w warunkach letnich i zimowych przez okres półtora roku pod nadzorem Wojskowego Instytutu Techniki Panczernej i Samochodowej WITPiS [12]. Badania zakończono po 1120 km przebiegu czołgu PT-91.



Rys. 5. Widok nakładek metalowo-elastomerowych w trakcie badań eksploatacyjnych [10], [12]

a- fragment gaśienicy z nakładkami A po przebiegu 560 km, b- fragment gaśienicy z nakładkami B po przebiegu 560 km, c- fragment gaśienicy z nakładkami A po przebiegu 880 km, d- fragment gaśienicy z nakładkami B po przebiegu 880 km, e- widok powierzchni nakładki A po przebiegu 880 km, f- widok powierzchni nakładki B po przebiegu 880 km.

Na rysunkach od 5a do 5f przedstawiono charakterystyczne widoki fragmentów gąsienicy z nakładkami metalowo-elastomerowymi typu A i B po przebiegu czołgu 560 km i po 880 km.

Analiza charakteru zniszczenia nakładek w trakcie badań eksploatacyjnych nakładek A wykazały, że dominującym procesem jest zużycie ściernie. Stwierdzono równomierne zużycie powierzchni współpracujących z podłożem gruntowym i tylko nieznaczne uszkodzenia krawędzi nacierającej nakładki (patrz rys. 5e). Zużycie nakładek B charakteryzowało się dodatkowo zużyciem przez wykruszenie fragmentów tworzywa elastomerowego na wszystkich powierzchniach nakładek (patrz rys. 5f).

2.3 Kryteria oceny trwałości

Podczas badań eksploatacyjnych podstawowymi kryteriami oceny trwałości nakładek metalowo-elastomerowych gąsienic czołgu były:

- zmiany grubości nakładek w funkcji czasu badań;
- zmiana masy nakładki;
- przyczepność elastomeru do podłoża metalowego.

Odpowiednia grubość tworzywa elastomerowego nakładek decyduje o zachowaniu podstawowego wymagania funkcjonalnego, jakim jest zabezpieczenie twardego podłoża przed bezpośrednim kontaktem metalowych członów taśm gąsienicowych. Jako graniczną wartość minimalną nakładek przyjęto 18 mm (grubość zapewniająca wystawanie nakładki o 2 mm ponad krawędzie gniazd w ogniwie).

Różnice mas nakładek w trakcie eksploatacji gąsienic czołgowych wskazują na to, że oprócz zużycia ściernego występuje również inne zużycie, na przykład przez wrywanie fragmentów tworzywa dominujące przy eksploatacji nakładek gumowych (patrz rys. 1).

Przyczepność tworzywa do płytki metalowej nakładki decyduje o przydatności zastosowania tworzywa na nakładki ogniw gąsienicowych pojazdów.

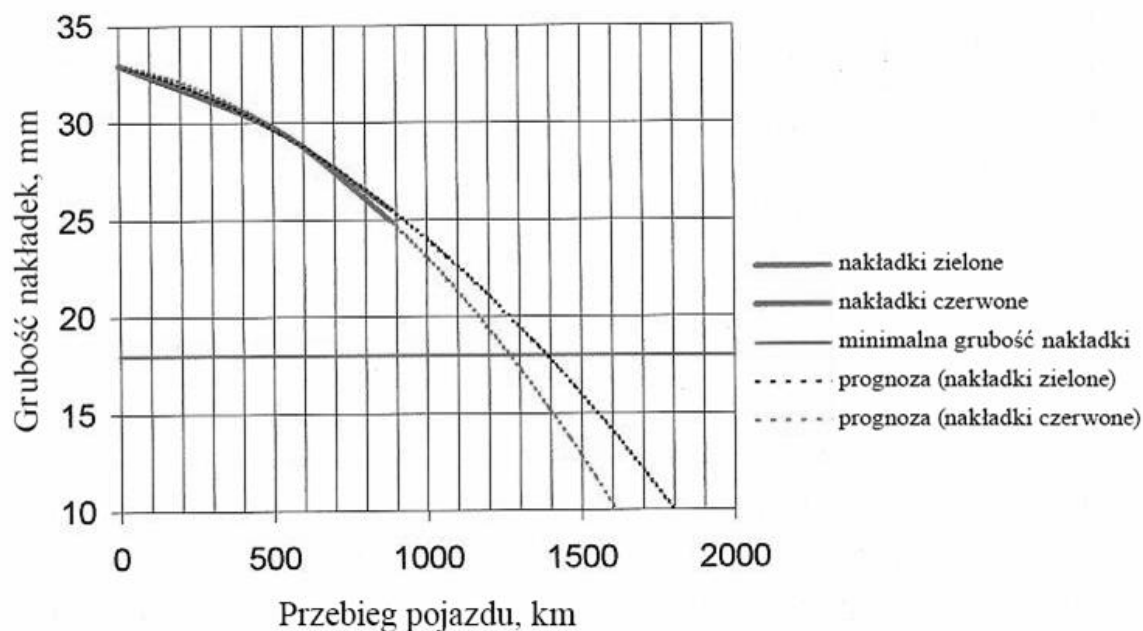
2.3.1 Ocena zmiany grubości

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów grubości nakładek [12] określono średnie wartości grubości nakładek oraz ich średnią zmianę grubości odpowiednio po przebiegu 500 km i 880 km. Wyniki analizy serii pomiarów przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki średnich wartości grubości nakładek metalowo-elastomerowych [12]

Lp.	Wartości średnie grubości nakładek i ich zmian podczas badań	Grubość nakładki [mm]	
		Nakładki A (zielone)	Nakładki B (czerwone)
1.	Nakładki nowe	33,0	33,0
2.	Nakładki po przebiegu 500 km	29,7	29,8
3.	Nakładki po przebiegu 880 km	25,6	25,0
4.	Zmiana grubości nakładek po przebiegu 0-500 km	3,3	3,2
5.	Zmiana grubości nakładek po przebiegu 500-880 km	4,1	4,8
6.	Zmiana grubości nakładek po przebiegu 0-880 km	7,4	8,0

Jak wynika z tablicy 2, do analizy i obliczeń prognostycznych zużycia nakładek w cyklach badawczych przyjęto nominalną grubość nakładki równą 33 mm. Na rys. 6 przedstawiono zmianę grubości nakładek metalowo-elastomerowych w zależności od przebiegu czołgu w zakresie do 880 km i obliczone prognozowane zużycie nakładek aproksymowane wielomianem drugiego stopnia. Ciągłą linią poziomą oznaczono wartość minimalną grubości nakładki.



Rys. 6. Przebieg zmian grubości nakładek do przebiegu 880 km i prognozowane zużycie na dalszy przebieg [12]

Jak wynika z analizy wyników badań i prognozowanych na rys. 6 zmian grubości nakładek do osiągnięcia wartości minimalnej nakładki A spełnią ten warunek do przebiegu ≤ 1400 km a nakładki B ≤ 1250 km.

2.3.2 Ocena ubytku masy

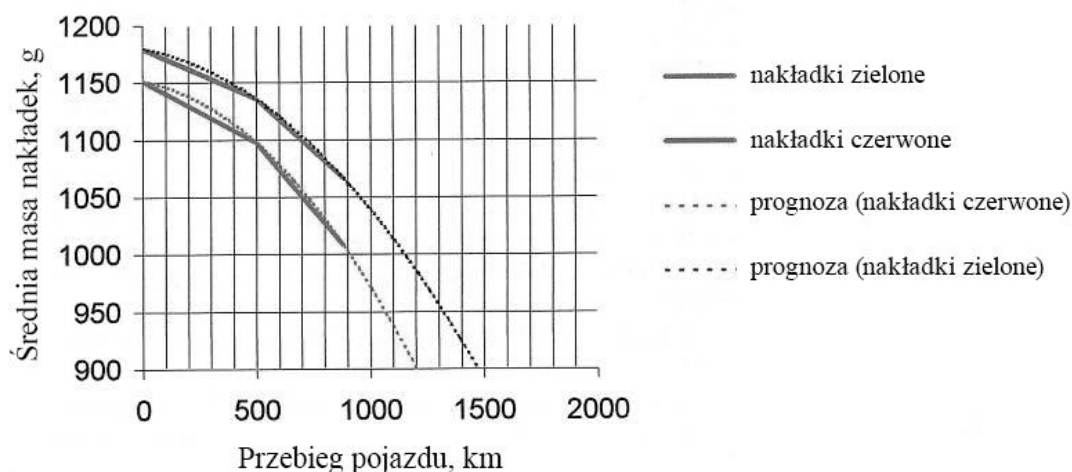
Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów masy nakładek [12] określono średnie wartości ubytków mas dla nakładek A i B po przebiegu 500 km i 880 km. Wyniki analizy i obliczeń przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Średnia masa nakładek metalowo-elastomerowych [12]

Lp.	Średnia masa i ubytek masy nakładek	Masa nakładki [g]	
		Nakładki A (zielone)	Nakładki B (czerwone)
1.	Nakładki nowe	1178	1151
2.	Nakładki po przebiegu 500 km	1136	1098
3.	Nakładki po przebiegu 880 km	1067	1009
4.	Ubytek masy po przebiegu 0-500 km	42	53

Lp.	Średnia masa i ubytek masy nakładek	Masa nakładki [g]	
		Nakładki A (zielone)	Nakładki B (czerwone)
5.	Ubytek masy po przebiegu 500-880 km	69	89
6.	Ubytek masy po przebiegu 0-880 km	111	142

Na rys. 7 przedstawiono średnią zmianę masy nakładek A i B w zależności od przebiegu czołgu PT-91 na odcinku do 880 km i prognozowany przebieg do osiągnięcia średniej masy nakładek wynoszącej 900 g. Zwiększony ubytek masy nakładek B spowodowany jest dodatkowo wykruszaniem elastomeru na powierzchniach nakładek. Prognozowane zużycie nakładek wykazuje (patrz rys. 7), że możliwa jest dopuszczalna realizacja przebiegu czołgu PT-91 dla nakładek A do 1500 km, a dla nakładek B do 1200 km.



Rys. 7. Przebieg zmian średniej masy nakładek po przebiegu 880 km i prognoza na dalszy przebieg [12]

Analiza wyników pomiarów masy nakładek wykazuje, że ubytek masy nakładki A jest o 28% mniejszy niż nakładki B. Odchylenia standardowe zmiany grubości i masy nakładek A są także odpowiednio mniejsze o wartości 27% i 34 %.

2.3.3 Ocena przyczepności elastomeru do podłoża metalowego

Ocenę przyczepności tworzywa elastomerowego nakładek A i B do metalowej płytki dokonano na podstawie stwierdzonej w trakcie badań liczby nakładek z odklejonym tworzywem. Na rys. 8 przedstawiono charakterystyczne zużycie nakładki A w przypadku, gdy z sąsiadującego ogniwa wypadła nakładka. Widoczne jest równomierne zużycie powierzchni stopy nakładki przy obserwowanym zwiększonym zużyciu od strony ogniwa bez nakładki.



Rys. 8. Charakterystyczne zużycie nakładki A od strony ogniwa bez nakładki [12]

W trakcie badań eksploatacyjnych po przebiegu 880 km stwierdzono odklejenie się elastomeru 4 nakładek A i 2 nakładek B. Występujące tylko pojedyncze przypadki odklejenia elastomeru od metalowej stopy świadczą o tym, że zastosowana technologia klejenia charakteryzuje się dostateczną wytrzymałością i odpornością na warunki występujące podczas eksploatacji czołgów. Należałoby jednak dążyć do jej udoskonalenia dla osiągnięcia wyższej trwałości eksploatacyjnej nakładek elastomerowo-metalowych.

3. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych prób laboratoryjnych i badań eksploatacyjnych określono stopień przydatności wybranych tworzyw elastomerowych na nakładki ogniw gąsienicowych.

W oparciu o wyniki badań eksploatacyjnych [10], [12] i dotychczasowych wyników badań wkładów gumowych [4], [12] formułuje się następujące wnioski:

- niszczenie powierzchni nakładek metalowo-elastomerowych ma charakter równomiernego zużycia ściernego oraz wyrywania fragmentów wskutek wykruszania i odspajania od podłoża metalowego gąsienicy;
- stwierdzono, że nakładki typu A charakteryzują się zużyciem głównie przez równomierne ścieranie, bez znacznych ubytków tworzywa spowodowanych pękaniem i wyrywaniem;
- stwierdzono, że nakładki typu B charakteryzują się zwiększonym zużyciem w postaci ubytków spowodowanych wyrywaniem tworzywa elastomerowego;
- nakładki gumowe charakteryzują się głównie zużyciem przez ubytki materiału spowodowane jego wyrywaniem;
- zużycie nakładek A, w porównaniu do zużycia nakładek gumowych, jest 3,5-krotnie niższe. Wynika to z wyższych parametrów wytrzymałościowych i twardości tego elastomeru;
- określone poprzez aproksymację wielomianem prognozowane rezerwy dla nakładek metalowo-elastomerowych na ogniwa taśm gąsienicowych zapewniają spełnienie wymagań funkcjonalnych dla czołgu T-72/PT-91 oraz odmian PWU-148 i MID odpowiednio:

- dla nakładek A (zielonych) w zakresie od 1400 km do 1500 km
- dla nakładek B (czerwonych) w zakresie od 1200 km do 1250 km
- można przyjąć jako prognozowany przebieg nakładek metalowo-elastomerowych na ogniwa taśm gąsienicowych zapewniający spełnienie wymagań funkcjonalnych dla podwozia samobieżnej haubicy 155 i mostu MG-20 odpowiednio:
 - dla nakładek A (zielonych) od 1200 km do 1300 km
 - dla nakładek B (czerwonych) od 1000 km do 1100 km
- poprawa trwałości taśm gąsienicowych pojazdów wojskowych poprzez zastosowanie wkładów poliuretanowych wymaga prowadzenia dalszych badań ze szczególnym zwróceniem uwagi na technologię spajania tworzywa z podłożem metalowym gąsienicy.

4. LITERATURA

- [1] Bogucki R.: Zużycie erozyjne staliwa L20HGSNM, praca doktorska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śl., Gliwice, 1999 r.
- [2] Jura St.: Zużycie ściernie erozyjne – wybór materiałów odpornych na zużycie, Biuletyn SPG, OBRUM, Gliwice, 1993 r.
- [3] Dobrzański L.A., Dobrzańska-Danikiewicz A.D.: zmiany struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich w wyniku eksploatacji, Obróbka powierzchni materiałów inżynierskich, Open Access Library, Volume 5, 2011 r.
- [4] Nakładka gumowa taśm gąsienicowych typu ZP-44.002z-1 do mostu MG-20 kr. DAGLEZJA-G wg warunków OU-MG-20, Wojskowe Zakłady Mechaniczne S.A., Poznań, 2011 r.
- [5] Badania nakładek gumowych, Sprawozdanie WITPiS nr 143/ZPG/95, Sulejówek, 1995.
- [6] Materiały własne OBRUM sp. z o.o., 2000-2013 r.
- [7] Bogucki R. i inni.: Tworzywo poliuretanowe o wysokiej odporności na ścieranie, Projekt wynalazczy nr 6/4/95/OBR, 1995 r.
- [8] Badania porównawcze nakładek z tworzyw sztucznych, Sprawozdanie nr 11/97, Zakład Badań OBRUM, Gliwice, 1997 r.
- [9] Badania porównawcze prototypowych wkładów wg rys. MG55.01z-2A na gąsienice wg rys. MG55.00z-1, Sprawozdanie WITPiS nr 44/ZPG/97, Sulejówek, 1997 r.
- [10] Bogucki R.: Badania ciężkich pojazdów z nakładkami z tworzyw. Badania przebiegiem. Etap III, sprawozdanie nr 1/99 OBRUM, Gliwice, 1993 r.
- [11] TWT wykonania nakładek metalowo-elastomerowych, nr 11/97, ICSO Chemical Production Sp. z o.o., Kędzierzyn Koźle, 1997 r.
- [12] Badania kwalifikacyjne wkładów do taśm gąsienicowych wg rys. MG.55.00z-1, Sprawozdanie WITPiS nr 103/ZPG/99, Sulejówek, 1999 r.

TESTS OF PROTOTYPES OF ELASTOMER TRACK LINKS' PADS

Abstract. This paper presents the results of research on wearing of tank PT-91's prototype metal-elastomer track pads. Tests of the wearing level confirmed the possibility of use of tested elastomer prototypes on track links' pads for high-speed track vehicles.

Key Words: track vehicle, metal track, metal-elastomer pad, tribological tests, abrasive wear.