

BADANIA STABILIZACJI PODSYPKI TŁUCZNIOWEJ PRZY UŻYCIU ŻYWICY WIĄŻĄCEJ NA TORZE DOŚWIADCZALNYM INSTYTUTU KOLEJNICTWA W ŻMIGRODZIE ORAZ NA TORACH PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.¹

Jerzy Cejmer

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów, tel. (0-22) 47 31 416

Adam Dąbrowski

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów, tel. (0-22) 47 31 354

Krzysztof Ochociński

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów, tel. (0-22) 47 31 340

***Streszczenie.** Istotnym zagadnieniem związanym z eksploatacją podsypki kolejowej jest trwałe utrzymanie normatywnego kształtu przyzmy tłucznia. W miejscach, w których podsypka narażona jest na zwiększone oddziaływania dynamiczne lub mechaniczne, pomocna w tym celu może okazać się metoda stabilizacji tłucznia żywicami wiążącymi. W niniejszym artykule opisano badania tej technologii prowadzone przez Instytut Kolejnictwa dla jednego z producentów na torze doświadczalnym w Żmigrodzie oraz na torach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.*

Słowa kluczowe: nawierzchnia, podsypka, żywica, stabilizacja

1. Wprowadzenie

Bardzo ważnym zagadnieniem w eksploatacji podsypki tłuczniowej jest utrzymanie odpowiedniego kształtu jej przyzmy. W miejscach poddanych zwiększonym oddziaływaniom dynamicznym, np. łukach toru o małym promieniu lub w strefach przejściowych przy obiektach inżynierskich, mogą w tym zakresie pojawiać się problemy. Jednak największe i najbardziej kłopotliwe zniszczenia uformowanej podsypki powodowane są przez osoby przekraczające tory kolejowe w miejscach niedozwolonych, czyli na tzw. dzikich przejściach. To bardzo niekorzystne zjawisko, występujące powszechnie w Polsce, przyczynia się do szybkiej, znacznej i powtarzalnej degradacji nawierzchni kolejowej, generując wysokie koszty jej utrzymania.

Jedną ze znanych i stosowanych za granicą metod ochrony podsypki przed opisanymi oddziaływaniami jest jej powierzchniowe powlekanie żywicą wiążącą. Żywica infiltrowana w głąb podsypki z określonym wydatkiem i głębokością penetra-

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Cejmer J.: 20%, Dąbrowski A.: 60%, Ochociński K.: 20%

cji skleja ziarna tłucznia, tworząc powłokę ochronną. Wzmocniona w ten sposób podsypka staje się odporna na oddziaływania mechaniczne, zachowuje pierwotnie nadany jej kształt oraz pozostaje przepuszczalna dla wody.

Od początku 2018 roku Instytut Kolejnictwa Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów prowadzi badania technologii powlekania podsypki żywicą wiążącą dla jednej z polskich firm. Do chwili opracowania niniejszego referatu przeprowadzono badania palności, badania wodoprzepuszczalności, badania rozmywania stoków podsypki, a ponadto utworzono poligony badawcze do obserwacji długotrwałych na torze doświadczalnym w Żmigrodzie oraz na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (w Warszawie i Gdyni). W niniejszym artykule opisano metodykę i wyniki tych prac.

2. Badania jednorazowe

Badania palności. Badania palności żywicy poliuretanowej z dodatkiem antypirenu zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach terenowych.

Celem badań laboratoryjnych było określenie podstawowej charakterystyki palno-dymowej żywicy, pozwalającej na opracowanie wstępnej oceny pod kątem bezpieczeństwa pożarowego, a także na doprecyzowanie warunków badań terenowych. W metodyce badań uwzględniono możliwą lokalizację żywicy wiążącej zarówno na warstwach poziomych tłucznia, jak i na skarpach przyzmy, a ponadto wzięto pod uwagę czynniki związane z możliwą stabilizacją podsypki żywicą w okolicach wlotów do tuneli oraz na odcinkach linii osłoniętych ekranami akustycznymi. W ramach badań laboratoryjnych kontroli poddano następujące cechy produktu:

- zapalność metodą wskaźnika tlenowego,
- rozprzestrzenianie płomienia po powierzchniach poziomych,
- rozprzestrzenianie płomienia po powierzchniach pionowych,
- emisja ciepła,
- właściwości dymowe,
- właściwości toksyczne produktów spalania.

Po zakończeniu badań laboratoryjnych zostały przeprowadzone badania terenowe:

- test polegający na umieszczaniu na tłuczniu pokrytym żywicą kolejnych rozżarzonych prętów o temperaturze ok. 800°C; nie stwierdzono zapłonu żywicy,
- test polegający na rozlaniu na tłuczniu pokrytym żywicą i podpaleniu mieszanki złożonej z benzyny i oleju napędowego w stosunku 1:2; nie stwierdzono zapłonu żywicy, stwierdzono znikomą adhezję paliwa do żywicy, gorszą niż w przypadku znajdujących się również na poletku doświadczalnym podkładów drewnianych.

Opisane badania palności wykazały, że pokrycie podsypki tłuczniowej żywicą poliuretanową z dodatkiem antypirenu przy aplikacji ok. $1,5 \text{ kg/m}^2$ (głębokość wnikania 10-15 cm) nie zagraża rozprzestrzenianiem się ognia w ramach prac utrzymaniowych i eksploatacji toru.

Badanie wodoprzepuszczalności. Badanie wodoprzepuszczalności przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, wykorzystując przygotowaną w tym celu skrzynię wypełnioną tłuczniem. Konstrukcja skrzyni zapewniała, że tylko jedna powierzchnia tłucznia, imitująca skarpcę nasypu, pozostawała odkryta (fot. 1). Odkrytą powierzchnię tłucznia pokryto żywicą o zwiększonym wydatku W_2 (jaki planowano zaaplikować później na torze doświadczalnym w Żmigrodzie w ramach tworzonego poligonu badawczego), pozostawiając w środku rurę odpływową (dren), która w zależności od potrzeb mogła być zaślepiona lub otwarta.



Fot. 1. Badanie wodoprzepuszczalności tłucznia pokrytego żywicą

Zgodnie z pierwotnymi założeniami badanie miało polegać na dwukrotnym (tj. przy drenie zaślepionym i otwartym) pomiarze czasu napełniania skrzyni wodą do określonego poziomu h_{\max} , a następnie czasu obniżenia się zwierciadła wody do określonego poziomu h_{\min} . Po rozpoczęciu eksperymentu okazało się, że wypływ wody przez tłuczeń pokryty żywicą jest tak duży, że nie ma możliwości uzyskania oczekiwanego poziomu napełnienia skrzyni h_{\max} .

W związku z powyższym zmodyfikowano doświadczenie poprzez dodatkowe szczelne zasłonięcie odkrytej powierzchni tłucznia płytą ochronną ze sklejkii oraz zaślepienie drenu. Dopiero w takich warunkach możliwe stało się napełnienie skrzyni wodą do pożądanego poziomu h_{\max} . Następnie, po zdjęciu płyty ochronnej, mierzono czas obniżenia zwierciadła wody do poziomu h_{\min} przy drenie zaślepionym oraz otwartym. W obu przypadkach czas okazał się jednakowy, co jednoznacznie potwierdziło wysoką wodoprzepuszczalność tłucznia pokrytego żywicą.

Badanie rozmywania tłucznia. Próbę rozmywania przeprowadzono na torze doświadczalnym w Żmigrodzie, tworząc w tym celu dzień wcześniej specjalne poletko doświadczalne o długości ok. 9 m w km 7,3 toru. Podsypkę w standardowy sposób ustabilizowano żywicą, tzn. na powierzchni od ławy torowiska do stopki szyny. Dogodne warunki atmosferyczne zapewniły prawidłowe związanie żywicy do momentu rozpoczęcia eksperymentu. Samo zaś badanie polegało na polewaniu tłucznia (zabezpieczonego i niezabezpieczonego żywicą) strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem, podawanym z prądownicy (fot. 2). Z wykorzystaniem miejscowego hydrantu i węża strażackiego wodę aplikowano przez czas około 45 sekund, po którym w tłuczniu niezabezpieczonym żywicą można było już obserwować niewielkie zniekształcenia przyzmy podsyпки wskutek przemieszczania się pojedynczych ziaren tłucznia. Przy dłuższym czasie podawania wody prawdopodobnie uzyskano by większe zniszczenia, jednak z uwagi na znaczne obciążenie toru doświadczalnego badaniami taboru należało tego uniknąć. Tłuczeń pokryty żywicą nie wykazywał żadnych zniszczeń, nawet przy dłuższym polewaniu wodą.



Fot. 2. Badanie rozmywania tłucznia

3. Badania ciągle na torze doświadczalnym w Żmigrodzie

Tor doświadczalny IK w Żmigrodzie. Zgodnie z przewidzianym programem badań pierwsze poligony doświadczalne przeznaczone do badania tłucznia stabilizowanego żywicą wiążącą powstały na torze doświadczalnym w Żmigrodzie. Obserwacje prowadzone w warunkach kontrolowanych miały poprzedzać aplikację żywicy w eksploatowanych torach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. W celu zapewnienia wymaganej jakości badań okręg badawczy w Żmigrodzie został odpowiednio przygotowany. W maju 2018 r. na sekcji nr 15 w km 4,288 – 4,588 zostały zabudowane nowe podkłady betonowe PS-83 z przytwierdzeniem typu SB-7, natomiast tłuczeń oczyszczono, uzupełniono i ustabilizowano maszyną DGS.

Ponadto na dwóch dzikich przejściach w km 2,4 oraz 3,0 wyprofilowano podsypkę tłuczniową, przywracając prawidłowy kształt jej przyzmy.

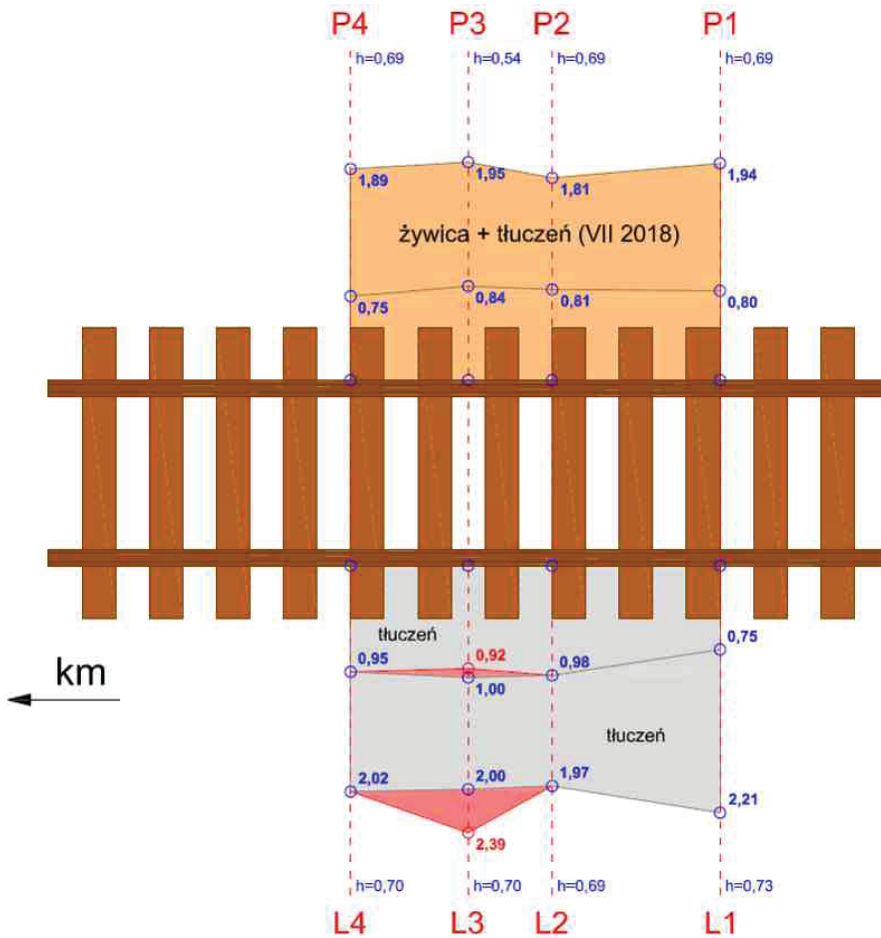
Aplikację żywicy przeprowadzono w dniach 6-7 lipca 2018 r. Z uwagi na utrudniony dostęp do niektórych lokalizacji wykorzystano w tym celu wózek motorowy WM-15 (fot. 3).



Fot. 3. Aplikacja żywicy na torze doświadczalnym w Żmigrodzie

Utworzono następujące poligony badawcze:

- czteroiodcinkowy poligon badawczy na łuku poziomym $R = 900$ m w sekcji nr 15 toru; charakterystyka kolejnych odcinków w obrębie poligonu jest następująca:
 - * odcinek referencyjny nr 1 o długości 100 m,
 - * odcinek badawczy nr 1 o długości 100 m z żywicą zaaplikowaną w wydatku W1,
 - * odcinek badawczy nr 2 o długości 32 m z żywicą zaaplikowaną w wydatku W2,
 - * odcinek obserwacyjny nr 2 o długości 68 m;na odcinkach badawczych żywicę zaaplikowano po zewnętrznej stronie łuku, na powierzchni od ławy torowiska do stopki szyny; w trakcie aplikacji podkłady oraz węzły przytwierdzenia były chronione specjalnymi osłonami i nie uległy zabrudzeniu;
- punktowy poligon badawczy na dzikim przejściu w km 2,4; żywicę zaaplikowano tylko po jednej stronie przejścia, obsypując ją uprzednio dodatkowo warstwą kłińca; drugą stronę przejścia pozostawiono niezabezpieczoną w celach porównawczych;
- punktowy poligon badawczy na dzikim przejściu w km 3,0; żywicę zaaplikowano tylko po jednej stronie przejścia, nie stosując dodatkowej warstwy kłińca, jak miało to miejsce w przypadku dzikiego przejścia w km 2,4; drugą stronę przejścia pozostawiono niezabezpieczoną w celach porównawczych.



Rys. 1. Poligon badawczy na dzikim przejściu w km 3,0

Kolorem niebieskim oznaczono pierwotne położenie krawędzi łąwy torowiska oraz krawędzi stoku pryzmy podsypki. Kolorem czerwonym oznaczono zaobserwowane zmiany, które ujawniły się tylko w strefie niezabezpieczonej żywicą

Do chwili opracowania artykułu na poligonach w Żmigrodzie wykonano trzy serie pomiarów i obserwacji w lipcu i grudniu 2018 r. oraz w czerwcu 2019 r. Kolejne trzy są przewidziane na listopad 2019 r. oraz kwiecień i październik 2020 r. Zakres badań jest następujący:

- na poligonie czteroodcinkowym:
 - * ogólna obserwacja wzrokowa,
 - * niwelacja toków szynowych,
 - * pomiar ciągły toromierzem elektronicznym TEC-1435 (wraz z pomiarem porównawczym całej pętli toru doświadczalnego);
- na dzikich przejściach:

- * ogólna obserwacja wzrokowa,
- * pomiar ukształtowania geometrycznego przyny podsypki.

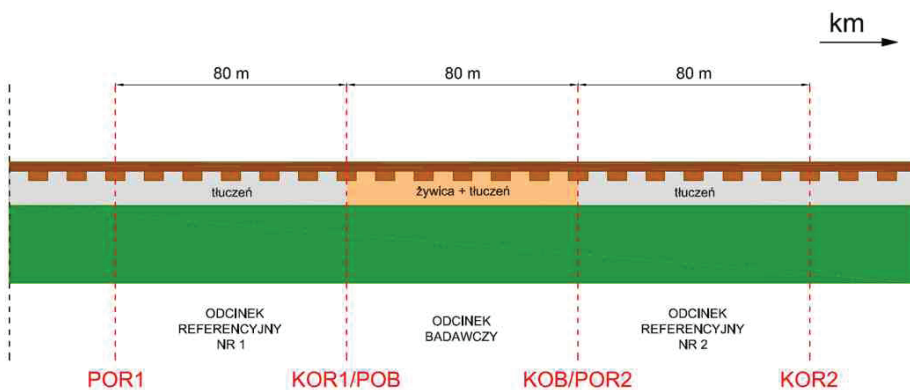
4. Badania ciągłe na sieci kolejowej PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Po uzyskaniu wstępnych pozytywnych rezultatów pomiarów i obserwacji tłucznia pokrytego żywicą na torze doświadczalnym w Żmigrodzie przystąpiono do organizacji poligonów badawczych na sieci kolejowej PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Przyjęto przy tym założenie, że podsypka stabilizowana żywicą powinna zostać sprawdzona w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych, w tym m. in. w przekroju odcinkowym. W efekcie założono:

- 3 trójodcinkowe poligony badawcze w łukach poziomych (tzw. poligony „3 ´80”),
- 2 punktowe poligony badawcze na dzikich przejściach.

Aplikacja żywicy na wszystkich poligonach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. odbyła się stacjonarnie, tzn. bez wykorzystania pojazdu kolejowego, jak miało to miejsce w Żmigrodzie.

Trójodcinkowe poligony badawcze „3 ´80” w łukach poziomych. Poligon „3 ´80” jest zlokalizowany w łuku poziomym linii kolejowej. W jego skład wchodzi trzy odcinki o długości 80 m każdy: dwa zewnętrzne odcinki referencyjne oraz środkowy odcinek badawczy. Żywica aplikowana jest na odcinku badawczym, na powierzchni od ławy torowiska do stopki szyny, po zewnętrznej stronie łuku kołowego. Szczegóły przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Układ poligonu „3 ´80”

Oznaczenia: $POR_{1/2}$ – początek odcinka referencyjnego nr 1/2, $KOR_{1/2}$ – koniec odcinka referencyjnego nr 1/2, POB – początek odcinka badawczego, KOB – koniec odcinka badawczego

Utworzono następujące poligony „3 ´80”:

- linia kolejowa nr 449 Warszawa Rembertów – Zielonka, tor nr 1, km 14,151 ÷ 14,391, łuk poziomy $R = 310$ m, odcinek o pochyleniu ok.

9‰ w nasypie, dojazd do wiaduktu kolejowego nad drogą i linią kolejową (utworzony 15 czerwca 2019 r.),

- linia kolejowa nr 449 Warszawa Rembertów – Zielonka, tor nr 2, km 14,369 ÷ 14,609, łuk poziomy $R = 491$ m, odcinek typowy bez znacznych pochyleń oraz robót ziemnych (utworzony 6 lipca 2019 r.),
- linia kolejowa nr 201 Nowa Wieś Wielka – Gdynia Port, tor 201, km 199,720 ÷ 199,960, łuk poziomy $R = 502$ m, linia kolejowa w przekroju odcinkowym, tzn. w wykopie z jednej strony i w nasypie z drugiej strony (utworzony 25 lipca 2019 r., patrz – fot. 4).



Fot. 4. Linia nr 201, tor nr 101, km 199,800 – początek odcinka badawczego.

Na tym fragmencie linia kolejowa przebiega w przekroju odcinkowym (po lewej – wykop, po prawej – nasyp).

Poligony „3 ´80” podlegają 6 seriom badań o następującym zakresie:

- ogólna obserwacja wzrokowa,
- niwelacja toków szynowych,
- pomiar ciągły toromierzem elektronicznym TEC-1435,
- pomiar strzałek łuku.

Punktowe poligony badawcze na „dzikich przejściach”. Poligon na „dzikim przejściu” jest zakładany po uprzednim wyprofilowaniu podsypki do stanu zgodnego z przepisami. Żywicą zostaje pokryty tłuczeń wyłącznie po jednej stronie przejścia tak, aby można było obserwować i porównywać zachowanie podsypki zabezpieczonej i niezabezpieczonej tłuczniem, jak również oceniać intensywność ruchu pieszego odbywającego się na danym przejściu.

Utworzono następujące poligony na „dzikich przejściach”:

- linia kolejowa nr 449 Warszawa Rembertów – Zielonka, tor nr 2, km 13,800, „dzikie przejście” na drodze osób spacerujących pomiędzy po-

bliskim osiedlem mieszkaniowym a terenami leśnymi (utworzony 6 lipca 2019 r.),

- linia kolejowa nr 449 Warszawa Rembertów – Zielonka, tor nr 2, km 14,200, „dzikie przejście” na drodze osób spacerujących pomiędzy pobliskim osiedlem mieszkaniowym a terenami leśnymi (utworzony 6 lipca 2019 r., patrz – fot. 5).

Poligony na „dzikich przejściach” podlegają 6 seriom badań o następującym zakresie:

- ogólna obserwacja wzrokowa,
- pomiar ukształtowania geometrycznego pryzmy podsypki.



Fot. 5. Dzikie przejście w km 13,800 toru nr 2 linii nr 449 jeden dzień po zakończeniu aplikacji żywicy

5. Wnioski po pierwszych pomiarach

Wnioski z badań jednorazowych. Do chwili sporządzenia niniejszego artykułu przeprowadzono opisane w atykułe badania palności, wodoprzepuszczalności i rozmywania tłucznia. Wykazały one, że w badanych aspektach stosowanie technologii powlekania tłucznia żywicą poliuretanową z dodatkiem antypirenu nie powoduje zwiększonego zagrożenia pożarowego, a pod względem eksploatacyjnym nie utrudnia odpływu wody oraz w zauważalny sposób zwiększa odporność pryzmy podsypki na działanie wody spływowej/opadowej.

Wnioski z badań ciągłych. Do chwili sporządzenia niniejszego artykułu wykonano 3 serie pomiarów w ramach badań ciągłych na torze doświadczalnym w Żmigrodzie oraz 1 serię badań w torach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Dotychczasowe obserwacje wskazują, że zaaplikowana żywica spełnia należycie swoją podstawową funkcję, jaką jest prawidłowa stabilizacja podsypki tłuczniowej. Na żadnym z poligonów nie zaobserwowano objawów degradacji stoków pokrytych żywicą, podczas gdy w obrębie „dzikich przejść”, zgodnie z przewidywaniami stoki niezabezpieczone żywicą wykazują oznaki zużycia (obsypywanie tłucznia na skutek ruchu osób postronnych).

Sklejone żywicą ziarna tłucznia są ze sobą prawidłowo związane, na skutek kopnięcia lub tarcia podeszwą ciężkiego obuwia odpadają nieliczne z nich, z różnych przyczyn słabiej sklejone z pozostałymi. Nie powstają w ten sposób przestrzenie podsypki pozbawione pokrycia żywicą, co świadczy o tym, że wniknęła ona w podsypkę tłuczniową na wymaganą głębokość, tworząc warstwę ochronną, którą umownie można nazwać „skorupą żywiczno-tłuczniową”.

Należy podkreślić, że pokrycie tłucznia żywicą bardzo ułatwia ruch pracowników torowych (np. toromistrzów, monterów) po tak wzmocnionej podsypce.