

SPOSOBY POWIĘKSZENIA EFEKTÓW ZASTOSOWANIA WARSTWY OCHRONNEJ¹

Łucjan Siewczyński

dr hab. inż. prof. n. PP, prof. n. PWSZ w Gnieźnie, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań, tel.: 61 665 2431, lucjan.siewczynski@put.poznan.pl

Michał Pawłowski

dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań, tel.: 61 665 2407, michal.pawlowski@put.poznan.pl

***Streszczenie.** W artykule opisano najczęstsze przyczyny występowania problemów z uzyskaniem wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną. Przedstawiono klasyfikację przyczyn z wydzieleniem czterech ich zbiorów: pogorszenie warunków gruntowo-wodnych, błędy projektowe, błędy wykonawcze oraz ograniczenia konstrukcyjno-wykonawcze. Podano różne sposoby rozpoznawania przyczyn i wskazano metody ich eliminacji umożliwiające uzyskanie pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną.*

***Słowa kluczowe:** droga kolejowa; podtorze kolejowe; warstwa ochronna*

1. Wstęp

W przebudowie podtorza dróg kolejowych, dla jego modernizacji lub naprawy, z uwzględnieniem aktualnych wymagań zawartych w normach i w przepisach, przy zastosowaniu nowych sposobów i technologii robót, osiągane są trzy główne cele: ulepszenie stanu powstałego wskutek zastosowanych metod i wymagań w czasie budowy często w odległej przeszłości, usunięcie skutków wieloletniej eksploatacji, dostosowanie do nowych warunków eksploatacji (powiększania prędkości, nacisków i przewozów, zmian układu geometrycznego drogi, itp.).

Jeśli podtorze nie wykazuje niestateczności w dotychczasowym użytkowaniu i nie następuje zmiana układu geometrycznego drogi, głównym zabiegiem modernizacyjnym lub naprawczym jest wzmocnienie górnej strefy podtorza przez wbudowanie warstwy ochronnej i zmiana warunków odwodnienia. Efektem modernizacji powinno być uzyskanie wymaganej nośności podtorza, czyli wartości minimalnego modułu odkształcenia wtórnego i zagęszczenia materiałów i gruntów, czyli wartości wskaźnika zagęszczenia (parametrów odbiorczych podtorza). Wbudowanie warstwy ochronnej jest jednocześnie wymianą zużytych materiałów i gruntów, stanowiących górną strefę przed przebudową [7].

¹ Wkład autorów w publikację: Siewczyński Ł. 50%, Pawłowski M. – 50%

Przebudowa wykonywana jest przy zastosowaniu maszyn do robót ziemnych i typowych technologii lub pociągami do napraw podtorza. Trudne lub niemożliwe jest usunięcie niektórych stanów i wad podtorza, powstałych podczas jego budowy np. wskutek zastosowania niewłaściwych gruntów do budowy nasypów, nieodpowiedniego rozmieszczenia gruntów w przekroju poprzecznym podtorza, małego zagęszczenia gruntów w nasypach, itp.

Istniejący stan podtorza rozpoznawany jest w procesie badań geotechnicznych przy zastosowaniu podstawowych metod bezpośrednich, to jest otworów wiertniczych i badań próbek gruntów oraz sondowań i obciążeń próbnych, które są badaniami pomocniczymi. Obecnie często stosowane są także pośrednie geofizyczne metody badań podtorza, np. georadarowa, elektrooporowa, sejsmiczna.

Dotychczasowa górna strefa podtorza zostaje zastąpiona nową konstrukcją, którą tworzą subwarstwy z materiałów naturalnych lub z kamienia łamanego, w razie potrzeby zawierające geokompozyty. Warstwy ochronne budowane są na stosownie przygotowanych gruntach podtorza lub podłoża. Często przygotowanie to polega na zastosowaniu stabilizacji gruntów spoiwami budowlanymi.

Grubość warstwy ochronnej obliczana jest z uwzględnieniem wyników badań geotechnicznych, to jest rodzajów i właściwości gruntów, według przepisów kolejowych na dwa sposoby. Weryfikacja projektu grubości warstwy następuje podczas prac modernizacyjnych lub naprawczych, które umożliwiają porównanie parametrów gruntów przyjętych do projektu, jako wyniki badań punktowych, z rzeczywistymi parametrami gruntów podtorza przebudowywanego, to jest po usunięciu części istniejącego podtorza o grubości warstwy ochronnej. Na budowie przeprowadzane są porównawcze badania geotechniczne i na tej podstawie może być konieczna obliczeniowa weryfikacja grubości warstwy – dla ustalonej i wykonanej już głębokości robót przygotowawczych zwiększenie nośności warstwy dla osiągnięcia wymaganej nośności całego nowego układu [4].

Po zakończeniu przebudowy podtorza dokonuje się geotechnicznych badań odbiorczych, w których kontroluje się stany odkształcenia i zagęszczenia podtorza określone odpowiednio wartościami wtórnego modułu odkształcenia mierzonego na torowisku i wskaźnika zagęszczenia kruszywa warstwy ochronnej. Wartości te porównywane są z wymaganymi wartościami parametrów odbiorczych określonymi w przepisach [1] i dokumentacji projektowej.

2. Problemy z uzyskaniem wymaganych wartości odbiorczych parametrów podtorza z warstwą ochronną

W robotach naprawczych i modernizacyjnych podtorza polegających na wbudowaniu warstwy ochronnej, mimo realizacji robót zgodnie z projektem i sztuką budowlaną, zdarzają się problemy z uzyskaniem wymaganych wartości modułów odkształcenia mierzonych na torowisku oraz wskaźników zagęszczenia kruszywa warstwy (geotechnicznych parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochron-

na). Problemy te najczęściej dotyczą wybranych punktów lub odcinków przebudowywanego podtorza. Ustalenie przyczyn braku spodziewanego efektu wzmocnienia podtorza umożliwia podjęcie stosownych kroków w celu ich wyeliminowania, przeprowadzenia stosownych procesów poprawiających właściwości podtorza i w rezultacie uzyskanie podtorza charakteryzującego się wymaganymi parametrami. W trakcie rozpoznania problemu niejednokrotnie stwierdza się, że nastąpił splot wielu drobnych przyczyn, które jako pojedyncze mogłyby mieć minimalny wpływ na właściwości podtorza, jednak skumulowane doprowadziły do niekorzystnych okoliczności, w których nie uzyskuje się wymaganych stanów odkształcalności i zagęszczenia podtorza.

W celu rozpoznania przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną zaleca się:

- zapoznać się z projektem wzmocnienia podtorza i dokumentacją geotechniczną,
- skontrolować zapisy w Dzienniku Budowy dotyczące przeprowadzonych robót ziemnych oraz sposobów budowy warstwy ochronnej,
- wykonać przekop kontrolny oraz przeprowadzić kontrolę konstrukcji i grubości warstwy, przeprowadzić makroskopową ocenę właściwości gruntów podtorza,
- wykonać pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych (w przekopie kontrolnym),
- na pobranych próbkach przeprowadzić kontrolę właściwości kruszywa warstwy,
- dokonać oceny odkształcalności zastosowanej geowłókniny pod obciążeniem [2].

Na podstawie własnych doświadczeń zdobytych podczas modernizacji linii kolejowych E20, E30 i LK nr 1 [3, 6-8], których jednym z elementów była przebudowa podtorza, podjęto próbę sklasyfikowania przyczyn niezyskiwania pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Wydzielono i opisano 20 przyczyn, które podzielono na cztery zbiory: pogorszenie warunków gruntowo-wodnych, błędy projektowe, błędy wykonawcze i ograniczenia konstrukcyjno-wykonawcze (tab. 1) [2]. Zestawienie przyczyn problemów z odbiorem wzmocnień podtorza i sposoby ich rozpoznania przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Przyczyny problemów z uzyskaniem pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną oraz sposoby ich rozpoznania {2} i eliminacji

<i>Grupa</i>	<i>Przyczyna</i>	<i>Sposób rozpoznania</i>	<i>Metody zaradcze</i>	
(1) Pogorszenie warunków gruntowo-wodnych	1.1	Wystąpienie niesprzyjających warunków atmosferycznych	Wykonanie przekopu kontrolnego i makroskopowa ocena właściwości gruntów podtorza. Poprawa warunków odwodnienia podtorza. Naprawa podtorza pod warstwą.	
	1.2	Destrukcyjne oddziaływanie poruszającego się sprzętu budowlanego po podtorzu		
	1.3	Destrukcyjne oddziaływanie maszyn zagęszczających		
	1.4	Brak drożności ciągów odwodnieniowych w trakcie prowadzenia robót		
(2) Błędy projektowe	2.1	Błędne lub w ograniczonym zakresie rozpoznanie właściwości gruntów podtorza i układów ich warstw	Bieżąca kontrola właściwości gruntów podtorza w trakcie realizacji robót. Powtórny pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych.	
	2.2	Przyjęcie błędnych założeń projektowych		
	2.3	Niedostosowanie grubości warstwy ochronnej do rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych podtorza		
	2.4	Zaprojektowanie zbyt małych grubości warstwy		
(3) Błędy wykonawcze	3.1	Błędy pomiarowe prowadzące do uzyskania warstwy ochronnej o zbyt małej grubości	Wykonanie przekopu kontrolnego i pomiar grubości warstwy.	
	3.2	Brak uwzględnienia zmiany grubości warstwy podczas jej zagęszczania		
	3.3	Nierównomierne zagęszczenie gruntów podtorza i kruszywa warstwy ochronnej (na długości warstwy)	Badania wskaźników zagęszczenia podtorza w różnych lokalizacjach.	Dogęszczenie podtorza.
	3.4	Zastosowanie do budowy warstwy kruszywa o nieodpowiednich właściwościach	Wykonanie przekopu kontrolnego i kontrola właściwości kruszywa.	Stabilizacja kruszywa warstwy spoiwami hydraulicznymi. Wymiana kruszywa warstwy.
	3.5	Niedostateczny stan zagęszczenia kruszywa warstwy (na grubości warstwy)	Punktowa ocena stanu zagęszczenia warstwy. Wykonanie przekopu kontrolnego.	Dogęszczenie podtorza.

(4) Przyczyny konstrukcyjno-wykonawcze	4.1	Dokładność realizowanych robót	Wykonanie przekopu kontrolnego i pomiar grubości warstwy.	Stabilizacja kruszywa warstwy spoiwami hydraulicznymi. Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej.
	4.2	Brak kontroli stanu jednorodności podtorza w części punktów odbioru podtorza z warstwą ochronną	Wykonanie przekopu kontrolnego i pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych.	
	4.3	Wzmocnienia o dużej grubości	Punktowa ocena stanu zagęszczenia warstwy. Wykonanie przekopu kontrolnego.	Dogęszczenie podtorza.
	4.4	Warstwy zbudowane z subwarstw z różnych kruszyw	Wykonanie przekopu kontrolnego i kontrola konstrukcji warstwy.	Stabilizacja kruszywa warstwy spoiwami hydraulicznymi. Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej.
	4.5	Wzmocnienia zawierające geowłókniny	Wykonanie przekopu kontrolnego i ocena odkształcalności geowłókniny pod obciążeniem.	Dogęszczenie podtorza.
	4.6	Zastosowanie pociągu do napraw podtorza	Kontrola zapisów w Dzienniku Budowy	Dogęszczenie podtorza.
	4.7	Brak efektów stabilizacji chemicznej podtorza ze względu na skład mieszanki lub zbyt wczesne oczekiwanie jej skutków	Wykonanie przekopu kontrolnego i kontrola jakości wykonanej stabilizacji	Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej.

3. Środki zaradcze w problemach z odbiorem podtorza z warstwą ochronną

Wśród sposobów poprawy właściwości podtorza, w przypadku występowania braku spodziewanych efektów wzmocnienia podtorza, wyróżniono następujące metody: dogęszczenie podtorza, poprawa warunków odwodnienia podtorza, stabilizacja kruszywa warstwy ochronnej spoiwami hydraulicznymi, wymiana kruszywa warstwy ochronnej, zmiana konstrukcji warstwy ochronnej oraz naprawa podtorza pod warstwą (tab. 1). Dobór odpowiedniej metody powinien być podyktowany: rodzajem rozpoznanych przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną, wartością deficytu wartości parametrów odbiorczych podtorza oraz dostępnością środków technicznych. Czas i koszt wykonania zabiegów poprawy właściwości podtorza są uzależnione od rodzaju rozpoznanych przyczyn oraz wartości deficytu parametrów odbiorczych. Szczególnie przy znacznym deficycie wartości parametrów odbiorczych koszty przeprowadzenia dodatkowych procesów są odwrotnie proporcjonalne do czasu uzyskania efektów poprawy właściwości podtorza. Im szybsza metoda poprawy właściwości podtorza, tym koszty jej przeprowadzenia są większe. W skrajnych przypadkach efekt poprawy właściwości podtorza z warstwą ochronną uzyskuje się przy dużym na-

kładzie czasu i kosztów. Należy również uwzględnić, że problemy z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną najczęściej wynikają ze splotu kilku przyczyn w związku z czym ich eliminacja może wymagać zastosowania kilku metod zaradczych.

3.1. Dogęszczenie podtorza

Najprostszą i najszybszą metodą poprawy właściwości podtorza, w przypadku braku spodziewanych efektów jego wzmocnienia, jest ponowne przeprowadzenie procesu zagęszczania – dogęszczenie podtorza [5]. Metodę tą można stosować gdy jedną z przyczyn zbyt małych wartości parametrów odbiorczych podtorza jest nierównomierne zagęszczenie gruntów podtorza i kruszywa warstwy ochronnej na jej długości lub grubości. Wykonując dodatkowe zagęszczanie podtorza należy zwrócić uwagę na to by proces ten był przeprowadzany przy zachowaniu wilgotności kruszywa (na całej grubości warstwy) zbliżonej do jej wilgotności optymalnej co jest trudne do uzyskania zwłaszcza w niesprzyjających warunkach atmosferycznych – w trakcie długotrwałych opadów, gdy wilgotność kruszywa jest zbyt duża, lub w czasie suszy gdy wilgotność kruszywa jest zbyt mała. W przypadku stwierdzenia zbyt dużej wilgotności kruszywa koniecznymi dodatkowymi procesami mogą się okazać: zastosowanie spoiwa hydraulicznego (patrz pkt. 3.3) lub wymiana kruszywa warstwy (patrz pkt. 3.5). Dobór maszyn i parametrów procesu zagęszczania powinien uwzględniać rodzaj i właściwości gruntów podtorza pod warstwą, by poprawiając stan zagęszczenia warstwy ochronnej nie doprowadzić do niekorzystnych zmian właściwości gruntów pod warstwą.

3.2. Poprawa warunków odwodnienia podtorza

Do stosunkowo prostych metod polepszenia właściwości podtorza, w przypadku braku uzyskania wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną, jest poprawa warunków odwodnienia podtorza. Metoda ta powinna być stosowana każdorazowo gdy stwierdzonymi przyczynami komplikacji z odbiorem podtorza z warstwą ochronną są problemy wynikające z pogorszenia się warunków gruntowo-wodnych. Może to nastąpić w trakcie realizacji prac naprawczych i wynikać np. z wystąpienia gwałtownych opadów czy z uwagi na przyjętą kolejność wykonywanych prac bez ciągów odwodnieniowych lub ich niedostatecznej drożności. Efekt zastosowania tej metody może być uzyskiwany po dość długim czasie, w związku z tym w celu szybszego uzyskania podtorza o pożądanych parametrach najczęściej wykonuje się równolegle również inne procesy poprawiające właściwości podtorza, np. stabilizację podtorza lub warstwy spoiwami hydraulicznymi.

3.3. *Stabilizacja warstwy spoiwami hydraulicznymi*

W przypadku, gdy brak spodziewanego efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną wynika z nieodpowiednich właściwości kruszywa warstwy (wilgotność, odkształcalność) lub mniejszymi od przewidzianych w projekcie parametrami odkształcalności podtorza pod warstwą, skuteczną metodą poprawy wartości parametrów odbiorczych podtorza może okazać się stabilizacja warstwy spoiwami hydraulicznymi [3]. Przeprowadzenie tego procesu wymaga odspojenia kruszywa, wymieszania go ze spoiwem i ponownego zagęszczenia warstwy ochronnej, a także wymaga odpowiednich środków technicznych (rozsiewacza spoiwa i recyklera). Zastosowanie spoiwa hydraulicznego skutecznie zmniejsza wilgotność kruszywa. Jest to korzystne w przypadku gdy zastosowano kruszywo o wilgotności znacznie większej od optymalnej, co utrudniało właściwe jego zagęszczenie oraz może powodować konieczność dodania spoiwa i wody w przypadku gdy wilgotność kruszywa jest znacznie mniejsza od optymalnej. Warto zauważyć, że wilgotność optymalna kruszywa stabilizowanego spoiwem hydraulicznym może być inna od tej ustalonej dla kruszywa bez spoiwa. W wyniku aplikacji spoiwa hydraulicznego zmniejsza się odkształcalność warstwy ochronnej, a tym samym również zwiększają się moduły odkształcenia podtorza z warstwą ochronną. Poprawa właściwości podtorza następuje po kilku do kilkunastu dni po aplikacji spoiwa. Rodzaj spoiwa powinno dobierać się w zależności od rodzaju kruszywa warstwy, a wielkość dodatku spoiwa należy ustalać z uwzględnieniem właściwości podtorza pod warstwą tak, by poprzez punktową lub odcinkową zmianę sztywności warstwy ochronnej nie doprowadzić od powstania efektu progowego na styku z podtorzem charakteryzującym się wymaganymi stanami odkształcalności i zagęszczenia.

3.4. *Wymiana kruszywa warstwy*

Realizacja robót wzmocnienia podtorza warstwą ochronną na znacznych długościach torów wymaga dostarczenia dużej ilości kruszywa, w którego wielu partiach mogą zdarzyć się takie, które charakteryzują się gorszymi właściwościami od deklarowanych przez producentów. Właściwości kruszywa stosowanego na warstwy ochronne mogą ulec pogorszeniu również na budowie, np. w wyniku: wystąpienia niekorzystnych warunków atmosferycznych, rozsortowania się w efekcie nieodpowiedniego transportowania i składowania, nieodpowiednio dobranego procesu zagęszczania. Prowadzenie bieżącej kontroli właściwości stosowanych kruszyw na budowie powinno umożliwić identyfikację takich przypadków i ich eliminację. Zdarza się jednak, że dopiero na etapie odbioru podtorza z warstwą ochronną i stwierdzenia zbyt małych wartości parametrów odbiorczych okazuje się, że główną przyczyną takiego stanu jest zastosowanie niewłaściwego kruszywa np. ze skał miękkich, o nieodpowiednim uziarnieniu czy o zbyt dużej wilgotności. Jeżeli poprawy właściwości kruszywa nie można uzyskać poprzez jego stabilizację spoiwami hydraulicznymi lub efekt poprawy właściwości podtorza należy uzyskać w krót-

kim czasie, to najkorzystniejszą metodą zaradczą może okazać się wymiana niezdatnego kruszywa na takie, które będzie charakteryzowało się odpowiednimi właściwościami. Proces ten wymaga odspojenia i zutylizowania „złego” kruszywa, dostarczenia, wbudowania i zagęszczenia kruszywa „dobrego”.

3.5. Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej

Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej przy jednoczesnym zwiększeniu jej nośności i przy zachowaniu zaprojektowanej grubości (co eliminuje konieczność wykonania dodatkowych robót ziemnych) może być niezbędna, gdy przyczyną braku spodziewanego efektu wzmocnienia podtorza są np. stwierdzone w przekopie kontrolnym mniej korzystne niż przyjęte do projektu warunki geotechniczne przebudowywanego podtorza. Dla zmiany nośności (wytrzymałości) warstwy ochronnej można stosować różne zabiegi dostosowujące całą konstrukcję górnej strefy podtorza do nowych warunków, bez zmiany założonej, ale koniecznej nośności całego układu podtorze-warstwa ochronna w wyniku zastosowania:

- lepszego materiału do budowy warstwy – inny rodzaj kruszywa o korzystniejszych właściwościach (np. uziarnienie, moduł sprężystości),
- układu subwarstw, którego co najmniej jedna subwarstwa będzie z kruszywa o lepszych właściwościach niż właściwości warstwy pojedynczej,
- większego zagęszczenia podtorza i warstwy ochronnej niż przyjęte w projekcie,
- geokompozytów (geowłóknin, geotkanin, geosiatek, geokrat) jako elementów zbrojenia kruszywa,
- stabilizacji spoiwami hydraulicznymi podtorza pod warstwą ochronną [4].

W niektórych przypadkach może być potrzebne zastosowanie jednocześnie kilku zabiegów spośród wyżej wymienionych lub nawet ingerencja w podtorze pod warstwą umożliwiającą zastosowanie wzmocnienia o większej grubości.

3.6. Naprawa podtorza pod warstwą

W sytuacjach gdy w wyniku zaniedbań lub niewłaściwie dobranych procesów technologicznych w trakcie realizacji robót w doszło do pogorszenia właściwości gruntów podtorza pod warstwą, np. w wyniku destrukcyjnego oddziaływania sprzętu transportowego czy zagęszczającego jedyną metodą umożliwiającą eliminację przyczyn braku uzyskania pełnych efektów wzmocnienia podtorza może być naprawa podtorza pod warstwą. Metoda ta wymaga usunięcia wbudowanej warstwy ochronnej, przeprowadzenia procesów naprawczych polegających np. na stabilizacji chemicznej gruntów lub wymianie części gruntów prowadzącej do uzyskania warstwy ochronnej o zwiększonej grubości oraz ponownego wbudowania warstwy ochronnej o takiej samej lub zmienionej konstrukcji.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy przyczyn występowania problemów z uzyskaniem wymaganych wartości geotechnicznych parametrów odbiorczych po wbudowaniu warstwy ochronnej oraz sposobów ich rozpoznania i eliminacji, można sformułować następujące wnioski:

- Wzmacnianie podtorza systemem warstw ochronnych napotyka na utrudnienia na każdym etapie realizacji: zbierania informacji o podtorzu, sporządzania programu badań i jego przeprowadzania, wykonywania projektu wzmocnienia i procesu budowania warstwy;
- Przedstawiona klasyfikacja przyczyn problemów z uzyskaniem geotechnicznych parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną ich rozpoznania i eliminacji oparta jest na analizie wielu rzeczywistych przypadków przebiegu przebudowy podtorza;
- Prawidłowe rozpoznanie i ocena niepełnych efektów przebudowy podtorza pozwala na zastosowanie stosownych środków zaradczych.

Bibliografia

- [1] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [2] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Przyczyny utrudnień w osiąganiu pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 25/2017. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2017, s. 357-366.
- [3] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Stabilizacja podtorza dla budowy warstwy ochronnej. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne metody stabilizacji podłoża pod nawierzchnie drogowe i kolejowe”, Żmigród-Węglewo 22-23.10.2009 r., s. 111-117
- [4] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Stosowanie równoważnych konstrukcji wzmocnień górnej strefy podtorza. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2016, nr 2 (109), „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym” cz. I. Droga kolejowa, s. 137-146.
- [5] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Zależność stanu zagęszczenia podtorza od stanu jego odkształcalności. Przegląd Komunikacyjny 10/2016, s. 30-35.
- [6] Siewczyński Ł., 10 lat modernizacji podtorza w PKP. Materiały sesyjne z Sesji Naukowej „Nawierzchnie kolejowe dla dużych prędkości” z okazji 45. lecia pracy naukowej oraz 70. lecia urodzin Prof. dr hab. inż. H. Bałucha, Gdańsk 25.10.2002, str. 133-142.
- [7] Siewczyński Ł., Problemy modernizacji podtorza odcinka lubuskiego linii kolejowej E20. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej SITK

- Poznań „Nowoczesne technologie i inżynieria finansowania modernizacji linii kolejowych” Słubice 2003 r., str. 37-51.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Wymagane i osiągnięte wartości wskaźnika odkształcenia modernizowanego podtorza. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2005, nr 73, z. 124 „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym”, str. 245-264.