

Sposoby rozpoznawania przyczyn braku pełnych efektów zastosowania warstwy ochronnej

Ways of identifying the reasons for the lack of full protective layer application effects



Łucjan Siewczyński

Dr hab. inż. em. prof. PP

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Gnieźnie, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

lucjan.siewczynski@put.poznan.pl



Michał Pawłowski

Dr inż.

Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

lmichal.pawlowski@put.poznan.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono najczęstsze przyczyny występowania problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną (modułów odkształcenia i wskaźników zagęszczenia). Szczegółowo omówiono różne sposoby ich rozpoznawania. Wskazano ograniczenia i uwarunkowania badań dla rozpoznania przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Zaprezentowano metody eliminacji ograniczeń i niepowodzeń umożliwiające uzyskanie pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną.

Słowa kluczowe: Droga kolejowa; Podtorze kolejowe; Warstwa ochronna

Abstract: The article presents the most common causes of problems with obtaining the required parameter values of a subgrade with a protective layer during the technical acceptance (the module of base deformation and the density rate). There were discussed in detail various methods of recognition. Pointed the limitations and determinants of the research to recognize the reasons for the lack of the reinforcement effect of the subgrade with the protective layer. Presented methods that eliminates the limitations and problems allowing to obtain full effects of the subgrade reinforcement with the protective layer.

Keywords: Railroad; Subgrade; Protective layer

Podczas przebudowy podtorza dróg kolejowych prowadzonej w ramach jego modernizacji lub naprawy, z uwzględnieniem aktualnych wymagań zawartych w przepisach i normach oraz przy zastosowaniu nowych sposobów i technologii robót osiąga się trzy główne cele: polepszenie stanu drogi powstałej w przeszłości z uwzględnieniem ówczesnie znanych metod budowy i obowiązujących przepisów, usunięcie skutków wieloletniej eksploatacji oraz dostosowanie podtorza do nowych warunków eksploatacyjnych (większych prędkości, nacisków osiowych i przewozów, zmian układu geometrycznego drogi, itp.).

Podstawowym zabiegiem modernizacyjnym lub naprawczym podtorza, jeśli w eksploatacji nie wykazuje oznak niestateczności i gdy nie następuje zmiana układu geometrycznego drogi, jest wzmocnienie jego górnej strefy poprzez zastosowanie warstwy

ochronnej i poprawę warunków odwodnienia. W większości przypadków wbudowanie warstwy ochronnej jest wymianą zużytych materiałów i gruntów stanowiących górną strefę podtorza przed przebudową. Nowa konstrukcja, którą tworzą subwarstwy z materiałów naturalnych lub kamienia łamanego, w razie potrzeby zawierająca również geokompozyty, zastępuje dotychczasową górną strefę podtorza. Warstwy ochronne wykonywane są na odpowiednio przygotowanych gruntach podtorza lub podłoża. W szczególnych przypadkach przygotowanie to wymaga zastosowania stabilizacji gruntów spoiwami budowlanymi [10]

W procesie badań geotechnicznych, przy zastosowaniu podstawowych metod bezpośrednich – otworów wiertniczych i badań próbek gruntów oraz badań pomocniczych – sondowań i obciążeń próbnych, rozpoznawany jest stan istniejącego podtorza. Jako uzupełniające stosowane są także

pośrednie geofizyczne metody badań podtorza, np. radarowa.

Na podstawie wyników badań geotechnicznych, to jest rodzajów i właściwości gruntów sporządza się projekt przebudowy podtorza zawierający rodzaj i grubość konstrukcji wzmocnienia oraz wymagany stan podtorza w czasie i po zakończeniu prac.

Podczas prac modernizacyjnych lub naprawczych, z uwzględnieniem wyników badań geotechnicznych wykonywanych po usunięciu części istniejącego podtorza, na poziomie posadowienia warstwy ochronnej, następuje weryfikacja projektu konstrukcji warstwy poprzez porównanie parametrów gruntów przyjętych do projektu z rzeczywistymi parametrami gruntów podtorza przebudowywanego. W przypadku rozbieżności, dla osiągnięcia wymaganej nośności całego nowego układu podtorza – warstwy ochronna może być konieczna korekta zaprojektowanej grubości war-

Tab. 1. Sposoby rozpoznania, przyczyny [8] i sposoby eliminacji [9] problemów z uzyskaniem pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną

Grupa	Nr	Przyczyna	Sposób rozpoznania	Metody zaradcze
(1) Pogorszenie warunków gruntowo-wodnych	1.1	Wystąpienie niesprzyjających warunków atmosferycznych	Wykonanie przekopu kontrolnego i makroskopowa ocena właściwości gruntów podtorza. Powtórny pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych (w przekopie kontrolnym)	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 czasie 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 podczas realizacji robót. Powtórny pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych	Stabilizacja kruszywa warstwy spoiwami hydraulicznymi. Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej. Naprawa podtorza pod warstwą
	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	Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej
	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 i pomiar grubości warstwy	Dogęszczenie podtorza
(4) Przyczyny konstrukcyjno-wykonawcze	4.1	Dokładność realizowanych robót	Wykonanie przekopu kontrolnego i kontrola konstrukcji 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	Dogęszczenie podtorza
	4.3	Wzmocnienia o dużej grubości	Punktowa ocena stanu zagęszczenia warstwy. Wykonanie przekopu kontrolnego	Stabilizacja kruszywa warstwy spoiwami hydraulicznymi. Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej
	4.4	Warstwy zbudowane z subwarstw z różnych kruszyw	Wykonanie przekopu kontrolnego i kontrola konstrukcji warstwy	Dogęszczenie podtorza
	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

stwy [11]

Prace budowlane wykonywane są z zastosowaniem typowych technologii i ogólnobudowlanych maszyn do robót ziemnych lub pociągami do napraw podtorza. Podczas prac trudne lub niemożliwe jest usunięcie niektórych stanów i wad z okresu budowy podtorza powstałych np. w wyniku zastosowania niewłaściwych gruntów,

nieodpowiedniego ich rozmieszczenia w przekroju poprzecznym podtorza, małego zagęszczenia gruntów w nasypach, itp.

W wyniku przeprowadzonych prac podtorze powinno charakteryzować się wymaganą nośnością oraz stosownym stanem zagęszczenia kruszyw i gruntów. Dlatego po zakończeniu przebudowy wykonuje się geotech-

niczne badania odbiorcze, w których kontrolowane są stany odkształcenia i zagęszczenia podtorza określone odpowiednio wartościami wtórnego modułu odkształcenia mierzonego na torowisku i wskaźnika zagęszczenia kruszywa warstwy ochronnej. Wyniki badań odbiorczych porównywane są z wymaganymi wartościami parametrów określonymi w przepisach [3] i dokumentacji projektowej. Wartości modułów odkształcenia wtórnego i wskaźnika zagęszczenia są przez to głównymi, ale nie jedynymi, parametrami odbiorczymi podtorza po przebudowie. W praktyce wykonywania warstw ochronnych zachodzą przypadki, w których mimo realizacji robót zgodnie z projektem i sztuką budowlaną problematyczne lub wręcz niemożliwe jest uzyskanie podtorza charakteryzującego się wymaganymi wartościami modułów odkształcenia mierzonych na torowisku oraz wskaźników zagęszczenia kruszywa warstwy (geotechnicznych parametrów odbiorczych podtorza). Problemy te najczęściej dotyczą tylko niektórych punktów lub odcinków przebudowanego podtorza. Ustalenie przyczyn takiej niekorzystnej sytuacji umożliwiła podjęcie stosownych działań mających na celu ich wyeliminowanie i w efekcie uzyskanie podtorza o żądanych właściwościach. W rozpoznaniu problemu najczęściej okazuje się, że nastąpił splot wielu drobnych przyczyn, które samodzielnie mogłyby nie powodować komplikacji, lecz łączne ich oddziaływanie doprowadza do niekorzystnych okoliczności, w których utrudnione lub wręcz niemożliwe jest uzyskanie wymaganych parametrów odbiorczych a tym samym oczekiwanych stanów odkształcenia i zagęszczenia.

Przyczyny braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza

Na podstawie własnych doświadczeń zdobytych podczas modernizacji linii kolejowych E20, E30 i LK nr 1 [4, 5, 10, 12], których jednym z elementów była przebudowa górnej strefy podtorza, podjęto próbę sklasyfikowania przyczyn nieuzyskiwania pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą

ochronną. Wydzielono i opisano dwa-
dzieścia przyczyn, które podzielono na
cztery zbiory [8]:

- *pogorszenie warunków gruntowo-wodnych*: wystąpienie niesprzyjających warunków atmosferycznych, destrukcyjne oddziaływanie poruszającego się sprzętu budowlanego po podtorzu, destrukcyjne oddziaływanie maszyn zagęszczających, brak drożności ciągów odwodnieniowych w czasie prowadzenia robót,
- *błędy projektowe*: błędne lub w ograniczonym zakresie rozpoznanie właściwości gruntów podtorza i układów ich warstw, przyjęcie błędnych założeń projektowych, niedostosowanie grubości warstwy ochronnej do rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych podtorza, zaprojektowanie zbyt małych grubości warstwy,
- *błędy wykonawcze*: błędy pomiarowe prowadzące do uzyskania warstwy ochronnej o zbyt małej grubości, brak uwzględnienia zmiany grubości warstwy podczas jej zagęszczania, nierównomierne zagęszczenie gruntów podtorza i kruszywa warstwy ochronnej (na długości warstwy), zastosowanie do budowy warstwy kruszywa o nieodpowiednich właściwościach, niedostateczny stan zagęszczenia kruszywa warstwy (na grubości warstwy),
- *ograniczenia konstrukcyjno-wykonawcze*: z dokładności realizowanych robót, brak kontroli stanu jednorodności podtorza w części punktów odbioru podtorza z warstwą ochronną, wzmocnienia o dużej grubości, warstwy zbudowane z subwarstw z różnych kruszyw, wzmocnienia zawierające geowłókniny, zastosowanie pociągu do napraw podtorza, brak efektów stabilizacji chemicznej podtorza ze względu na skład mieszanki lub zbyt wczesne oczekiwanie jej skutków.

Zestawienie przyczyn problemów z odbiorem wzmocnień podtorza z podziałem na wydzielone ich zbiory przedstawiono w tabeli 1.

Sposoby rozpoznawania przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza

Podczas rozpoznawania przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza niejednokrotnie stwierdza się, że nie można jednoznacznie wskazać jednego powodu takiego stanu. Konieczne jest zatem kompleksowe określenie przyczyn zaistniałej niekorzystnej sytuacji by było możliwe:

- podjęcie stosownych kroków w celu ich wyeliminowania,
- przeprowadzenie dodatkowych procesów poprawiających właściwości podtorza,
- uzyskanie podtorza charakteryzującego się wymaganymi parametrami,
- wskazanie potencjalnej odpowiedzialności uczestników procesu budowlanego za zaistniały stan.

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

- analizę projektu wzmocnienia podtorza i dokumentacji geotechnicznej,
- przeprowadzenie wywiadu z kierownictwem budowy i analizę zapisów w Dzienniku Budowy dotyczących przeprowadzonych robót ziemnych oraz sposobów budowy warstwy ochronnej,
- ponowny pomiar odkształcalności podtorza z warstwą ochronną w bliskiej odległości od miejsca poprzednich pomiarów,
- wykonanie przekopu kontrolnego dla sprawdzenia konstrukcji i grubości warstwy oraz makroskopowej oceny właściwości gruntów podtorza,
- wykonać pomiar modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych (w przekopie kontrolnym),
- na pobranych próbkach przeprowadzić kontrolę właściwości kruszywa warstwy,
- ocenę odkształcalności pod obciążeniem zastosowanej geowłókniny.

Wymienione wyżej sposoby rozpoznania przyczyn braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą

ochronną szczegółowo opisano poniżej. Dodatkowo zostały one zawarte w tabeli 1, gdzie wskazano jakie przyczyny można rozpoznać przy ich pomocy.

Ponowny pomiar

W przypadku stwierdzenia jednocześnie zbyt małych wartości modułów odkształcenia podtorza z warstwą ochronną i szacowanej na ich podstawie wartości wskaźnika zagęszczenia lub jednego z tych parametrów i w razie wątpliwości co do poprawności uzyskanych wyników, jako pierwszą czynność zaleca się przeprowadzenie powtórnego pomiaru odkształcalności podtorza w sąsiedniej lokalizacji. Podczas wykonywania pomiarów mogą bowiem zaistnieć okoliczności prowadzące do uzyskania niewłaściwych, błędnych wyników. Do okoliczności tych można zaliczyć np. niewłaściwy sposób przeprowadzenia oznaczeń, problemy techniczne z aparaturą badawczą czy też dokonanie błędnych odczytów z czujników pomiarowych. Należy również mieć na uwadze, że doświadczeniom towarzyszą niepewności pomiarowe, których wartości uzależnione są od dokładności zastosowanej aparatury pomiarowej [2], a jako wynik pomiaru uzyskuje się przedziały wartości, w których z określonym prawdopodobieństwem zawierają się wartości prawdziwe.

W przypadku oszacowania pośrednio z wyników pomiarów odkształcalności podtorza (na podstawie wartości wskaźnika odkształcenia) zbyt małych wartości wskaźnika zagęszczenia, można określić jego wartość metodą bezpośrednią, np. z wykorzystaniem objętościomierza piaskowego lub wodnego.

Uzyskanie ponownie zbyt małych wartości parametrów odbiorczych podtorza w wyniku dodatkowego pomiaru w sąsiedniej lokalizacji wymaga podjęcia dalszych czynności mających na celu określenie przyczyn tej sytuacji.

Przekop kontrolny

Gdy wyniki przeprowadzonych pomiarów odkształcalności podtorza są wiarygodne i jednoznacznie wskazują, że podtorze z warstwą ochronną charakteryzuje się zbyt dużą odkształcal-

nością lub niewłaściwym stanem zagęszczenia, to przyczyny wystąpienia tego stanu można najlepiej określić w badaniach niszczących polegających na wykonaniu przekopu kontrolnego. Wykonując przekop kontrolny należy starannie oddzielić kruszywa poszczególnych subwarstw warstwy ochronnej oraz zwrócić uwagę by nie naruszyć gruntów podtorza, a w razie konieczności również należy usunąć fragmenty geosyntetyków występujących w konstrukcji warstwy ochronnej. W zależności od potrzeb rozmiar przekopu kontrolnego powinien umożliwiać dokonanie oceny wzrokowej i niezbędnych pomiarów geometrycznych warstwy ochronnej, pomiar odkształcalności podtorza, ocenę właściwości kruszywa warstwy i gruntów podtorza oraz pobranie próbek kruszyw i gruntów.

Po wykonaniu przekopu kontrolnego można ocenić zgodność konstrukcji warstwy ochronnej z projektem poprzez ocenę rodzaju i układu poszczególnych subwarstw zastosowanych kruszyw i geosyntetyków. Ocena zgodności konstrukcji warstwy ochronnej z projektem powinna również zawierać określenie grubości poszczególnych subwarstw. Dokonując wzrokowej oceny konstrukcji warstwy ochronnej warto zwrócić uwagę na jednorodność uziarnienia kruszywa w przekroju poprzecznym warstwy. Niejednorodność uziarnienia kruszywa może być jedną z przyczyn niedostatku nośności podtorza.

Kolejnym etapem rozpoznania przyczyn braku wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza powinna być makroskopowa ocena właściwości gruntów podtorza i kruszyw warstwy ochronnej. W badaniach tych można określić rodzaj, wilgotność oraz stan występujących w podtorzu gruntów i zastosowanych na warstwę ochronną kruszyw. Uzyskane wyniki można porównać z założeniami projektowymi. Właściwości gruntów i kruszyw podtorza gorsze od założonych w projekcie mogą wskazywać na potencjalną przyczynę kłopotów z odbiorem podtorza z warstwą ochronną.

Następnie można przystąpić do wykonania pomiaru odkształcalności podtorza w przekopie kontrolnym.

Dzięki przeprowadzeniu pomiaru modułów odkształcenia podtorza możliwa będzie ocena nośności podtorza, a tym samym ocena czy zastosowana konstrukcja warstwy ochronnej jest wystarczająca dla uzyskania spodziewanych efektów wzmocnienia podtorza. Płyta pomiarowa powinna być posadowiona na dnie przekopu kontrolnego – na odkrytych, ale o nienaruszonej strukturze – gruntach podtorza. W przypadku warstw ochronnych o znacznych grubościach wykonanie pomiaru może wymagać zastosowania odpowiednio dostosowanej aparatury pomiarowej lub zwiększenia rozmiaru przekopu kontrolnego. Uzyskane wyniki pomiaru można porównać z wynikami pomiarów przeprowadzonymi przed wbudowaniem warstwy. Dodatkowo z uwzględnieniem zastanej grubości warstwy ochronnej wartość wtórnego modułu odkształcenia podtorza pod warstwą można wykorzystać do sprawdzenia poprawności założeń projektowych lub wyznaczenia spodziewanych rzeczywistych efektów wzmocnienia. W tym celu można posłużyć się stosownymi wykresami [6, 7]

Po wykonaniu pomiaru odkształcalności podtorza można pobrać próbki gruntów oraz kruszyw warstwy umożliwiających dokonanie oceny ich właściwości w badaniach laboratoryjnych. Minimalny zakres badań laboratoryjnych powinien obejmować określenie rodzaju, stanu oraz uziarnienia występujących w podtorzu gruntów i kruszyw. Dla pełnej oceny możliwych przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną koniecznym może być wykonanie badań gruntów podtorza z określeniem ich rodzaju, wilgotności i stanu nie tylko w przypowierzchniowej części podtorza lecz również w głębszych jego partiach.

Na stan odkształcenia podtorza z warstwą ochronną negatywny wpływ mogą mieć również zastosowane w konstrukcji warstwy ochronnej geosyntetyki. Stosowanie grubych geowłóknin o znacznej odkształcalności może niekorzystnie wpływać na uzyskiwane na torowisku wartości modułów odkształcenia podtorza [1] W razie wątpliwości można ocenić

wpływ zastosowanych geosyntetyków w konstrukcji warstwy ochronnej na uzyskiwane wartości parametrów odbiorczych podtorza poprzez ocenę ich odkształcalności w rzeczywistym stanie obciążenia.

Ocena dokumentacji

W celu określenia nie tylko bezpośrednich, ale również pośrednich przyczyn braku spodziewanego efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną, i potencjalnej odpowiedzialności uczestników procesu budowlanego, dodatkowo zaleca się skontrolować dokumentację projektową i geotechniczną oraz przeprowadzić wywiad z kierownictwem budowy i zapoznać się z zapisami w Dzienniku Budowy dotyczącymi realizacji robót ziemnych i konstruowania warstwy ochronnej.

Ważnym etapem poszukiwania przyczyn braku pełnego efektu wzmocnienia podtorza jest kontrola dokumentacji projektowej i geotechnicznej. O ile jest to możliwe należy skontrolować poprawność założeń projektowych i przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. W celu uzyskania projektowych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną niezbędne jest bowiem przyjęcie stosownej konstrukcji warstwy ochronnej składającej się z subwarstw o określonych grubościach i właściwościach oraz należyte przygotowanie podtorza jako podłoża warstwy. W projekcie powinny być zatem zawarte informacje na temat wymaganych wartości modułów odkształcenia i wskaźników zagęszczenia podtorza przed budową warstwy, konstrukcja warstwy ochronnej oraz rodzaj i właściwości jej części składowych oraz wymagania odbiorcze, które musi spełniać podtorze z warstwą ochronną. W wywiadzie z kierownictwem budowy i podczas kontroli Dziennika Budowy szczególną uwagę należy zwrócić na:

- występowanie w czasie realizacji prac niesprzyjających warunków atmosferycznych mogących mieć wpływ na właściwości gruntów podtorza i stosowanych materiałów budowlanych (upał, mróz, intensywne opady),
- sposoby wykonywania robót ziemnych i warstwy ochronnej, w tym na wykorzystywany sprzęt

i technologię zagęszczania, mogące mieć negatywny wpływ na właściwości gruntów podtorza i kruszyw warstwy ochronnej.

Środki zaradcze w problemach z odbiorem podtorza z warstwą ochronną

Rozpoznanie przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza umożliwia podjęcie stosownych działań mających na celu osiągnięcie wymaganych stanów podtorza z warstwą ochronną. Wydzielono i opisano sześć najczęściej wykorzystywanych sposobów na poprawę właściwości podtorza w takich przypadkach [9-11] Wyróżniono następujące metody:

- dogęszczenie podtorza,
- poprawa warunków odwodnienia podtorza,
- stabilizacja kruszywa warstwy ochronnej spoiwami hydraulicznymi,
- wymiana kruszywa warstwy ochronnej,
- zmiana konstrukcji warstwy ochronnej,
- naprawa podtorza pod warstwą.

Dobór odpowiedniej metody powinien być podyktowany: rodzajem rozpoznanych przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną, rozmiarem deficytu wartości parametrów odbiorczych podtorza oraz dostępnością środków technicznych. 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.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy przyczyn występowania problemów z uzyskaniem wymaganych wartości geotechnicznych parametrów odbiorczych po wbudowaniu warstwy ochronnej, 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.

- Wskazanie jednej bezpośredniej przyczyny i odpowiedzialnego za nią podmiotu w większości przypadków nie jest możliwe ze względu na występowanie splotu różnych okoliczności.
- Prawidłowe rozpoznanie i ocena niepełnych efektów przebudowy podtorza pozwala na zastosowanie stosownych środków zaradczych zweryfikowanych konstrukcji równoważnych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Pawłowski M.: Odształcalność górnej strefy podtorza z geowłókniną. Przegląd Komunikacyjny 11/2016, s. 15-19.
- [2] Pawłowski M.: Próba oszacowania niepewności pomiarowych w badaniach odształcalności podtorza. Przegląd Komunikacyjny 10/2014, s. 18-20.
- [3] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Projektowanie wzmocnień podtorza według jego właściwości. Przegląd Komunikacyjny 10/2014, s. 24-28.
- [7] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Projektowanie wzmocnień podtorza z wykorzystaniem wykresów. Zeszy-

ty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2014, nr 2 (104), „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym”, s. 337-343.

- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Przyczyny utrudnień w osiągnięciu pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 25/2017. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2017, s. 357-366.
- [9] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Sposoby powiększania efektów zastosowania warstwy ochronnej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2017, nr 1 (112), „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym” cz. I. Droga kolejowa, s. 145-154.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Wymagane i osiągnięte wartości wskaźnika odształcenia 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.