

## STOSOWANIE RÓWNOWAŻNYCH KONSTRUKCJI WZMOCNIENÍ GÓRNEJ STREFY PODTORZA<sup>1</sup>

---

**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, e-mail: 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, e-mail: michal.pawlowski@put.poznan.pl

---

*Streszczenie. W artykule omówiono proces przebudowy górnej strefy podtorza podczas jego naprawy lub modernizacji, z uwzględnieniem badań geotechnicznych do projektu i podczas wykonawstwa na budowie oraz sposobów obliczania konstrukcji stosowanych wzmocnień. Na tej podstawie przedstawiono możliwości zastępowania zaprojektowanej konstrukcji inną równoważną jej postacią, gdy występują ograniczenia geometryczne lub techniczne, wcześniej (przed projektem) nie rozpoznane.*

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

### 1. Wprowadzenie

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 zmiany 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. Wbudowanie warstwy ochronnej jest jednocześnie wymianą zużytych materiałów i gruntów stanowiących górną strefę przed przebudową [7].

---

<sup>1</sup> 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. skutek 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.

Zwiększenie nośności warstwy ochronnej przy zachowaniu zaprojektowanej grubości może być konieczne, gdy w rzeczywistym podtorzu warunki geotechniczne są mniej korzystne niż przyjęte do projektu. Zastosowanie grubości warstwy mniejszej niż zaprojektowana może być potrzebne, gdy na budowie wystąpią ograniczenia geometryczne dla warstwy o zwiększonej grubości, np. ze względu na stwierdzone rzędne urządzeń odwadniających. Ograniczenie grubości warstwy może być potrzebne również w przypadku miejscowych (punktowych) napraw podtorza.

Dla zmiany nośności (wytrzymałości) warstwy ochronnej przy zmniejszaniu jej grubości, lub gdy podtorze pod warstwą ma mniej korzystne wartości parametrów niż przyjęte do projektu, można stosować różne zabiegi dostosowujące całą konstrukcję górnej strefy podtorza do zmienionych warunków, bez zmiany założonej, ale koniecznej nośności zweryfikowanego układu:

- lepszy materiał do budowy warstwy – inny rodzaj, o korzystniejszych właściwościach (np. uziarnienie, moduł sprężystości),
- układ subwarstw, którego co najmniej jedna subwarstwa będzie o lepszych właściwościach niż właściwości warstwy pojedynczej,

- większe zagęszczenie podtorza dla warstwy ochronnej niż przyjęte w projekcie warstwy,
- odwodnienie podtorza pod warstwą ochronną, stanowiącego jej podłoże, lepsze niż istniejące lub zaprojektowane, dla wywołania większych wartości właściwości mechanicznych,
- geokompozyty (geowłókniny, geotkaniny, geosiatki, geokraty) jako elementy zbrojenia kruszyw,
- zmiana konstrukcji nawierzchni kolejowej pod względem technicznym (elementy, wibroizolacja) i geometrycznym (rozstaw podkładów),
- stabilizacja chemiczna podtorza pod warstwą ochronną.

W niektórych przypadkach może być potrzebne zastosowanie jednocześnie kilku zabiegów spośród wyżej wymienionych.

## 2. Badania geotechniczne dla modernizacji podtorza

Naprawa lub modernizacja podtorza obejmuje ocenę podtorza istniejącego na podstawie wyników wstępnych (pierwszych) badań geotechnicznych, projekt przebudowy podtorza opracowany po badaniach szczegółowych (drugich), prace przebudowy i badania geotechniczne kontrolne (trzecie) z końcowym sprawdzeniem osiągniętych efektów przebudowy. Badania geotechniczne przedprojektowe polegają na określeniu rodzaju gruntów w podtorzu, ich głównych właściwości fizycznych i mechanicznych, rozpoznaniu stosunków wodnych [6]. W badaniach pierwszych miejsca badań mogą przypadać w znacznej od siebie odległości - co 250 m, w badaniach drugich co 100 m (otwór lub 4 otwory w przekroju), w badaniach trzecich (otwory i odkształcalność podtorza lub subwarstw ochronnych na podtorzu) co 50 ÷ 100 m. W pierwszych i drugich badaniach odkształcalność podtorza istniejącego określana jest przy końcach podkładów na torowisku lub na przewidywanej głębokości spodu warstwy ochronnej, w badaniach trzecich płytę o średnicy 30 cm do obciążeń próbnym ustawia się w osi przyszłego toru na powierzchni podtorza przygotowanej do budowy warstwy ochronnej lub na powierzchni warstwy ochronnej (na nowym torowisku). Moduł odkształcenia wtórnego ( $E_{g2}$ ) obliczany jest z obciążeń płytą do wartości 0,25 lub 0,35 MPa z przedziału 0,05 ÷ 0,15 MPa (podtorze) lub 0,10 ÷ 0,25 MPa (warstwa ochronna).

W badaniach podtorza dla określenia wartości modułu odkształcenia wtórnego stosowane jest równanie [2]:

$$E_{g2} = 0,75 \cdot \frac{D \cdot \Delta p}{\Delta y} \quad (1)$$

gdzie:

$D$  – średnica płyty pomiarowej,

$\Delta p$  - przedział obciążeń uwzględniany w obliczeniach modułów odkształcenia,

$\Delta y$  - przyrost osiadań w uwzględnianym przedziale obciążeń.

Wraz z wartościami modułów odkształcenia obliczane są wartości wskaźników odkształcenia. Wskaźnik odkształcenia wyznacza się z wzoru [2]:

$$I_o = \frac{E_{g2}}{E_{g1}} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{g2}$  - moduł wtórnego odkształcenia,

$E_{g1}$  - moduł pierwotnego odkształcenia.

Wskaźnik ten charakteryzuje zagęszczenie gruntów podtorza i warstw wzmacniających i powinien pozostawać w określonych granicach wartości, odpowiednich do wartości wymaganych wskaźników zagęszczenia [4,10].

Polowe badania geotechniczne podtorza są głównym i najważniejszym źródłem wartości parametrów gruntów potrzebnych w procesie modernizacji. Wartości te pochodzą bezpośrednio z prac terenowych lub też mogą być określane na podstawie badań laboratoryjnych różnego rodzaju próbek gruntów pobranych z podtorza podczas tych prac lub też mają być określone na podstawie zależności normowych [3]. W badaniach laboratoryjnych określane są podstawowe właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów umożliwiające ich identyfikację i podjęcie decyzji technicznych. W badaniach tych należy uwzględnić, iż parametry gruntów zależne są od ich właściwości fizycznych, co ma wpływ na wybór odpowiedniej pory roku do badań.

### 3. Projektowanie grubości warstwy ochronnej

Jednym z warunków odpowiedniego stanu nawierzchni kolejowej jest taka jej konstrukcja, aby naciski przekazywane przez nią na torowisko były dostosowane do nośności podtorza zależnej od mechanicznych parametrów gruntów budujących podtorze [5,8].

Według polskich przepisów kolejowych [2] projektowanie grubości warstw może być przeprowadzane na dwa sposoby: z uwzględnieniem nacisków dopuszczalnych na grunty podtorza albo z uwzględnieniem minimalnych wartości modułu odkształcenia podtorza mierzonego na torowisku.

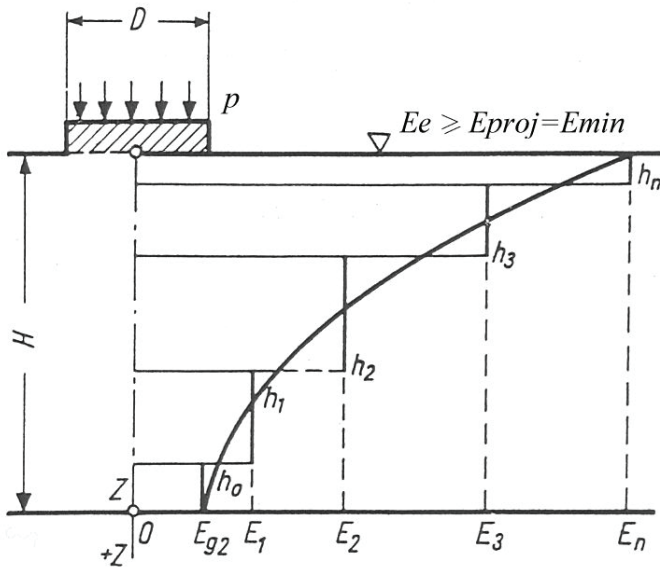
W sposobie projektowania według nacisków dopuszczalnych na torowisko polepszenie współpracy podtorza i nawierzchni otrzymuje się nie dopuszczając do nacisków podsypki większych od nacisków proporcjonalnych [5] (rys. 1):

$$P_{dop} \leq P_{prop} \quad (3)$$

W ten sposób unika się nadmiernych trwałych odkształceń podtorza wskutek uplastycznienia i wypierania gruntu spod nawierzchni. W praktyce do wyznaczania obciążeń dopuszczalnych na grunty stosowane są wzory znane z mechaniki

gruntów [11]. Do wyznaczenia obciążeń dopuszczalnych torowiska potrzebna jest znajomość dwóch parametrów mechanicznych gruntu - kąta tarcia wewnętrznego i spójności. Projektowanie nawierzchni musi więc być poprzedzone badaniami polowymi i laboratoryjnymi. W praktyce do projektowania grubości warstw sporządzone są nomogramy [2].

W sposobie projektowania na podstawie wartości minimalnego modułu odkształcenia, układ subwarstw warstwy ochronnej posiada moduły odkształcenia stopniowo malejące od dużego modułu wierzchniej warstwy, do najmniejszego modułu gruntu w podtorzu [11] (rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu warstw do metody warstwy ekwiwalentnej [11]

W obliczeniach wykorzystuje się metodę warstwy zastępczej (ekwiwalentnej). Projektowanie warstwy ochronnej polega na zastąpieniu poszczególnych subwarstw warstwy ochronnej na podtorzu ekwiwalentną warstwą gruntu o takiej grubości, ażeby naprężenia pod warstwą ochronną były takie same. Moduły odkształcenia subwarstw układu zastępuje się ekwiwalentnym modułem jednorodnego ośrodka ( $E_e$ ), który wykazuje takie same osiadanie jak układ subwarstw [5]. Moduł ekwiwalentny powinien spełniać warunek:

$$E_e \geq E_{\min} = E_{proj} \quad (4)$$

gdzie:

$E_{\min}$  – minimalny moduł odkształcenia wtórnego mierzony na torowisku,

$E_{proj}$  – wartość modułu odkształcenia przyjmowana do obliczeń grubości warstwy.

Dla określenia ekwiwalentnego modułu odkształcenia pojedynczej warstwy ochronnej, ułożonej na jednorodnym gruncie, stosuje się zależność [5]:

$$E_e = f(E_1, E_{g2}, h, D) \quad (5)$$

gdzie:

$E_1$  – moduł odkształcenia warstwy leżącej na podtorzu gruntowym,

$E_{g2}$  – moduł odkształcenia gruntu w podtorzu,

$h$  – grubość warstwy,

$D$  – średnica płyty pomiarowej.

Dla praktycznych zastosowań sporządzony jest monogram, stosowany do projektowania nawierzchni dróg samochodowych i warstw ochronnych podtorza [2]:

$$\frac{E_e}{E_1} = f\left(\frac{E_{g2}}{E_1}, \frac{h}{D}\right) \quad (6)$$

Sposób oparty na określaniu naprężenia dopuszczalnego przydatny jest tylko do wyznaczania potrzebnej grubości warstw z materiałów ziarnistych. Metoda modułu ekwiwalentnego może mieć zastosowanie do prawie wszystkich systemów wzmocniania podtorza dróg kolejowych.

Stosowane jest określanie grubości warstwy ochronnej, przy jednoczesnym zastosowaniu obu metod i przyjmowaniu wyniku mniej korzystnego.

#### 4. Przykłady równoważnych konstrukcji wzmocnień podtorza

Analizę możliwości wzmocnienia podtorza przeprowadzono z wykorzystaniem przykładowego istniejącego podtorza zbudowanego z gliny o stopniu plastyczności  $I_L = 0,35$  charakteryzującego się wtórnym modułem odkształcenia  $E_{g2} = 25$  MPa. Założono konieczność uzyskania wtórnego modułu odkształcenia na torowisku o wartości  $E_{prj} = 120$  MPa. Obliczenia wartości wymaganej grubości warstwy ochronnej wykonano z wykorzystaniem metody modułu ekwiwalentnego. Obliczone grubości warstwy ochronnej zaokrąglano w górę do pełnych 5 cm. Według przepisów [2] jako minimalną grubość warstwy ochronnej przyjęto 15 cm.

Najprostszym sposobem wzmocnienia podtorza jest zastosowanie jednorodnej (pojedynczej) warstwy ochronnej z kruszywa łamanego o uziarnieniu 0/31,5 mm (niesortu kamiennego) – rys. 2.1 o module sprężystości  $E_1 = 200$  MPa. Obliczono wymaganą grubość warstwy ochronnej równą 50 cm. Spora grubość warstwy ochronnej wymaga wykonania robót ziemnych o znacznej objętości. W zależności od dostępności sprzętu zagęszczającego może wymagać budowy w dwóch subwarstwach. Niemożliwe jest wykonanie wzmocnienia jednorazowym przejazdem pociągu do napraw podtorza. Wymagana jest separacyjna geowłóknina pod warstwą ochronną.

Kolejną możliwością wzmocnienia podtorza jest zastosowanie warstwy ochronnej składającej się z dwóch subwarstw (rys. 2.2): dolnej z niesortu i górnej z kłińca o modułach sprężystości odpowiednio  $E_1 = 200$  MPa i  $E_2 = 250$  MPa. Górną subwarstwę (z kłińca o uziarnieniu 4/31,5 mm) założono o grubości 20 cm i dla niej wyznaczono grubość dolnej subwarstwy (z niesortu) równą 25 cm. Takie rozwiązanie wymaga zastosowania warstwy ochronnej o łącznej grubości 45 cm. Spora łączna grubość warstwy ochronnej wymaga wykonania robót ziemnych o znacznej objętości. Zastosowanie subwarstwy z kłińca nieznacznie (o 10%) zmniejszyło całkowitą grubość warstwy ochronnej. Wymagana jest budowa w dwóch subwarstwach. Niemożliwe staje się wykonanie wzmocnienia jednorazowym przejazdem pociągu do napraw podtorza. Wymagana jest separacyjna geowłóknina pod warstwą ochronną.

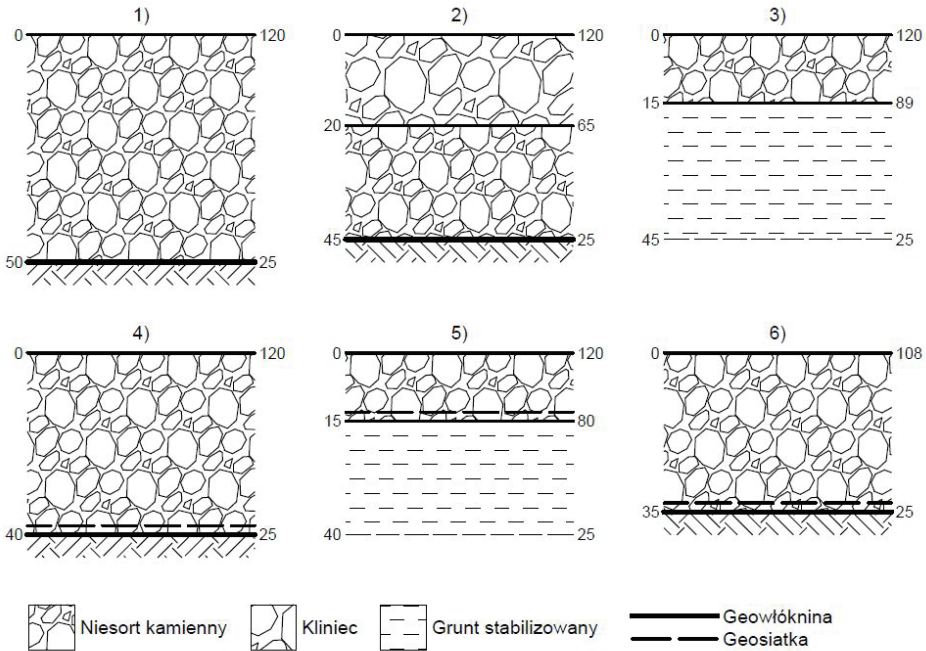
Następnym możliwym rozwiązaniem wzmocnienia podtorza jest zastosowanie pojedynczej warstwy ochronnej z niesortu o minimalnej grubości 15 cm na podłożu stabilizowanym spoiwem hydraulicznym (np. cementem) [9] na głębokość 30 cm (rys. 2.3). Zastosowanie dodatku cementu powoduje uzyskanie kompozytu gruntowego, charakteryzującego się modułem sprężystości o wartości  $E_1 = 250$  MPa. Taka konstrukcja umożliwi redukcję objętości robót ziemnych, zmniejsza zapotrzebowanie na kruszywo oraz uszczelnia górną warstwę podtorza. Nie jest wymagana geowłóknina separacyjna na styku stabilizowanego podtorza i warstwy ochronnej. Mimo minimalnej grubości warstwy, ze względu na wymaganą stabilizację podtorza, nie ma możliwości wykonania konstrukcji wzmocnienia z wykorzystaniem pociągu do napraw podtorza. W celu prawidłowego wykonania stabilizacji podtorza konieczne jest zastosowanie specjalistycznego sprzętu. Spodziewany efekt wzmocnienia podtorza może być zaobserwowany po pewnym czasie od wykonania.

Inną konstrukcją umożliwiającą uzyskanie wymaganej wartości modułu wtórnego odkształcenia na torowisku o wartości  $E_{proj} = 120$  MPa jest zastosowanie pojedynczej warstwy ochronnej z niesortu o grubości 40 cm wzmocnionej geosiatką (rys. 2.4). Aplikacja geosyntetyku pozwala zredukować grubość warstwy ochronnej, w stosunku do rozwiązania bez geosiatki, o około 20 do 40%. W przykładzie przyjęto 20% zmniejszenia. Omawiane wzmocnienie podtorza można wbudować w jednym przejeździe pociągu do napraw podtorza z wykorzystaniem dodatku skruszonej podsypki, co może wpłynąć na zmniejszenie zapotrzebowania na dodatkowe kruszywo. Wymagana jest separacyjna geowłóknina pod warstwą ochronną.

Zastosowanie pojedynczej warstwy ochronnej o grubości 15 cm z niesortu wzmocnionej geosiatką na podłożu stabilizowanym chemicznie na głębokość 25 cm (rys. 2.5) zapewnia uzyskanie wymaganej wartości wtórnego modułu odkształcenia na torowisku. Stosowanie włókniny pod warstwą ochronną nie jest potrzebne.

Odmiennym sposobem zmniejszenia wymaganej grubości warstwy ochronnej może być zastosowanie w konstrukcji nawierzchni podkładów z podkładkami antywibracyjnymi (zelówkami). Takie rozwiązanie, z uwagi na lepszą współpracę podkładów z podsypką, umożliwia zredukowanie nacisków przekazywanych z na-

wierzchni na podtorze o około 10% [1]. Gdyby wpływ ten uwzględnić poprzez zmniejszenie obliczeniowej wartości wtórnego modułu odkształcenia o 10% do wartości  $E_{proj} = 108 \text{ MPa}$ , zalecana grubość pojedynczej warstwy również zmniejszyłaby się o około 10%, tj. do 45 cm. W przypadku aplikacji geosiatki wymagana grubość warstwy mogłaby być zredukowana do 35 cm (rys. 2.6) czyli o 30% w stosunku do pojedynczej warstwy ochronnej i standardowej konstrukcji nawierzchni. Wymagana jest separacyjna geowłóknina pod warstwą ochronną.



Rys. 2. Równoważne konstrukcje wzmocnień podtorza

Zestawienie zalet i wad omawianych równoważnych konstrukcji wzmocnień podtorza zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Wady i zalety równoważnych konstrukcji wzmocnień podtorza

Nr	Konstrukcja wzmocnienia podtorza	Grubość [cm]	Zalety	Wady
1	warstwa pojedyncza	50	- jednorodna warstwa, - minimalizacja możliwości pomyłki w realizacji	- wymagana budowa w dwóch subwarstwach, - znaczne objętości robót ziemnych, - możliwe problemy z dostosowaniem do istniejących systemów odwodnienia, - konieczność zastosowania geowłókniny separacyjnej



2	warstwa podwójna	45	- konstrukcja o stopniowo zmniejszającym się uziarnieniu	- wymagana budowa w dwóch subwarstwach, - znaczne objętości robót ziemnych, - możliwe problemy z dostosowaniem do istniejących systemów odwodnienia, - konieczność zastosowania geowłókniny separacyjnej
3	warstwa pojedyncza na podłożu stabilizowanym chemicznie	15 (45)	- minimalizacja objętości robót ziemnych	- wymagana budowa w dwóch subwarstwach (dwóch etapach), - konieczność zastosowania specjalistycznego sprzętu, - spodziewany efekt wzmocnienia uzyskiwany po pewnym czasie
4	warstwa pojedyncza z geosiatką	40	- możliwość wykonania pociągiem do napraw podtorza - jednorodna warstwa	- wymagane zastosowanie geosiatki, - konieczność zastosowania geowłókniny separacyjnej
5	warstwa pojedyncza z geosiatką na podłożu stabilizowanym chemicznie	15 (40)	- minimalizacja objętości robót ziemnych	- wymagana budowa w dwóch subwarstwach (dwóch etapach), - konieczność zastosowania specjalistycznego sprzętu, - spodziewany efekt wzmocnienia uzyskiwany po pewnym czasie, - wymagane zastosowanie geosiatki
6	warstwa pojedyncza z geosiatką, podkłady z „wełnkami”	35	- możliwość wykonania pociągiem do napraw podtorza, - jednorodna warstwa, - minimalizacja objętości robót ziemnych	- wymagane zastosowanie geosiatki, - konieczność zastosowania geowłókniny separacyjnej

## 5. Wnioski

1. W uzasadnionych przypadkach można odstąpić od zaprojektowanej grubości warstwy ochronnej i zastosować zastępczą warstwę ochronną równoważną.
2. Znaczenie (wytrzymałość, nośność, grubość) zastosowanej warstwy ochronnej równoważnej należy określić na podstawie obliczeń z uwzględnieniem wyników szczegółowych badań podtorza na budowie i stwierdzonych ograniczeń geometrycznych lub technicznych.
3. Podobny efekt z zastosowaniem warstwy równoważnej można osiągnąć stosując „odciążenie” podtorza przez zastosowanie zmian konstrukcyjnych lub geometrycznych w nawierzchni kolejowej.

## Literatura

- [1] Kwiatkowska E., Wpływ wibroizolacji podkładów strunobetonowych na pracę podtorza kolejowego. Raporty Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. 2015, Ser. PRE; nr 8. Rozprawa doktorska. Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wrocław 2016.
- [2] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [3] PN-81/B-03020 Grunty budowlane - Posadowienie bezpośrednie budowli - Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, 1981.
- [4] PN-S-02205 Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania. PKN Warszawa 1998.
- [5] Praca zbiorowa, Drogi kolejowe, red. J. Sysak. PWN, Warszawa 1986.
- [6] Siewczyński Ł., Problems of repaired subgrade nonhomogeneity. XIII International Conference Modernisation of railway tracks, Slovakia, Žilina, 4-5.11.2003.
- [7] Siewczyński Ł., Stan zagęszczenia gruntów w nasypach podtorza do modernizacji. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego. 10 lat modernizacji podtorza linii magistralnych. Wrocław - Żmigród 5-7 czerwca 2003 r., str. 47-55.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Projektowanie wzmocnień podtorza z wykorzystaniem wykresów. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2014, nr 2 (104), s. 337-343.
- [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., Zależność stanu zagęszczenia podtorza od stanu jego odkształcalności. Przegląd Komunikacyjny 10/2016, s. 30-35.
- [11] Wiłun Z., Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 1987 r.