

## WZMOCNIENIE PODTORZA WARSTWĄ OCHRONNĄ O USTALONEJ GRUBOŚCI<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, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 5, tel.: +48 61 665 2431, e-mail: lucjan.siewczyński@put.poznan.pl

---

### Michał Pawłowski

dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 5, tel.: +48 61 665 2407, e-mail: michal.pawlowski@put.poznan.pl

---

**Streszczenie.** *Praca zawiera analizę procesu kształtowania wymagań dla modernizacji podtorza kolejowego w celu opracowania dokumentacji technicznej w różnych etapach zaawansowania inwestycji. Uwzględniono znaczenie wyników badań geotechnicznych w tym procesie. Wymagania przyjęte bez rozpoznania stanu podtorza nazwano ustalonymi, do późniejszej weryfikacji. Analiza poparta jest przykładem.*

**Słowa kluczowe:** *droga kolejowa, podtorze kolejowe, badania odkształcalności podtorza*

### 1. Wstęp

Jedną z najczęściej stosowanych metod wzmacniania podtorza pod torowiskiem, używanych od dawna przez różne koleje, jest wbudowanie warstw ochronnych z materiałów o dużej wytrzymałości. Warstwy ochronne stanowią wzmocnienie ciągłe i pozwalają osiągnąć prawie jednakową sztywność wzmacnianego podtorza na całej długości modernizowanej drogi kolejowej, co zmniejsza nierównomierne osiadania i nierówności toru.

W przeszłości na podtorzu polskich dróg kolejowych, na podstawie wymagań przepisów w przypadkach podtorza z niektórymi gruntami, pod podsypką na całej szerokości torowiska należało układać warstwę kwalifikowanego piasku o grubości od 0,10 m do 0,50 m zależnie od znaczenia linii kolejowej [1]. Grubość warstwy ochronnej uzależniano więc od obciążeń przekazywanych przez nawierzchnię na podtorze i od rodzaju jego gruntów, jednak bez uwzględnienia ich stanów i właściwości.

Nowsze przepisy zawierały metody projektowania warstw ochronnych najpierw z uwzględnieniem dopuszczalnych obciążeń i osiadań podtorza, a następnie także na podstawie modułu ekwiwalentnego, a więc metody z uwzględnieniem parametrów geotechnicznych określających stan wytrzymałości i odkształcalności gruntów [2]. Obecnie w praktyce budowlanej metoda modułu ekwiwalentnego

---

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

jest najczęściej stosowana na wszystkich etapach modernizacji podtorza: do oceny stanu istniejącego podtorza, do projektu wzmocnienia warstwami ochronnymi, do oceny przebiegu i efektu modernizacji.

## 2. Badania geotechniczne w procesie modernizacji podtorza

Proces modernizacji podtorza obejmuje ocenę istniejącego podtorza na podstawie wyników wstępnych badań geotechnicznych, gdy wstępne badania są w ogóle wykonywane, projekt przebudowy opracowany po badaniach geotechnicznych szczegółowych, prace modernizacyjne i badania geotechniczne kontrolne z końcową oceną efektów przebudowy. Badania geotechniczne przedprojektowe polegają na określeniu rodzaju gruntów w podtorzu, ich głównych właściwości fizycznych i mechanicznych z uwzględnieniem próbnych obciążeń płytą oraz rozpoznaniu stosunków wodnych. W przypadku gdy wyniki terenowych badań odkształcalności są niewystarczające, moduły odkształcenia mogą być określane z zależności normowych, po rozpoznaniu wiodących parametrów geotechnicznych, którymi są: stopień plastyczności ( $I_L$ ) i stopień zagęszczenia ( $I_D$ ) gruntów podtorza [9].

Z badań podtorza szlaku lub nawet całej drogi kolejowej otrzymuje się zbiory wyników (wartości) poszczególnych parametrów geotechnicznych gruntów budujących podtorze. Zmienność gruntów wzdłuż drogi kolejowej, niejednorodność ich stanów (zagęszczenia lub konsystencji) określają niejednorodność podtorza – właściwości fizyczne i mechaniczne nie są jednakowe w poszczególnych punktach podtorza. Na przykład w projektowaniu wzmocnień i w ocenie nośności podtorza moduły odkształcalności stanowią syntetyczny parametr określany podczas badań geotechnicznych w procesie modernizacji. Z tego względu odkształcalność podtorza może stanowić podstawę oceny jego niejednorodności. Taka interpretacja wyników badań geotechnicznych ma istotne znaczenie dla projektowania konstrukcji wzmocnień (grubości układów warstw ochronnych i ich zbrojenia) podtorza gruntowego.

W projektowaniu grubości warstw ochronnych niejednorodnego podtorza ogólnie można wyróżnić następujące stosowane sposoby postępowania [6]:

- przyjmowanie jednakowej grubości na całym szlaku lub nawet na całej linii niezależnie od wartości parametrów mechanicznych gruntów – wytrzymałości i odkształcenia (stare przepisy PKP), jednak z uwzględnieniem kategorii linii, a więc obciążeń podtorza i rodzajów jego gruntów,
- prognozowaniu prawdopodobnej najmniejszej wartości modułu odkształcenia na podstawie obróbki zbioru wyników bez uwzględnienia właściwości różnych gruntów,
- określenie zbiorów grubości warstwy ochronnej ze zbiorów modułów odkształcenia z poszukiwaniem grubości wystarczającej,
- podział podtorza szlaku (lub stacji) na odcinki o zbliżonej odkształcalności i określanie grubości warstwy na wydzielonych odcinkach według najmniejszej wartości modułu na każdym odcinku.

Dwa ostatnie sposoby są równie dobre, a sposób ostatni jest prosty i pozwala na łatwą kontrolę pod względem rodzajów zastosowanych materiałów, grubości warstwy i ich właściwości.

### 3. Ustalone wymagania dla modernizacji podtorza

W celu opracowania dokumentacji przetargowej na modernizację linii kolejowej, zawierającej wymagania zamawiającego, ogólnie proponowane są także wymagania co do wzmocnienia podtorza, z uwzględnieniem przede wszystkim wartości minimalnej modułu odkształcenia podtorza mierzzonego na torowisku, grubości warstwy ochronnej podtorza i potrzeby stosowania geowłóknin i geosiatek oraz stabilizacji gruntów. W przypadku opracowywania dokumentacji przetargowej z uwzględnieniem wyników geotechnicznych badań podtorza, na przykład wstępnych badań podtorza, wymagania odnośnie wzmocnienia podtorza mogą zawierać rzeczywiste szczegóły potrzeb naprawczych, które mogłyby być zweryfikowane na podstawie wyników badań szczegółowych, później przeprowadzonych.

W przypadku przyjmowania wymagań w odniesieniu do wzmocnienia podtorza przed wykonaniem badań geotechnicznych, szczegóły wymagań należy traktować jako ustalone na okoliczność opracowania dokumentacji przetargowej. Wartości modułów minimalnych przyjmuje się według przepisów i rozporządzeń, grubości warstwy ochronnej powinny uwzględniać ograniczenia technologiczne – ich grubość powinna mieścić się w przedziale 0,15 m do 0,40 m, ze względu na dokładność robót i możliwości pociągu do napraw podtorza z maszyną AHM, która buduje warstwę o grubości do 0,40 m podczas jednego przejazdu roboczego; gdy potrzebna jest większa jej grubość stosuje się zbrojenie (wzmocnienie) geosiatką warstwy o grubości 0,40 m z uwzględnieniem, jeśli jest to możliwe, rzeczywistego stanu górnej strefy podtorza na długości według przybliżonego oszacowania. Przyjmując więc największą grubość warstwy ochronnej możliwą do wykonania, to jest 0,40 m, rodzaj materiału warstwy i przewidywane zbrojenie (wzmocnienie) warstwy i gruntów pod warstwą, można ocenić ilość materiałów do wykonania naprawy i jej koszt.

Warstwa ochronna ustalona dla przygotowania kosztorysu nie powinna być realizowana bez weryfikacji po przeprowadzeniu stosownych badań geotechnicznych.

Szczegóły wzmocnienia podtorza, proponowanego ogólnie w wymaganiach zamawiającego, powinny być zawarte w projekcie – wykazane powinny być w poszczególnych odcinkach podtorza grubości warstwy ochronnej i jej zbrojenie geosiatką, a także stabilizacja gruntów – przeprowadzonym z uwzględnieniem wyników badań geotechnicznych.

Celem modernizacji górnej strefy podtorza jest takie zastąpienie określonej warstwy gruntu pod torowiskiem warstwą ochronną o zaprojektowanej konstrukcji, aby moduł wtórnego odkształcenia mierzony na powierzchni warstwy ochron-

nej był jednakowy na całej długości linii lub na jej odcinkach i co najmniej równy wymaganej wartości, a zagęszczenie warstwy było największe. W wyniku modernizacji górnej strefy podtorza, tak rozumianej co do konstrukcji warstwy, następuje zmniejszenie odkształcalności i niejednorodności podtorza.

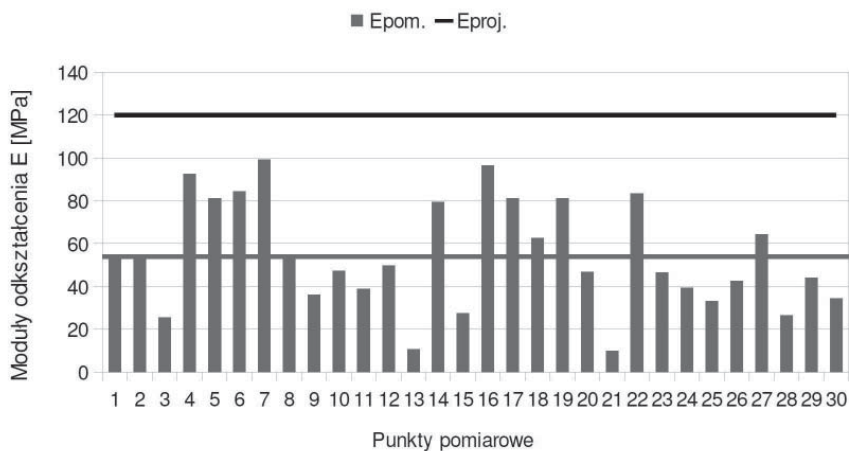
Wbudowywanie warstwy ochronnej o właściwościach niezwiązanych z właściwościami podtorza, z którym będzie współpracowała, a więc np. o grubości i konstrukcji swobodnie ustalonej w celu opracowania kosztów, może być powodem zwiększenia niejednorodności podtorza pod nową nawierzchnią, z wszystkimi skutkami takiego stanu. Podstawą dla zastosowania każdego z tych sposobów określenia grubości warstwy ochronnej jest przeprowadzenie badań geotechnicznych – najmniej dokładne dla sposobu pierwszego, to jest rozpoznanie tylko rodzajów gruntów.

#### 4. Przykład ustalonych wymagań dla podtorza

W celu przybliżenia problematyki związanej z opracowaniem wymagań w zakresie podtorza w postępowaniu inwestycyjnym dla przygotowania dokumentacji przetargowej oraz z uwzględnieniem tych wymagań w projektowaniu i w realizacji modernizacji podtorza, referat zawiera przykład.

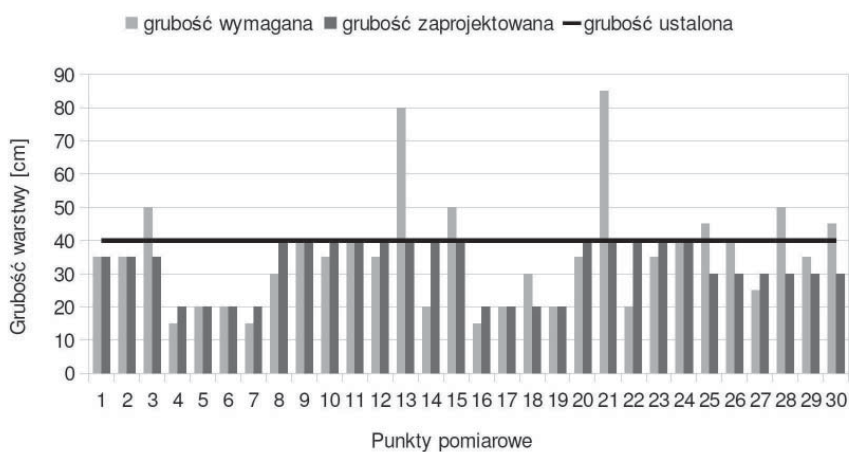
Przykład dotyczy podtorza gruntowego odcinka linii kolejowej magistralnej przygotowywanej do modernizacji. Badania geotechniczne podtorza dla opracowania studium wykonalności modernizacji przeprowadzono przy zastosowaniu w terenie otworów wiertniczych i obciążeń próbnych płytą statyczną; w badaniach laboratoryjnych określono rodzaje gruntów i ich główne właściwości fizyczne i mechaniczne. Przedprojektowe badania geotechniczne wykonane zostały wzdłuż linii kolejowej jako pojedyncze otwory w miejscach odległych od siebie średnio o około 300 m. W analizie stanu odkształcalności podtorza uwzględniono rodzaje gruntów w górnej strefie podtorza, ich stany ( $I_L$ ,  $I_D$ ) oraz moduły pomierzone. Na rys. 1 przedstawione są w postaci wykresów wartości modułów wtórnych odkształceń pomierzonych na odcinku o długości 9,0 km tej linii; oznaczone są także ich wartość średnia oraz minimalna wartość wymagana modułu  $E_{min} = E_{proj.} = 120$  MPa.

Do sporządzenia wymagań przetargowych założono warstwę ochronną o grubości 0,40 m z materiału o module odkształcenia 200 MPa (żwir, niesort kamienny). Dla wstępnych obliczeń grubości warstwy ochronnej założono stabilizację podtorza, gdy jego moduł odkształcenia  $E_{g2} < 20$  MPa, przy tym spodziewano się, że po stabilizacji moduł osiągnie wartość 40 MPa. Zastosowano redukcję grubości warstwy o 40% w przypadku zastosowania geosiatki, gdy grubość warstwy byłaby większa od założonej lub wynikającej z uśrednienia grubości na kształtujących się odcinkach z miejscami o zbliżonej grubości warstwy ochronnej [7, 8].



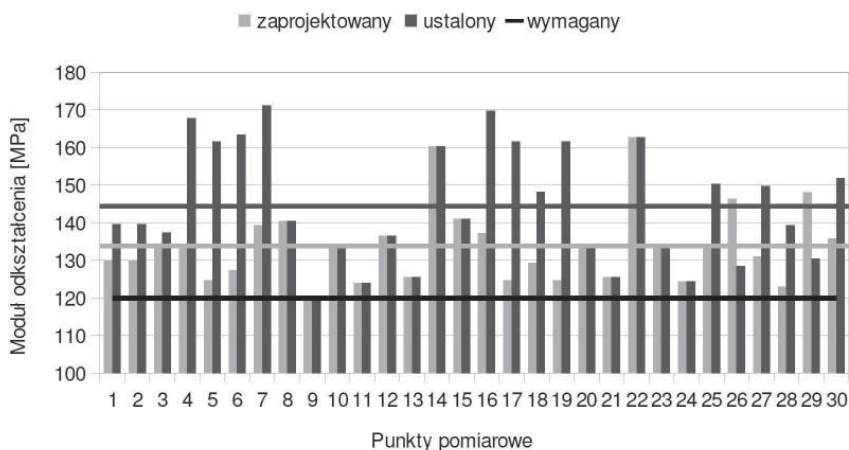
Rys. 1. Wartości wtórnych modułów odkształcenia pomierzonych na torowisku oraz wartość wymagana modułu  $E_{min} = E_{proj}$  {4}

Na rysunku 2 przedstawione są grubości warstwy ochronnej wymaganej, obliczonej z wartości modułów odkształcenia pomierzonych (rys. 1), grubości zaprojektowane z uwzględnieniem stabilizacji podtorza i zastosowania geosiatki oraz grubość ustalona dla całej długości przykładowego odcinka. Miejsca zastosowanej redukcji grubości warstwy z powodu geosiatki (pkt. 3, 15, 18, 25, 26, 28, 29, 30) i z powodu stabilizacji (pkt. 13 i 21) zaznaczają się zmniejszeniem grubości warstwy w stosunku do grubości wymaganej według prostego obliczenia metodą modułu ekwiwalentnego [3].



Rys. 2. Grubości warstw ochronnych na analizowanym odcinku

Na rysunku 3 przedstawione są spodziewane wartości wtórnego modułu odkształcenia z pomiarów na torowisku po wykonaniu przebudowy podtorza według analizowanych koncepcji realizacyjnych (warstwa ochronna o grubości ustalonej i o grubości zaprojektowanej). Na rysunku pokazano średnie wartości spodziewanych modułów odkształcenia oraz minimalny moduł wymagany.



Rys. 3. Spodziewane wartości wtórnych modułów odkształcenia z pomiarów na torowisku po modernizacji dla zaprojektowanej i ustalonej grubości warstwy ochronnej

W tabeli 1 wyszczególnione są, według analizowanych koncepcji przebudowy, wartości średnie modułów odkształcenia podtorza po wykonanej modernizacji, ich odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności. Dla porównania w tabeli uwzględniono charakterystyki zbioru wartości modułów pomierzonych przed modernizacją (rys. 1).

Tab. 1. Charakterystyki zbiorów wartości wtórnych modułów odkształcenia z pomiarów na torowisku po modernizacji

Grubości warstw	$E, \bar{\epsilon}$	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
	[MPa]	[MPa]	[-]
zaprojektowane	133,8	10,2	0,08
ustalone	144,4	15,5	0,1
podtorze przed modernizacją	54,1	25,1	0,46

Z tabeli wynika efekt wzmocnienia, polegający na zmniejszeniu niejednorodności podtorza z warstwą ochronną, przy tym większy efekt uzyskano z warstwą o grubości zaprojektowanej - warstwa ustalona jest mniej skuteczna.

## 5. Wnioski

1. Ostateczne cechy geometryczne i fizyczne warstwy ochronnej dla wzmocnienia podtorza nie mogą być efektem swobodnego przyjęcia jej grubości.
2. Warstwa ochronna opisana w programie funkcjonalno-użytkowym powinna stanowić tylko założenie przyjęte w celu opracowania możliwych ilości materiałów i kosztów dla modernizacji podtorza.
3. Wymiarowanie warstwy ochronnej powinno być przeprowadzone z uwzględnieniem wyników bezpośrednich badań podtorza, zgodnie z obowiązującymi przepisami, jako składnik projektu modernizacji.
4. Przeprowadzenie modernizacji podtorza z uwzględnieniem tylko ustalonych w wymaganiach cech warstwy ochronnej bez uwzględnienia wyników badań nie jest racjonalne.

## Literatura

- [1] MK: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać linie kolejowe normalnotorowe użytku publicznego. WKiŁ, Warszawa 1973 r.
- [2] PKP PLK S.A.: Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. Warszawa 2009 r.
- [3] Praca zbiorowa, red. Sysak J.: Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1986 r.
- [4] Siewczyński Ł., Ocena przydatności podtorza gruntowego do modernizacji linii kolejowej E-59 do prędkości 160 km/h na odcinku Wrocław – Poznań. Poznań 2004 r.
- [5] Siewczyński Ł., Opinia techniczna w sprawie grubości warstwy ochronnej podtorza kolejowego dla odcinków modernizowanej linii kolejowej E-30. Poznań 2012 r.
- [6] Siewczyński Ł., Problems of repaired subgrade nonhomogeneity. XIII Międzynarodowa Konferencja VRT Modernizacja żelaznicznych trati. Žilina 2003 r., str. 111-118.
- [7] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Stabilizacja podtorza dla budowy warstwy ochronnej. Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna „Nowoczesne metody stabilizacji podłoża pod nawierzchnie drogowe i kolejowe”, Żmigrod – Węglewo 22 – 23 października 2009 r., str. 111 – 117.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Wpływ zmian w przepisach o podtorzu na jego modernizację. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym INFRASZYN 2010”, Zakopane 14-16 kwietnia 2010 r., str. 190-210.
- [9] Wiłun Z., Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 1987 r.