

Effect of biodegradable oil use on the mechanical properties of plastics used in the railway surface

Paweł Kowalik¹, Mariusz Fabijański^{1,2*}

¹ Railway Research Institute, Materials and Structure Laboratory

² Warsaw University of Technology, Faculty of Production Engineering

Abstract. The purpose of this study is to present the requirements, methodology, and results of research on the impact of biodegradable oil on plastic components used in the construction of a railway turnout. Briefly discussed are what railroad turnouts are, how they work, and what problems occur with substances used for their lubrication. They have an impact on the mechanical properties and durability of products made of polymeric materials. These types of materials absorb various kinds of chemicals, to a greater or lesser degree, and this affects their properties. For the tests, we used a universal lubrication oil with biodegradable properties, which is its most significant advantage. However, it may not cause deterioration of the turnout operation and change the properties of materials used for its construction. These types of oils require more frequent applications on cooperating components. We used the two most popular polymer materials. The first is high-density polyethylene (HDPE), used to make all kinds of rail spacers, dowels for fixing rails, sleeves, etc. The second, polyurethane (PUR) is most commonly used for rail pads of various shapes. The methodology and results of testing the impact of a lubricant (biodegradable oil) on the change of mechanical properties such as strength and hardness are presented. The tests were carried out at various temperatures; the time of exposure to oil was seven days; the results were referred to samples conditioned under standard conditions. The tests carried out on the impact of the biodegradable lubricant on polymeric materials (HDPE and PUR) showed little effect on the change of strength parameters of these materials.

Keywords: lubricant, oil, mechanical properties, railway turnout, biodegradability, polymer materials

1. Wstęp

W rozjazdach kolejowych występują elementy trące, które muszą być smarowane w celu zmniejszenia oporów. Przez wiele lat w Polsce stosowano środki będące produktami ropopochodnymi, które przyczyniały się do zanieczyszczenia mechanizmów rozjazdów i podsypanki mazistą substancją złożoną ze smaru, pyłu i substancji sypkich. Środki te, w wyniku wypłukiwania przez deszcz stwarzały zagrożenie dla środowiska przedostając się do wód

Article citation information:

Kowalik, P., Fabijański, M. (2020). Effect of biodegradable oil use on the mechanical properties of plastics used in the railway surface, WUT Journal of Transportation Engineering, 128, 81-88, ISSN: 1230-9265, DOI: [10.5604/01.3001.0014.0906](https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.0906)

*Corresponding author

E-mail address: mfabijan@wp.pl (M. Fabijański)

ORCID:  [0000-0003-3642-5214](https://orcid.org/0000-0003-3642-5214) (P. Kowalik),  [0000-0001-6606-3416](https://orcid.org/0000-0001-6606-3416) (M. Fabijański)

Received 5 February 2020, Revised 17 March 2020, Accepted 2 April 2020, Available online 9 April 2020

gruntowych i wody pitnej powodując ich zanieczyszczenie. Problemem było też to, że stosowane preparaty były sezonowe – inne w okresie letnim, a inne w warunkach zimowych [1, 2, 3].

Obecnie, jako zamienniki stosuje się biodegradowalne oleje i smary plastyczne, które nie są uciążliwe dla środowiska naturalnego. Ulegają w nim rozkładowi do substancji prostych. Z uwagi na ich biodegradowalny charakter, konieczne jest ich częstsze stosowanie. Tego typu zamienniki są wielosezonowe.

W skład takich olejów wchodzi, między innymi np. syntetyczne estry oraz napelniacze i stabilizatory. Natomiast smary to plastyczne substancje o konsystencji stałej, której podstawowymi składnikami są: faza ciekła i zagęszczacz. Fazę ciekłą biodegradowalnego smaru plastycznego stanowi olej bazowy, złożony z tłuszczów roślinnych i zwierzęcych oraz estrów kwasów tłuszczowych i alkoholi monowodorotlenowych lub węglowodorowych. W skład smarów plastycznych mogą też wchodzić różne dodatki uszlachetniające np. stabilizatory, inhibitory korozji, inhibitory utleniania, dodatki adhezyjne czy środki zapachowe. Jako zagęszczacz stosuje się m.in. mydła (np. stearyniany litu, glinu, wapnia, sodu), zagęszczacze nieorganiczne (smary bentonitowe czy krzemionkowe) czy polimerowe (najczęściej stosowane są smary poliuretanowe) [3–7].

Rozjazd to specjalna konstrukcja wielotorowa wykonana z szyn, kształtowników stalowych oraz innych elementów, umożliwiająca przejazd pojazdów kolejowych z jednego toru na drugi z określoną prędkością. Wyróżnia się następujące rodzaje rozjazdów: zwyczajny, podwójny, krzyżowy z iglicami wewnątrz czworoboku rozjazdu, krzyżowy z iglicami na zewnątrz czworoboku rozjazdu, łukowy. Rozjazd zwyczajny składa się ze zwrotnicy, szyn łączących oraz krzyżownicy z kierownicami i szynami tocznymi. Poszczególne zespoły rozjazdu są przytwierdzone do podrojazdnic strunobetonowych, drewnianych lub stalowych. Iglice służą do kierowania pojazdu szynowego na tor zasadniczy lub zwrotny [4, 10].

Na podrojazdnicach w obszarze przesuwania się iglic są zamocowane siodełka podiglikowe, po których przesuwają się iglice. Siodełka te smaruje się w celu zmniejszenia tarcia przy przesuwaniu się iglic oraz wyciszenia pracy zwrotnicy [4].

2. Wymagania dla środków do smarowania części trących w rozjazdach kolejowych

Niewłaściwy skład lub nieodpowiedni dobór środka smarnego może mieć negatywny wpływ na materiały konstrukcyjne układów, z którymi ma on kontakt. Może to być spowodowane niewłaściwymi warunkami pracy, niekompatybilnością dodatków i materiałów czy też nieodpowiednim procesem technologicznym [5–13]. W celu przeciwdziałania takim zjawiskom ustalono, że środki smarne powinny posiadać następujące cechy:

- brak zagrożenia dla ludzi i środowiska w normalnych warunkach eksploatacji,
- nie powinny działać korozyjnie, lecz chronić przed korozją,
- efektywne minimalizowanie kontaktu metal-metal,
- zabezpieczanie części trących w rozjeździe przed przymarzaniem,
- zabezpieczanie przed dostępem wody, wilgoci i sypkich zanieczyszczeń,
- zmniejszanie oporów przestawiania zwrotnic,
- uleganie biodegradacji.

Uwzględniając powyższe cechy opracowano wymagania, które określa dokument „Waarunki dopuszczenia do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez Polskie Linie Kolejowe S.A. środków do smarowania części trących w rozjazdach kolejowych Ir-27” [13]. Określono w nim:

- wymagania, jakie muszą spełniać środki do smarowania części trących w rozjazdach,
- zasady uzyskania dopuszczenia do stosowania ww. środków w PKP PLK S.A.

Wymagania w zakresie właściwości fizyko-chemicznych określa Załącznik nr 1 do ww. dokumentu. Są one zestawione w Tabeli 1 [13].

Kryteriami oceny środka smarnego oprócz spełnienia ww. właściwości fizyko-chemicznych są:

- oznaczanie maksymalnego oporu przestawiania zwrotnic (badanie to wykonuje się po uzyskaniu przez badany produkt pozytywnych wyników wszystkich ww. badań właściwości fizyko-chemicznych),
- łatwość stosowania (sposób przygotowywania preparatu do aplikacji),
- ocena zachowania w trakcie badań eksploatacyjnych.

3. Materiały do badań

Środek smarujący

W badaniach został użyty środek do smarowania wiodącego producenta tego typu wyrobów. Jest to uniwersalny olej do smarowania zawierający specyficzne składniki, które powodują doskonałą odporność na utlenianie, zawierający dodatki przeciwzużyciowe oraz dodatki przeciw pienieniu. Odznacza się również biodegradowalnością, co znacząco podnosi jego atrakcyjność.

Materiały polimerowe

Do badań zostały wytypowane dwa materiały stosowane w budowie nawierzchni kolejowej, jest to polietylen dużej gęstości (HDPE) i poliuretan (PUR). Tworzywa te przeznaczone są do produkcji przekładek podszynowych stosowanych w nawierzchni kolejowej. Próbkki do badań, w postaci beleczek i krążków, zostały przygotowane zgodnie z aktualnie obowiązującymi normami w tym zakresie. Próbkki zostały wykonane w technologii wtrysku.

Metodyka badań

Otrzymane próbkki do badań, w postaci wiosełek o kształcie zgodnym z normą [14], klimatyzowano przez okres 24 godzin w temperaturze $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ i wilgotności $(50 \pm 5)\%$. Po tym czasie próbkki rozdzielono na trzy grupy:

- 1) próbkki odniesienia,
- 2) próbkki wystawione na ekspozycję smaru w temperaturze 20°C ,
- 3) próbkki wystawione na ekspozycję smaru w temperaturze 40°C .

Po podziale, próbkki przeznaczone do środka smarnego zostały w nim umieszczone poprzez całkowite zanurzenie i poddane jego działaniu przez okres 7 dni. Próbkki odniesienia zostały pozostawione w komorze klimatycznej.

Po siedmiu dniach próbkki zostały oczyszczone z resztek środka smarnego i ponownie wstawione do klimatyzacji na okres 24 godzin w ww. warunkach. Następnie dokonano

oceny zmiany cech wytrzymałościowych w próbie statycznego rozciągania, którą przeprowadzono zgodnie z normą [14] oraz oznaczono twardość za pomocą metody wciskania kulki zgodnie z normą [15] dla HDPE i metodą Shore’a „A” dla PUR zgodnie z normą [16].

Tabela 1. Wymagania fizyko-chemiczne dla środków do smarowania rozjazdów kolejowych zgodnie z Załącznikiem nr 1 do Instrukcji Ir-27 (źródło: [13])

Właściwości	Metoda badania	Wymagania	
		Olej	Smar plastyczny
Gęstość [g/cm ³]	PN-EN ISO 3675:2004 PN-EN ISO 3838:2008	Zgodność z deklaracją producenta $\pm 10\%$	
Lepkość [mm ² /s]	PN-EN ISO 3104:2004	Zgodność z deklaracją producenta $\pm 10\%$	–
Temperatura kroplenia [°C]	PN-ISO 2176:2011	–	≥ 120
Temp. krzepnięcia [°C]	PN-C-04016:1955	≤ -40	–
Temperatura zapłonu [°C]	PN-EN ISO 2592:2008 PN-EN ISO 2719:2007	≥ 110	≥ 110 (dla oleju bazowego)
Penetracja [1/10 mm]:			
– w temp. 25 °C	PN-ISO 2137:2011	–	≥ 265
– w temp. –30 °C			≥ 220
Stabilność mechaniczna [%]	ASTM D1831	–	≤ 4
Statyczne wydzielanie oleju ubytek masy badanej próbki w czasie 30 h w temp. 40 °C [%]	PN-V-04047:2002	–	≤ 5
Zawartość wody [% (m/m)]	PN-EN ISO 9029:2005	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$
Działanie korodujące na metale: miedź i stal	PN-C-04093:1985	$\leq 1b$ wytrzymuje badania	
Właściwości smarne: obciążenie zespawania Pz [daN]	PN-C-04147:1976	≥ 150	
Działanie agresywne na niemetalowe elementy rozjazdu kolejowego [%]	PN-EN ISO 527-1:2012 PN-EN ISO 2039-1:2004 PN-C-04238:1980 CEC-L-103-12 (po 21 dniach)	≤ 15 ≥ 80	
Stopień biodegradacji (rodzaj badania do wyboru)	OECD serii 301 C (po 28 dniach)	– $\geq 70\%$ rozpuszczonego węgla organicznego – $\geq 60\%$ biochemicznego zapotrzebowania tlenu (BZT) lub wytworzonego CO ₂ – Okres 10-dniowy	
Odporność na działanie wody	PN-C-96013:2014-03	–	wytrzymuje badanie

4. Wyniki badań i ich omówienie

W tabeli 2 podano wyniki HDPE dla próby prowadzonej w temperaturze 20 °C. W tym przypadku zmiana wytrzymałości materiału wyniosła, w stosunku do próby odniesienia tylko 1,9%. Można stwierdzić, że zmiana ta jest nieznaczna i mieści się w granicach błędu występującego podczas wykonywania testu.

Tabela 2. Zmiana wytrzymałości wiosełek z HDPE na rozciąganie dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 20 °C

Wytrzymałość na rozciąganie (próba odniesienia) [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie po działaniu oleju przez 7 dób o temp. 20 °C [MPa]	Zmiana wytrzymałości na rozciąganie [%]
15,52 ± 0,50	15,23 ± 0,49	-1,9

W Tabeli 3 podano wyniki zmiany wytrzymałości dla próby, gdy HDPE był poddany ekspozycji na środek smarny przez okres 24 godzin i temperaturze 40 °C. W tym przypadku zmiana wytrzymałości wyniosła 2,9%. Jest to wartość wyższa niż w przypadku oddziaływania środka w temperaturze 20 °C, ale nadal zmiana ta jest niewielka dla tego typu materiału.

Tabela 3. Zmiana wytrzymałości wiosełek z HDPE na rozciąganie dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 40 °C

Wytrzymałość na rozciąganie (próba odniesienia) [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie po działaniu oleju przez 7 dób o temp. 20 °C [MPa]	Zmiana wytrzymałości na rozciąganie [%]
15,52 ± 0,50	15,07 ± 0,49	-2,9

W tabelach 4 i 5 podano odpowiednio wyniki zmiany twardości HDPE poddanego działaniu środka smarnego odpowiednio w temperaturze 20 °C i 40 °C. Zarejestrowane zmiany twardości materiału poddanego oddziaływaniu, w stosunku do próby odniesienia są nieznaczne i mieszczą się w granicach błędów statystycznego. Wynoszą odpowiednio 1,5% dla temperatury 20 °C i 0,3% dla temperatury 40 °C. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badany środek smarny praktycznie nie ma wpływu zmianę twardości HDPE.

Taką samą procedurę badań przeprowadzono dla PUR. W Tabelach 6 i 7 przedstawiono wyniki uzyskane w próbie statycznego rozciągania. W tym przypadku wyniki zmian wytrzymałości wynoszą odpowiednio 4,7% dla próby ekspozycji w temperaturze 20 °C przez 7 dób i 8,5% dla próby ekspozycji w temperaturze 40 °C. Zaobserwowane zmiany są już wyraźne, jednak wartości te, nie są tak duże, aby dyskwalifikować zarówno smar jak i PUR z zastosowań.

Tabela 4. Zmiana twardości HDPE dla próby działania oleju przez 7 dób w temp. 20 °C

Twardość (próba odniesienia), [MPa]	Twardość po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 20 °C, [MPa]	Zmiana twardości, [%]
14,20 ± 1,25	14,41 ± 0,34	1,5

Tabela 5. Zmiana twardości HDPE dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 40 °C

Twardość (próba odniesienia) [MPa]	Twardość po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 40 °C [MPa]	Zmiana twardości [%]
14,20 ± 1,25	14,24 ± 0,80	0,3

Tabela 6. Zmiana wytrzymałości PUR na rozciąganie dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 20 °C

Wytrzymałość na rozciąganie (próba odniesienia) [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 20 °C [MPa]	Zmiana wytrzymałości na rozciąganie [%]
7,52 ± 0,17	7,17 ± 0,23	-4,7

Tabela 7. Zmiana wytrzymałości PUR na rozciąganie dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 40 °C

Wytrzymałość na rozciąganie (próba odniesienia) [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 40 °C [MPa]	Zmiana wytrzymałości na rozciąganie [%]
7,52 ± 0,17	6,88 ± 0,22	-8,5

W przypadku zmiany twardości PUR dla obu prób zmiana ta jest niewielka i mieści się w granicach błędu statystycznego. Wyniki przedstawiono w Tabelach 8 i 9.

Tabela 8. Zmiana twardości PUR dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 20 °C

Twardość bez poddania próbek działaniu oleju, Sh „A”	Twardość po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 20 °C, ° Sh „A”	Zmiana twardości [%]
89,0 ± 2,0	89,3 ± 2,0	0,3

Tabela 9. Zmiana twardości PUR dla próby działania oleju przez 7 dób w temperaturze 40 °C

Twardość bez poddania pró- bek działaniu oleju, Sh „A”	Twardość po poddaniu próbek działaniu oleju przez 7 dób o temp. 40 °C, Sh „A”	Zmiana twardości, [%]
89,0 ± 2,0	88,3 ± 2,0	-0,8

5. Podsumowanie

Trące elementy w rozjazdach kolejowych wymagają smarowania. Powszechnie stosowane środki smarne są produktami ropopochodnymi i przyczyniają się do zanieczyszczenia środowiska. Badania wskazują, że jeden litr oleju zanieczyszcza aż tysiąc litrów wody [17, 18]. Stosowanie biodegradowalnych środków smarnych przyczynia się znacząco do zmniejszenia uciążliwego oddziaływania na otoczenie.

Przeprowadzone badania oddziaływania biodegradowalnego środka smarnego na tworzywa polimerowe (HDPE i PUR) stosowane w nawierzchni kolejowej, wykazały niewielki, pomijalnie niski wpływ na zmianę parametrów wytrzymałościowych tych materiałów.

Bibliografia

1. Naduk, E., Milczarek, D. (2016). Wymagania dotyczące środków do smarowania rozjazdów kolejowych. *Prace Instytutu Kolejnictwa*, 149, 22-26.
2. Naduk, E. (2015). Wybrane problemy korozji w taborze szynowym i infrastrukturze. *Problemy Kolejnictwa*, 167, 51-55.
3. Smary plastyczne [w:] *Przemysłowe środki smarne*. Poradnik firmy Total Polska <http://produkty.total-polska.pl/wiedza/rozdzial%2019.pdf>
4. Korab, D. (2016). Nowe rozwiązania konstrukcyjne rozjazdu krzyżowego podwójnego na podrozjazdnicach strunobetonowych. *Przegląd Komunikacyjny*, 5, 4-8.
5. Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4, tekst ujednolicony uwzględniający zmiany wprowadzone Zarządzeniem Nr 50/2015 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 24 listopada 2015 r., Warszawa 2015 r.
6. Fabijański, M., Milczarek, D. (2013): Oddziaływanie substancji chemicznych na materiały polimerowe stosowane w transporcie kolejowym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport*. Transport, 2013, 98, 137-148.
7. Fabijański, M. (2013). Wpływ środowisk agresywnych na właściwości popularnych materiałów polimerowych stosowanych w transporcie szynowym, *Problemy Kolejnictwa*, 158, 51-67
8. Fabijański, M. (2014). Właściwości poliamidu przeznaczonego na wkładki dociskowe stosowane w przytwierdzeniu sprężystym szyn. *Problemy Kolejnictwa*, 165, 21-33
9. Nowak, W., Fabijański, M. (2014). Wpływ działania podwyższonej temperatury na wyroby z materiałów polimerowych. *Opakowanie*, (01).
10. Korab, D. (2005). Droga kolejowa – nawierzchnia (rozjazdy). *Rynek Kolejowy* nr 2/2005.
11. Fabijański, M. (2010). Badania nowych kompozycji poliamidowych przeznaczonych na wkładki dociskowe stosowane w przytwierdzeniu sprężystym szyn, *Prace Instytutu Kolejnictwa*, 144, 47.
12. Fabijański, M. (2010). Podstawy recyklingu materiałów w transporcie szynowym ze szczególnym uwzględnieniem tworzyw sztucznych, *Problemy Kolejnictwa*, 15, 19-27
13. Warunki dopuszczenia do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. środków do smarowania części trących w rozjazdach kolejowych Ir-27, Warszawa 2016.
14. PN-EN ISO 527-2: 2012 Tworzywa sztuczne - Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Część 2: Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do prasowania, wtrysku i wytłaczania.
15. PN-EN ISO 2039-1:2004 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości. Część 1: Metoda wciskania kulki.
16. PN-C-04238:1980 Guma – Oznaczanie twardości wg metody Shore'a.
17. Górka, K., Poskrobko, B., Radecki, W. (2001). *Ochrona środowiska*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
18. Macuda, J., Solecki, T. (2006). Zanieczyszczenie wód podziemnych substancjami węglowodorowymi w rejonie rafinerii ropy naftowej. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 23, 313-318.

Oddziaływanie biodegradowalnego oleju na właściwości mechaniczne tworzyw sztucznych stosowanych w nawierzchni kolejowej

Streszczenie. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wymagań, metodyki oraz wyników badań oddziaływania biodegradowalnego oleju na elementy z tworzyw sztucznych stosowanych w budowie rozjazdu kolejowego. Krótko omówiono czym są rozjazdy kolejowe i jak działają oraz jakie występują problemy z substancjami używanymi do ich smarowania, które nie pozostają bez wpływu na właściwości mechaniczne i trwałość wyrobów z materiałów polimerowych. Materiały tego typu wchłaniają różnego rodzaju substancje chemiczne w większym lub mniejszym stopniu, a to ma wpływ na ich właściwości. Do badań został wykorzystany uniwersalny olej do smarowania o biodegradowalnych właściwościach, co jest jego największą zaletą. Jednak nie może on powodować pogorszenia pracy rozjazdu oraz zmieniać właściwości materiałów użytych do jego budowy. Tego typu oleje wymagają częstszego aplikowania na elementy współpracujące ze sobą. W pracy wykorzystano dwa najbardziej popularne materiały polimerowe. Pierwszy to polietylen o dużej gęstości (HDPE), z którego wykonuje się wszelkiego rodzaju przekładki podszytowe, dyble do mocowania szyn, tuleje, itp. Drugi to poliuretan (PUR) stosowany najczęściej na przekładki podszytowe o różnym kształcie. Zaprezentowano metodykę i wyniki badań oddziaływania środka smarnego (biodegradowalnego oleju) na zmianę właściwości mechanicznych takich jak wytrzymałość oraz twardość. Badania zostały przeprowadzone w różnych temperaturach, a czas ekspozycji na olej wynosił 7 dób, wyniki odniesiono do próbek klimatyzowanych w standardowych warunkach. Przeprowadzone badania oddziaływania biodegradowalnego środka smarnego na tworzywa polimerowe (HDPE i PUR), wykazały niewielki wpływ na zmianę parametrów wytrzymałościowych tych materiałów.

Słowa kluczowe: smar, olej, właściwości mechaniczne, rozjazd kolejowy, biodegradowalność, HDPE, PUR

