

# Stosowalność wyników badań odkształcalności podtorza

Michał Pawłowski, Łucjan Siewczyński



dr inż. Michał Pawłowski

Zakład Budowy Mostów i  
Dróg Kolejowych, Politechnika  
Poznańska

michal.pawlowski@put.poznan.pl



dr hab. inż. prof. nadzw. Łucjan  
Siewczyński

Zakład Budowy Mostów i  
Dróg Kolejowych, Politechnika  
Poznańska

lucjan.siewczynski@put.poznan.pl

Dyskusje o przygotowaniach do projektów modernizacji podtorza, o projektowaniu, o wykonawstwie i odbiorach robót modernizacyjnych spowodowały wykreślenie z Warunków jakie powinny spełniać budowle kolejowe [3, 4] zestawienia wymaganych wartości modułów odkształcenia odnoszących się do torowiska i górnej strefy podtorza. Wartości te stały się jakoby głównym, a często nawet jedynym warunkiem egzekwowanym w poszczególnych etapach modernizacji (przebudowy) podtorza. Dodatkowym powodem zmian w Warunkach [3, 4] było także to, że zaobserwowano możliwość spełniania wymaganych wartości „na torowisku” z jednoczesnym brakiem przydatności całego podtorza do użytkowania. Wykreślenie nastąpiło więc dla zmniejszenia znaczenia modułu wtórnego odkształcenia w całym procesie modernizacyjnym podtorza, aby nie posiadał znaczenia super parametru do oceny jego stanu.

Głównym źródłem pozyskiwania informacji o odkształcalności podtorza są badania geotechniczne przeprowadzane dla sporządzenia projektu modernizacji (przebudowy) podtorza.

Projekt i budowa modernizacyjnych wzmocnień podtorza poprzedzane są stosownymi badaniami geotechnicznymi z zastosowaniem bezpośrednich metod badań, a ostatnio także z uwzględnieniem badań metodami pośrednimi (radarowymi). Miejsca badań metodami bezpośrednimi odległe są od siebie zwykle 100 – 300 m, zmiany rodzajów gruntów i ich właściwości przyjmowane są według

prostej interpretacji geotechnicznych przekrojów podłużnych i poprzecznych podtorza, ewentualnie z uwzględnieniem wyników ciągłych badań radarowych.

W modernizacyjnych przebudowach i naprawach podtorza, jeśli nie wykazuje ono ogólnej niestateczności i nie następuje zmiana trasy w profilu lub w planie, głównie wzmocniana jest górna strefa podtorza pod torowiskiem, przez wbudowanie warstwy ochronnej. Dotychczasowa górna strefa podtorza zostaje zastąpiona nową konstrukcją, którą tworzą subwarstwy z materiałów ziarnistych naturalnych (grunty niespoiste) lub z kamienia łamanego (niesorty, grysy, kłince), w razie potrzeby zawierające geokompozyty (geowłókniny, geotkaniny, geosiatki, geokraty przestrzenne). Warstwy ochronne budowane są na stosownie przygotowanych gruntach podtorza lub podłoża. W licznych przypadkach przygotowanie to polega na zastosowaniu stabilizacji gruntów spoiwami budowlanymi (wapnem lub cementem albo mieszaniną tych spoiw).

## O badaniach odkształcalności podtorza

Miarą odkształcalności jest stosunek jednostkowego obciążenia elementu obciążającego do jego osiadania pod tym obciążeniem z uwzględnieniem geometrycznych i fizycznych warunków pomiaru. Dla potrzeb podtorza wykonuje się próbną obciążenie stalową płytą o średnicy 30 cm w celu oznaczenia modułu pierwotnego (ogólnego) odkształcenia gruntu (materiału) podtorza oraz quasi sprężystego modułu z drugiego obciążenia. Warunki próbnych obciążeń można analizować uwzględniając wartości parametrów opisujących proces badań i obliczeń.

Obecnie uwzględnione jest założenie o sztywności płyty i równanie [1]:

$$E = \frac{3}{4} \cdot \frac{D \cdot \Delta p}{\Delta y} \quad (1)$$

gdzie:  $D$  - średnica płyty [mm],  $\Delta p$  - przedział obciążeń przyjęty do obliczeń modułu [MPa],  $\Delta y$  - osiadanie płyty w przyjętym przedziale obciążeń [mm].

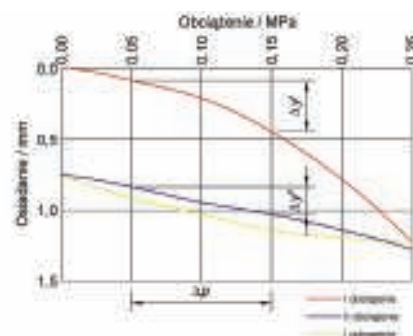
Wynik takiego badania odkształcalności stanowi jedyny syntetyczny miernik bezpośredniego pochodzenia do oceny nośności budowli gruntowej współpra-

cującej z nawierzchnią drogi, bez pobierania próbek z naruszeniem ich struktury w każdym przypadku i bez konieczności wykonywania badań laboratoryjnych. Syntetyczny wynik pochodzi z umownego, ale jednakowego testu we wszystkich miejscach pomiarowych, przy zastosowaniu takiego samego narzędzia, postępowania i analizy pomiaru.

W geotechnice podtorza moduł odkształcalności zajął ważne miejsce wśród parametrów charakteryzujących stan podtorza, a nawet stał się niezbędnie potrzebną właściwością, gdy przy jego zastosowaniu przeprowadzono udane próby dopasowania warstwowych konstrukcji wzmocnienia podtorza o stwierdzonej zbyt dużej odkształcalności, do wymagań trwałości podtorza i nawierzchni, a więc ich współpracy bez zwiększonych trwałych odkształceń. Potwierdzeniem znaczenia przede wszystkim modułu wtórnego odkształcenia było ustanowienie tak zwanych minimalnych wartości modułu odkształcenia podtorza mierzonego w torowisku [3]. W ten sposób przyjęto wzorec odkształcalności (nośności) podtorza, z którym należy porównywać rzeczywiste podtorze dróg w celu identyfikacji jego stanu, określenia potrzeb naprawczych, obliczenia konstrukcji wzmocnienia, i na tej podstawie sprawdzenia procesu przebudowy podtorza (to jest jakości i skuteczności wbudowywanych subwarstw konstrukcji) i końcowego efektu przebudowy-wzmocnienia. Przebieg badań i analizy pokazany jest na rys. 1.

Podczas sprawdzania robót podtorzowych wartość wtórnego modułu  $E_2$  jest więc porównywana z wartością wymaganą  $E_{min}$ ; powinien być spełniony warunek:

$$E_2 \leq E_{min} \quad (2)$$



1. Wykresy osiadań płyty próbnej i sposób ich opracowania [7]



2. Podłużny przekrój geotechniczny słabego podtorza odcinka szlaku od km 272,300 do km 272,500 linii E-20 [6].

Z wyników badań wyznaczany jest także iloraz wartości obu modułów, nazwany wskaźnikiem odkształcenia, który w rzeczywistości jest ilorazem osiadań w miarodajnym przedziale obciążeń  $\Delta p$  podczas pierwszego i drugiego obciążenia:

$$I_0 = \frac{E_2}{E_1} = \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2} \quad (3)$$

Wskaźnik ten charakteryzuje zagęszczenie gruntów podtorza i warstw wzmacniających, i powinien pozostawać w określonych granicach wartości [2]. Norma [2] oraz przepisy [1] określają szczegółowe wymagania odnośnie wartości wskaźników zagęszczenia i wskaźników odkształcenia, które powinny być stosowane w ocenie przebudowy modernizacyjnej podtorza.

Do oceny podtorza wzmocnionego stosowane są więc wartości pomierzonych modułów wtórnego odkształcenia z żądaniem spełnienia warunku (2) oraz wartości wskaźników odkształcenia, które powinny spełniać określone wymagania [2]. Dla poszczególnych odcinków podtorza otrzymuje się zbiory wartości, które można statystycznie badać w celu określenia jakości (jednorodności) odkształcalności i zagęszczenia podtorza, jako miary jakości robót. [2, 8].

Wykazano [7], że płyta o średnicy 30 cm oddziałuje do głębokości około 4D od torowiska. Głębokość ta jest znacznie większa od grubości warstw ochronnych stosowanych do wzmocnienia podtorza, które wynoszą zwykle 15 ÷ 50 cm, a w przypadku stosowania maszyny AHM największa grubość warstwy osiąga 40 cm.

Z przedstawionej analizy wynika, że z godnie z definicją modułu odkształcenia oraz przebiegiem i analizą wyników badań płytą oraz z głębokością jej oddziaływania, omawiany test charakteryzuje stan gruntów (materiałów) o ograniczonej grubości (głębokości). Ten sposób pomiaru stanu jest wystarczająco dokładny dla oceny np. górnej strefy podtorza (warstwy ochronnej, podtorza bezpośrednio pod warstwą). Uzyskany wynik nie dotyczy głębszego środowiska gruntowego, na którym war-

stwa spoczywa i z którym współpracuje. Tak należało rozumieć proces badań odkształcalności podtorza i jego znaczenie dla wszystkich etapów modernizacji podtorza. Stąd wynikło także założenie, już wyżej cytowane, że modernizacyjne przebudowy i naprawy podtorza jeśli nie wykazuje ono ogólnej niestateczności i nie następuje zmiana przebiegu trasy w profilu lub w planie, głównie wzmacniana jest górna strefa podtorza pod torowiskiem przez wbudowanie warstwy ochronnej. Wbudowanie warstwy ochronnej na podtorzu niestatecznym w zasadzie nie zmienia jego niestateczności. Niewłaściwym postępowaniem jest ocena podtorza (jego odkształcalności) bez przeprowadzenia ogólnych badań geotechnicznych.

W referacie przedstawiony jest jeden przykład przebudowy podtorza koniecznej mimo uzyskania wystarczająco dużej wartości modułu odkształcenia pomierzonego na torowisku.

### Przebudowa podtorza na słabym podłożu

Dla wstępnych badań podtorza (1993r.) rutynowo wyznaczony otwór o głębokości 2,0 m w km 272,500 linii E-20 wykazał zaleganie torfu bezpośrednio pod nawierzchnią (rys. 2, otwór 10A). W wyniku próbnego obciążenia torowiska płytą określono wtórny moduł odkształcenia podtorza równy 115 MPa przy wymaganej wartości 120 MPa.

Dla wyjaśnienia budowy podtorza w tym miejscu wykonano szczegółowsze badania przy zastosowaniu 11 otworów wiertniczych o głębokościach do 4,5m z makroskopowym i laboratoryjnym bada-

niem próbek gruntów. Badania przeprowadzono na odcinku od km 272,300 do km 272,700 na szlaku od p.o. Nekla do stacji Kostrzyn Wlkp. Na odcinku tym znajduje się w planie drogi łuk, który został przebudowany w ramach modernizacji.

Pod względem morfologicznym podtorze w tym miejscu znajduje się na obszarze denno-morenowej równiny średzkiej. Torowisko jest w poziomie terenu, a ponadto na długości ok. 100 m jest w płytym przekropie.

W wyniku badań stwierdzono, że głębsze podłoże stanowią gliny zwałowe bezpośredniej akumulacji lodowca zlodowacenia północno-polskiego (gliny piaszczyste i pylaste oraz piaski gliniaste), na których zalegają osady wodnolodowcowe (pyły, piaski, pospółki) oraz osady akumulacji rzecznej (torf, namuły, gliny pylaste) związane z działalnością akumulacyjną rzek Maskawa i Cybina. W czasie badań stwierdzono występowanie wody gruntowej o swobodnym zwierciadle i pod ciśnieniem około 1,8 m słupa wody; woda stabilizowała się na głębokości od 0,15m do 1,8m od torowiska.

Podtorze gruntowe na odcinku jest w postaci nasypów zbudowanych głównie z gruntów niespoistych (pospółek, piasków), o wysokości około 0,5m. W kilku otworach stwierdzono, że nawierzchnia zbudowana jest na powierzchni podłoża kolejowego.

W podłożu, a nawet w nasypach, na dość małej głębokości występowała woda gruntowa. Charakterystyczne i zwracające uwagę są otwory 5, 10A, 6 i 7 w podłożu kolejowym, wykazujące grunty organiczne i mineralne słabe bezpośrednio pod nawierzchnią kolejową, w obecności wody gruntowej.

Z przeprowadzonego rozpoznania geotechnicznego wynikał wniosek, że z powodu występowania w podłożu gruntów o małej wytrzymałości (organicznych i mineralnych), należy zaprojektować wymianę tych gruntów na grunty niespoiste. Miąższość gruntów słabych była największa w otworze 10A i wynosiła ok. 1,0m.

Wymiana gruntów słabych nastąpiła jednocześnie z przesunięciem łuku w ramach modernizacji trasy. Zaprojektowano wymianę gruntów nieodpowiednich do



3. Przekrój podłużny przebudowanego podtorza [6]

głębokości ich występowania. Przebudowę zaprojektowano wykonać w dwóch fazach, bez wstrzymania ruchu pociągów, ale przy zmniejszonej ich prędkości. W I fazie czynny był istniejący (stary) tor nr 2, tor nr 1 został zamknięty i rozebrany. Grunt organiczny wybrano tak, aby można było zbudować nasyp pod tor nr 1 (rys. 3).

Roboty wykonywano odcinkami o długości około 15,0 m. W II fazie robót czynny był nowy tor nr 1, natomiast stary tor nr 2 zamknięto i rozebrano. Wybrany został grunt dla umożliwienia zbudowania nasypu pod nowy tor nr 2. Przed rozpoczęciem przebudowy grunty do budowy nowego podtorza zostały w całości zgromadzone w pobliżu miejsca robót, dla sprawnego przebiegu prac i dla uniknięcia dynamicznych oddziaływań związanych z ich wyładunkiem.

Po przeprowadzeniu wyżej opisanej przebudowy podtorza zbudowano warstwę ochronną o minimalnej grubości jako ostatni etap modernizacji podtorza. W wyniku badań odbiorczych podtorza na torowisku uzyskano wartości modułów wtórnych modułów odkształcenia większe od wymaganych.

## Wnioski

Wartości modułów odkształcenia uzyskuje się na podstawie próbnych obciążeń podtorza według jednakowego testu we wszystkich miejscach, co do aparatury,

przebiegu próby i analizy wyników pomiarów.

Stosowalność wartości modułów jest ograniczona ze względu na zastosowaną aparaturę i przebieg badania.

Badania próbne nie powinny być samodzielnym badaniem lecz powinny stanowić element badań geotechnicznych.

Uzyskany wynik próbnego obciążenia (moduł odkształcenia) nie jest jedynym warunkiem egzekwowanym w odbiorach prac, lecz tworzy następne elementy, np. wskaźnik odkształcenia.

Stosowanie warstwy ochronnej na nieznanym podtorzu bez badań geotechnicznych nie jest poprawnym postępowaniem.



## Materiały źródłowe

- [1] Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009r.
- [2] PN-S-02205 Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania. PKN Warszawa 1998.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 5 czerwca 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 2014 nr 0 poz. 867).

- [4] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987).
- [5] Siewczyński Ł.: Określenie modułów odkształcalności podtorza w procesie modernizacji. Materiały XI Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Drogi Kolejowe '01” Wrocław 21-23 listopada 2001.
- [6] Siewczyński Ł.: Przykłady projektowanych sposobów wzmocnienia podtorza na linii kolejowej E-20. Materiały Konferencji naukowo-technicznej „Modernizacja podtorza dla linii o zwiększonych prędkościach”, Poznań 1994, str. 102-113.
- [7] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Analiza współpracy próbnych płyt z podtorzem. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi Kolejowe 2007”. Poznań-Rosnówko, 19-20 października 2007 r., Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 3/2007, Poznań, WPP 2007 r., str. 285 – 296.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M.: Wymagane i osiągnięte wartości wskaźnika odkształcenia modernizowanego podtorza, Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie”, Ryto 16-18 listopada 2005r. s. 245-264.

## REKLAMA



- Budowa stacji transformatorowych
- Budowa sieci i instalacji SN i nn
- Prace pomiarowo-kontrolne
- Uliczna sygnalizacja świetlna
- Prefabrykacja rozdzielnic
- Technologia lotniskowa

### Siedziba Firmy:

ul. Gorkiego 95/2  
92-517 Łódź

### Adres Korespondencyjny:

ul. Niciarniana 47  
92-320 Łódź

tel: 42 672 44 91; 42 672 44 92

fax: 42 672 44 36

biuro@elinstal.eu

www.elinstal.eu