

## SPOSOBY POSTĘPOWANIA W PRZYPADKU BRAKU PEŁNYCH EFEKTÓW ZASTOSOWANIA WARSTWY OCHRONNEJ PODTORZA<sup>1</sup>

---

### Łucjan Siewczyński

dr hab. inż. prof. n. PŁ, 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 przedstawiono najczęstsze przyczyny występowania problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną (modułów odkształcenia i wskaźników zagęszczenia). Omówiono sposoby ich rozpoznawania. Zaprezentowano metody eliminacji ograniczeń i niepowodzeń, umożliwiające uzyskanie pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Na przykładach zaprezentowano sposób postępowania w przypadku braku pełnych efektów zastosowania warstwy ochronnej.*

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

### 1. Wstęp

W czasie modernizacji lub napraw podtorza wykonywanych w oparciu o aktualne wymagania zwarte w przepisach i normach oraz z wykorzystaniem nowych sposobów i technologii robót realizuje się trzy główne cele:

- poprawę stanu podtorza zbudowanego w przeszłości wedle ówczesnie obowiązujących przepisów i metod budowy,
- usunięcie skutków wieloletniej eksploatacji,
- dostosowanie podtorza do nowych warunków eksploatacyjnych (większych prędkości, nacisków osiowych i przewozów, zmian układu geometrycznego drogi, itp.).

Jeśli w eksploatacji podtorze nie wykazuje oznak niestateczności oraz gdy nie następuje zmiana układu geometrycznego drogi, to podstawowym zabiegiem modernizacyjnym lub naprawczym podtorza jest wzmocnienie jego górnej strefy warstwą ochronną oraz poprawa warunków odwodnienia. Wbudowanie warstwy ochronnej jest wymianą zużytych materiałów i gruntów stanowiących górną strefę podtorza przed przebudową. Nowa konstrukcja z gruntów naturalnych lub kamienia łamanego, w razie konieczności zawierająca geokompozyty,

---

<sup>1</sup> Wkład procentowy poszczególnych autorów: Siewczyński Ł 50 %, Pawłowski M.50 %

budowana jest na stosownie przygotowanym podtorzu i zastępuje dotychczasową jego górną strefę.

W procesie modernizacji lub naprawy podtorza, po usunięciu części istniejącego podtorza i po przygotowaniu powierzchni dla zbudowania warstwy ochronnej, weryfikuje się projekt jej konstrukcji. Weryfikacja projektu następuje poprzez porównanie wartości parametrów gruntów przyjętych w projekcie z rzeczywistymi ich wartościami określonymi w badaniach geotechnicznych, wykonywanych na budowie na poziomie posadowienia warstwy ochronnej. W przypadku rozbieżności, dla osiągnięcia projektowej nośności układu podtorze – warstwa ochronna, może być konieczne zastosowanie równoważnej konstrukcji wzmacniającej [10] lub poprawa właściwości gruntów podtorza, np. poprzez ich stabilizację spoiwami hydraulicznymi [9].

Po zakończeniu prac wykonuje się geotechniczne badania odbiorcze, w których kontroluje się stany odkształcenia i zagęszczenia podtorza za pomocą wartości wtórnego modułu odkształcenia i wskaźnika zagęszczenia kruszywa warstwy ochronnej. Wyniki badań odbiorczych porównywane są z wymaganymi wartościami parametrów określonymi w przepisach [1] i dokumentacji projektowej. Wartości modułów odkształcenia wtórnego i wskaźnika zagęszczenia są przez to głównymi, ale nie jedynymi, parametrami odbiorczymi podtorza po przebudowie.

W praktyce realizacji wzmocnień podtorza warstwą ochronną zdarzają się przypadki, w których mimo realizacji robót zgodnie ze sztuką budowlaną i projektem utrudnione lub wręcz niemożliwe jest uzyskanie wymaganych wartości geotechnicznych parametrów odbiorczych podtorza (modułów odkształcenia mierzonych na torowisku oraz wskaźników zagęszczenia kruszywa warstwy). Problemy te w większości przypadków dotyczą tylko niektórych punktów lub krótkich odcinków przebudowywanego podtorza. Podjęcie stosownych działań według schematu, ustalonego na podstawie własnych doświadczeń zdobytych podczas modernizacji linii kolejowych E20, E30 i LK nr 1 [2, 3, 9, 11], umożliwia uzyskanie podtorza o żądanych właściwościach. W przypadkach braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza dla poprawy jego właściwości i uzyskania projektowych wartości parametrów odbiorczych kolejność działań, może być następująca:

- przeprowadzenie badań i oznaczeń dla rozpoznania przyczyn zaistniałej sytuacji,
- ustalenie i wskazanie przyczyn braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza,
- przyjęcie i wdrożenie stosownych środków zaradczych.

## 2. Sposoby rozpoznawania przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza [8]

Podczas rozpoznawania przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza niejednokrotnie stwierdza się, że nie można jednoznacznie wskazać jednego powodu takiego stanu. W większości przy-

padków zaistniała niekorzystna sytuacja wynika ze splotu wielu osobnych przyczyn, które samodzielnie mogłyby nie powodować komplikacji, lecz łączne ich oddziaływanie doprowadza do niesprzyjających okoliczności. Wtedy konieczne jest jednocześnie ich określenie w celu podjęcia stosownego postępowania w zakresie poprawy właściwości podtorza oraz wskazania 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,
- wykonanie pomiaru, w przekopie kontrolnym, modułów odkształcenia podtorza na poziomie robót ziemnych,
- na pobranych próbkach przeprowadzenie kontroli właściwości kruszywa warstwy,
- ocenę odkształcalności pod obciążeniem zastosowanej geowłókniny.

Wymienione wyżej sposoby rozpoznania przyczyn braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną wraz z określeniem rodzajów problemów, które za ich pomocą mogą być zidentyfikowane, przedstawiono w tabeli 1.

### 3. Przyczyny braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza [6]

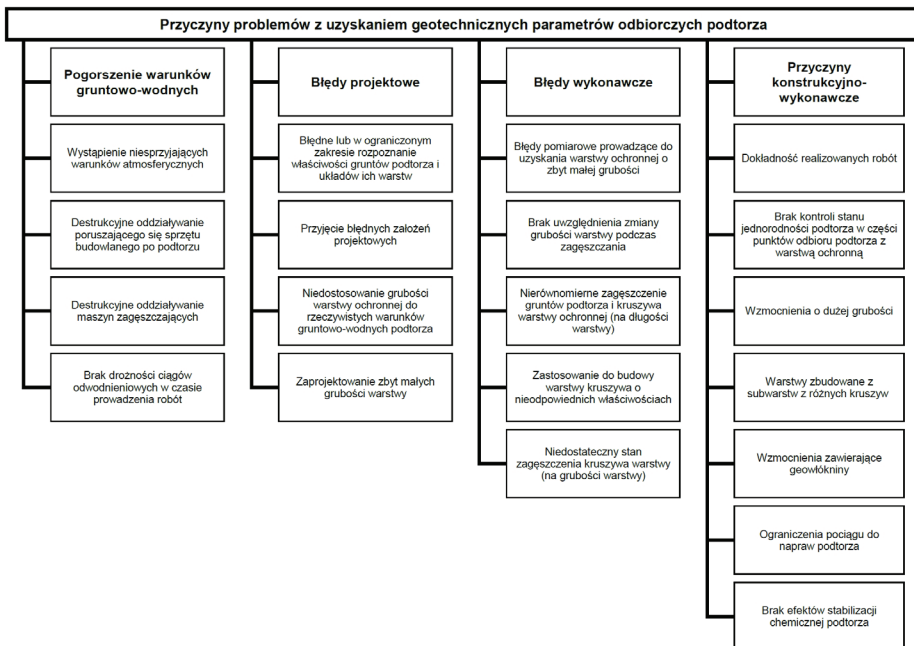
Na podstawie własnych doświadczeń [2, 3, 9, 11] sklasyfikowano przyczyny nieuzyskiwania pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną. Wydzielono dwadzieścia przyczyn, które podzielono na cztery zbiory:

- *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 war-

stwy 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*: błędy wynikające 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 geowłókny, ograniczenia 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 na rysunku 1.



Rys. 1. Klasyfikacja przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości geotechnicznych parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną {6}

#### 4. Środki zaradcze w problemach z odbiorem podtorza z warstwą ochronną

Prawidłowe i kompleksowe rozpoznanie przyczyn problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza umożliwia podjęcie odpowiednich działań. Wdrożenie stosownych zabiegów poprawiających właściwości podtorza z warstwą ochronną ma na celu możliwość osiągnięcia projektowych sta-

nów odkształcenia i zagęszczania. Wydzielono sześć najczęściej wykorzystywanych - w przypadkach braku możliwości uzyskania wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną - sposobów na poprawę właściwości podtorza [7, 9, 10]:

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

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. Z tego względu wybór jednej lub kilku z wymienionych wyżej metod powinien być podyktowany: rodzajem rozpoznanych przyczyn braku efektu wzmocnienia podtorza warstwą ochronną, rozmiarem deficytu wartości parametrów odbiorczych podtorza oraz dostępnością środków technicznych i niezbędnych materiałów budowlanych.

*Tab. 1. Sposoby rozpoznania, przyczyny i sposoby eliminacji problemów z uzyskaniem pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną {8}*

Grupa	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		

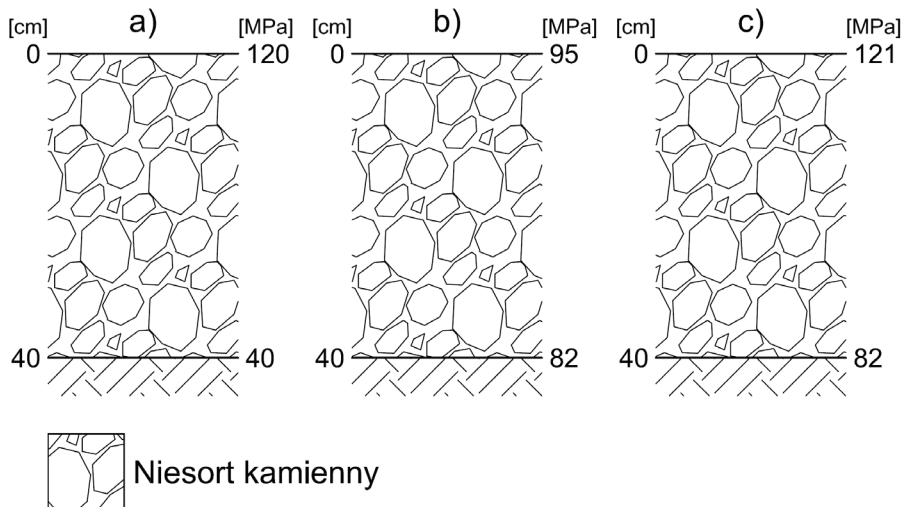
(3) Błędy wykonawcze	3.1	Błędy pomiarowe prowadzące do uzyskania warstwy ochronnej o zbyt małej grubości	Wykonanie przekopu kontrolnego i pomiar grubości warstwy	Zmiana konstrukcji warstwy ochronnej
	3.2	Brak uwzględnienia zmiany grubości warstwy podczas jej zagęszczania		
	3.3	Nierównomierne zagęszczenie 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	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	Ograniczenia 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

## 5. Przykłady postępowania w przypadku braku pełnych efektów wzmocnienia podtorza warstwą ochronną

Weryfikacja skutków wbudowania warstwy ochronnej przy zastosowaniu próbnych obciążeń pozwala stwierdzić efekt końcowy – wartości parametrów odbiorczych. Poniżej przedstawione są przykłady problemów z uzyskaniem wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza z warstwą ochronną. Przykłady zawierają opis problemu, zastosowane zabiegi techniczne oraz wyniki badań stanu odkształcalności podtorza.

### Przykład 1

Budowa warstwy ochronnej z niesortu (rys. 2a) w torze nr 2 na szlaku Węgliniec – Bielawa Dolna prowadzona była w okresie występowania wysokich temperatur. Silne oddziaływanie promieni słonecznych przyczyniło się do zmniejszenia wilgotności zastosowanych do budowy warstwy kruszyw i uniemożliwiło ich stosowne zagęszczenie. W badaniach odbiorczych warstwy ochronnej określono moduł odkształcenia stanowiący niespełna 80 % wartości wymaganej (rys. 2b). Na podstawie makroskopowej oceny zastosowanego kruszywa określono, że z uwagi na niesprzyjające warunki atmosferyczne zastosowano do budowy warstwy ochronnej kruszywo o nieodpowiednich właściwościach (tab. 1., przyczyny 1.1 i 3.4). Przyczyny te uniemożliwiły uzyskanie podtorza charakteryzującego się wymaganymi stanami zagęszczenia i odkształcalności. Po zwiększeniu wilgotności kruszywa i ponownym jego zagęszczeniu, w kolejnych badaniach odbiorczych, osiągnięto moduł odkształcenia o około 30 % większy niż za pierwszym razem i nieznacznie większy od wartości wymaganej (rys. 2c).

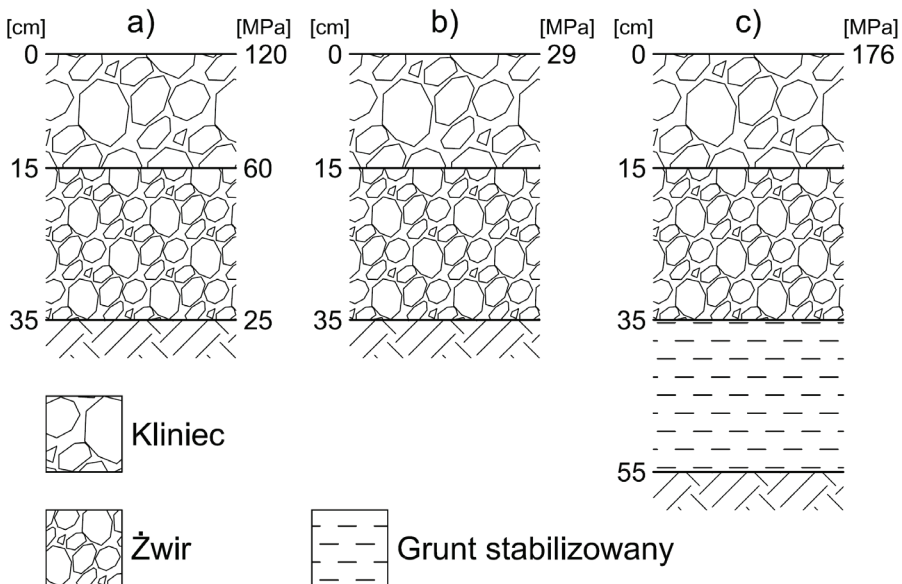


Rys. 2. Przebudowa podtorza toru nr 2 na szlaku Węgliniec – Bielawa Dolna: a) konstrukcja warstwy ochronnej, b) pierwsze badania odbiorcze, c) ostateczne badania odbiorcze



### Przykład 2

Podczas przebudowy podtorza w torze nr 2 na stacji Kupienino [5] badania kontrolne przed budową warstwy ochronnej, wykonywane w punktach oddalonych od siebie co 100 m nie wykazały konieczności zmian konstrukcji wzmocnienia przyjętej w projekcie – konstrukcji dwuwarstwowej składającej się z subwarstwy żwiru i klinca (rys. 3a). W badaniach odbiorczych prowadzonych po wbudowaniu warstwy ochronnej wykonywanych na torowisku, w punktach oddalonych od siebie co 50 m, stwierdzono zbyt małe wartości modułów odkształcenia, stanowiące niespełna 25 % wymaganych wartości (rys. 3b). Wykonano dodatkowe badania geotechniczne, które wykazały występowanie w podłożu glin piaszczystych z przewarstwieniami piasku gliniastego i gleby. Przeprowadzone w ograniczonym zakresie rozpoznanie właściwości gruntów podtorza w badaniach przedprojektowych (tab. 1., przyczyna 2.1), wynikające z tego niedostosowanie grubości warstwy ochronnej do rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych podtorza (tab. 1., przyczyna 2.3) oraz brak kontroli stanu podtorza przed budową warstwy we wszystkich punktach odbioru podtorza z warstwą ochronną (tab. 1., przyczyna 4.2) przyczyniły się do uzyskania podtorza z warstwą ochronną, charakteryzującego się niewystarczającymi parametrami odbiorczymi. Zalecono i wykonano stabilizację gruntów podtorza pod warstwą wapnem do głębokości około 20 cm. Po ponownym ułożeniu warstwy ochronnej - w badaniach odbiorczych - określono moduł odkształcenia sześciokrotnie większy niż za pierwszym razem i około 45 % większy od wartości wymaganej (rys. 3c).

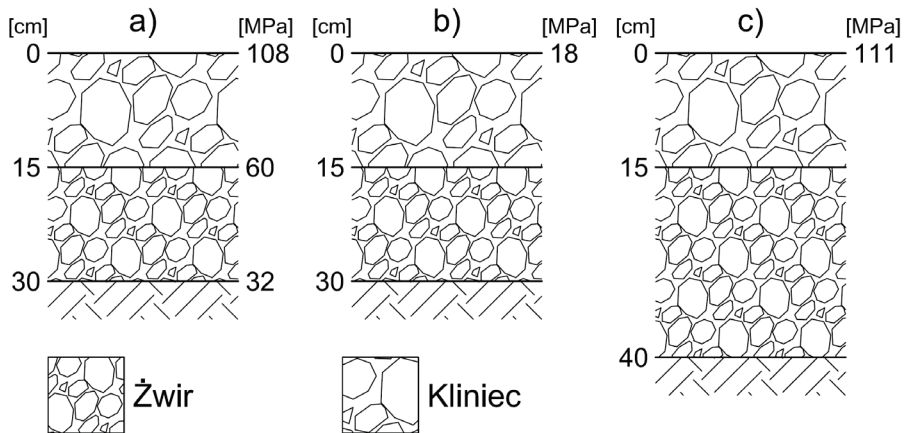


Rys. 3. Przebudowa podtorza toru nr 2 na stacji Kupienino: a) konstrukcja warstwy ochronnej, b) pierwsze badania odbiorcze, c) ostateczne badania odbiorcze po wykonaniu stabilizacji podłoża spoiwem hydraulicznym na głębokość 20 cm



### Przykład 3

Podczas przebudowy podtorza w torze nr 2 na stacji Gutowo [4] badania kontrolne przed budową warstwy ochronnej, wykonywane w punktach oddalonych od siebie co 100 m nie wykazały konieczności zmian konstrukcji wzmocnienia przyjętej w projekcie – konstrukcji dwuwarstwowej składającej się z subwarstwy żwiru i klinca (rys. 4a). W badaniach odbiorczych prowadzonych po wbudowaniu warstwy ochronnej wykonywanych na torowisku, w punktach oddalonych od siebie co 50 m, stwierdzono zbyt małe wartości modułów odkształcenia, stanowiące około 17 % wymaganych wartości (rys. 4b). Przeprowadzono dodatkowe badania geotechniczne, które wykazały występowanie w podłożu warstwy gruntów próchnicznych drobnoziarnistych (gleby). Przeprowadzone w ograniczonym zakresie rozpoznanie właściwości gruntów podtorza w badaniach przedprojektowych (tab. 1., przyczyna 2.1), wynikające z tego niedostosowanie grubości warstwy ochronnej do rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych podtorza (tab. 1., przyczyna 2.3) oraz brak kontroli stanu podtorza przed budową warstwy we wszystkich punktach odbioru podtorza z warstwą ochronną (tab. 1., przyczyna 4.2), przyczyniły się do uzyskania podtorza z warstwą ochronną, charakteryzującego się niewystarczającymi parametrami odbiorczymi. Zalecono i wykonano wymianę gruntów podtorza i stosowne zwiększenie grubości spodniej subwarstwy ze żwiru. Po ponownym wbudowaniu warstwy ochronnej w badaniach odbiorczych określono moduł odkształcenia sześciokrotnie większy niż za pierwszym razem i nieznacznie większy od wartości wymaganej (rys. 4c).

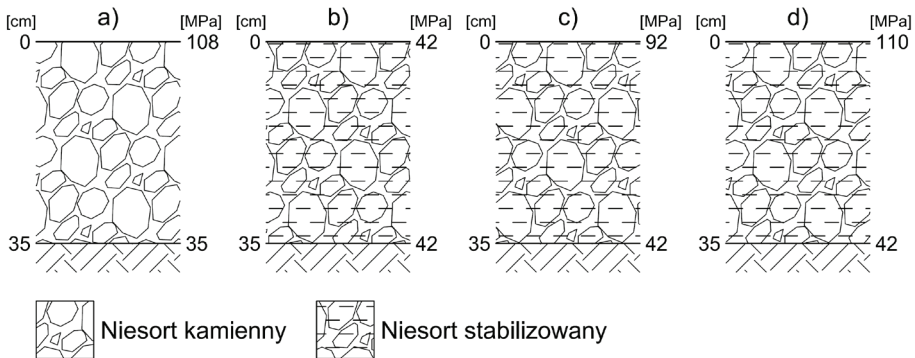


Rys. 4. Przebudowa podtorza toru nr 2 na stacji Gutowo: a) konstrukcja warstwy ochronnej, b) pierwsze badania odbiorcze, c) ostateczne badania odbiorcze po wymianie gruntu i zwiększeniu grubości warstwy ochronnej

### Przykład 4

Podczas przebudowy podtorza toru nr 2 na stacji Płyćwia badania kontrolne przed budową warstwy ochronnej nie wykazały konieczności zmian konstrukcji wzmocnienia przyjętej w projekcie, składającej się z warstwy niesortu (rys. 5a).

Badania kontrolne po wykonaniu warstwy ochronnej wykazały niedostatek nośności podtorza wynoszący około 60 % (rys. 5b). Badania wykonane w przekopie kontrolnym wykazały, że zastosowane do budowy warstwy kruszywo charakteryzowało się niewłaściwym uziarnieniem – zbyt dużą zawartością części pylistych i zbyt dużą wilgotnością. Zastosowanie do budowy warstwy kruszywa o nieodpowiednich właściwościach (tab. 1., przyczyna 3.4) przyczyniło się do uzyskania podtorza z warstwą ochronną, charakteryzującego się niewystarczającymi parametrami odbiorczymi. Z uwagi na założone tempo prac i konieczność dotrzymania terminu zakończenia robót, wykonano stabilizację warstwy ochronnej spoiwem hydraulicznym. Po około 10 dniach od przygotowania warstwy ochronnej stabilizowanej spoiwem hydraulicznym - w kolejnych badaniach odbiorczych - określono moduł odkształcenia ponad dwukrotnie większy niż za pierwszym razem, ale nadal mniejszy od wartości wymaganej (rys. 5c). Brak efektów stabilizacji chemicznej podtorza ze względu zbyt wczesne oczekiwanie jej skutków (tab. 1., przyczyna 4.7) było przyczyną uzyskania w tych badaniach zbyt małych wartości parametrów odbiorczych. Po kolejnych 9 dniach wykonano ostateczne badania odbiorcze, w których podtorze z warstwą ochronną stabilizowaną spoiwem hydraulicznym charakteryzowało się nośnością nieznacznie większą od wymaganej (rys. 5d).



Rys. 5. Przebudowa podtorza toru nr 2 na stacji Płyćwia: a) konstrukcja warstwy ochronnej, b) pierwsze badania odbiorcze, c) badania odbiorcze po 10 dniach od stabilizacji warstwy ochronnej spoiwem hydraulicznym, d) ostateczne badania odbiorcze po 19 dniach od przygotowania warstwy ochronnej stabilizowanej spoiwem hydraulicznym.

## 6. Wnioski

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

- Poprawa właściwości podtorza poprzez zastosowanie warstw ochronnych napotyka na utrudnienia na każdym etapie realizacji: w badaniach przed-

projektowych, podczas prac projektowych i w czasie trwania procesu budowlanego.

- Ze względu na występowanie splotu różnych okoliczności wskazanie jednej bezpośredniej przyczyny i odpowiedzialności za nią podmiotu, w większości przypadków nie jest możliwe.
- Prawidłowe rozpoznanie i ocena niepełnych efektów przebudowy podtorza pozwala na przyjęcie i wdrożenie stosownych środków zaradczych czyli zwerfikowanych konstrukcji równoważnych.
- Zaprezentowane przykłady sposobu postępowania przy braku wymaganych wartości parametrów odbiorczych podtorza wskazują, że mimo napotykaných trudności i ograniczeń w końcowym efekcie prac naprawczych można uzyskać podtorze z warstwą ochronną charakteryzującą się wymaganymi wartościami parametrów odbiorczych.

## Bibliografia

- [1] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [2] 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.
- [3] 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., s. 37-51.
- [4] Siewczyński Ł., Bednarek W.: Badania odkształcalności w procesie modernizacji podtorza. Symposium naukowo-techniczne „Racjonalne wykorzystanie infrastruktury szynowej”. Zbiór referatów. Kraków-Zakopane-Kościelisko 1995, s. 215-224.
- [5] Siewczyński Ł., Bednarek W.: Geotechniczne wspomaganie procesu modernizacji podtorza. Materiały XI Krajowej Konferencji Naukowej Mechaniki Gruntów i Fundamentowania „Geotechnika w budownictwie i transporcie” Gdańsk 1997, tom I s.147-154.
- [6] 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.
- [7] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Sposoby powiększania efektów zastosowania warstwy ochronnej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Kon-

- ferencyjne. Rok 2017, nr 1 (112), „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym” cz. I. Droga kolejowa, s. 145-154.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Sposoby rozpoznawania przyczyn braku pełnych efektów zastosowania warstwy ochronnej. *Przegląd Komunikacyjny* 10/2018, s. 19-23.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.