

PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ PODTORZA Z WYKORZYSTANIEM WYKRESÓW¹

Łucjan Siewczyński

dr hab. inż. prof. n. PR, 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 dwie najczęściej stosowane metody obliczania wzmocnień górnej strefy podtorza. Z wykorzystaniem metody modułu ekwiwalentnego zaprezentowano sposób opracowania wykresów zależności grubości warstwy ochronnej od właściwości gruntów podtorza. W analizie uwzględniono trzy podstawowe parametry uzyskiwane z badań podtorza – stopnie plastyczności i zagęszczenia oraz wtórny moduł odkształcenia. Przedstawiono przykładowe wykresy zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej z materiału o module odkształcenia 200 MPa od właściwości gruntów podtorza.

Słowa kluczowe: droga kolejowa; podtorze kolejowe; projektowanie wzmocnień

1. Wstęp

Według polskich przepisów kolejowych [1] projektowanie grubości warstw może być przeprowadzane na dwa sposoby. W pierwszym z nich uwzględnia się naciski dopuszczalne na grunty podtorza. Drugi sposób oparty jest o minimalne 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. W ten sposób unika się nadmiernych trwałych odkształceń podtorza wskutek uplastycznienia i wypięrania gruntu spod nawierzchni. W praktyce do wyznaczania obciążeń dopuszczalnych na grunty stosowane są wzory znane z mechaniki gruntów. Obciążenie dopuszczalne przyjmowane jest jako największe możliwe obciążenie nie wywołujące uplastycznienia gruntu w żadnym punkcie podtorza (obciążenie krytyczne) lub jako obciążenie graniczne z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa.

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

1 Wkład procentowy poszczególnych autorów: Siewczyński Ł 50 %, Pawłowski M 50 %

modułu gruntu w podtorzu. 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, który wykazuje takie same osiadanie jak układ subwarstw.

2. Wykresy do projektowania wzmocnień podtorza

Projektowanie grubości warstw ochronnych odcinków linii kolejowych, z wykorzystaniem nomogramów dla układu dwuwarstwowego jest czasochłonne i wymaga dużej dokładności odczytu wartości z wykresów. W celu usprawnienia procesu wyznaczania grubości warstw zależność:

$$E_e = \frac{E_{g2}}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{E_1}{E_{g2}} \right)^{1.4}} \right) \cdot \arctg \left(\frac{h}{D} \cdot \left(\frac{E_1}{E_{g2}} \right)^{0.4} \right)} \quad (1)$$

gdzie:

E_e – moduł ekwiwalentny [MPa]

E_1 – moduł sprężystości projektowanej warstwy ochronnej [MPa],

E_{g2} – moduł odkształcenia gruntu w podtorzu [MPa],

h – grubość warstwy [m],

D – średnica płyty pomiarowej [m],

na podstawie której został sporządzony nomogram

$$\frac{E_e}{E_1} = f \left(\frac{E_{g2}}{E_1}, \frac{h}{D} \right) \quad (2)$$

gdzie: opis wielkości jak w zależności (2),

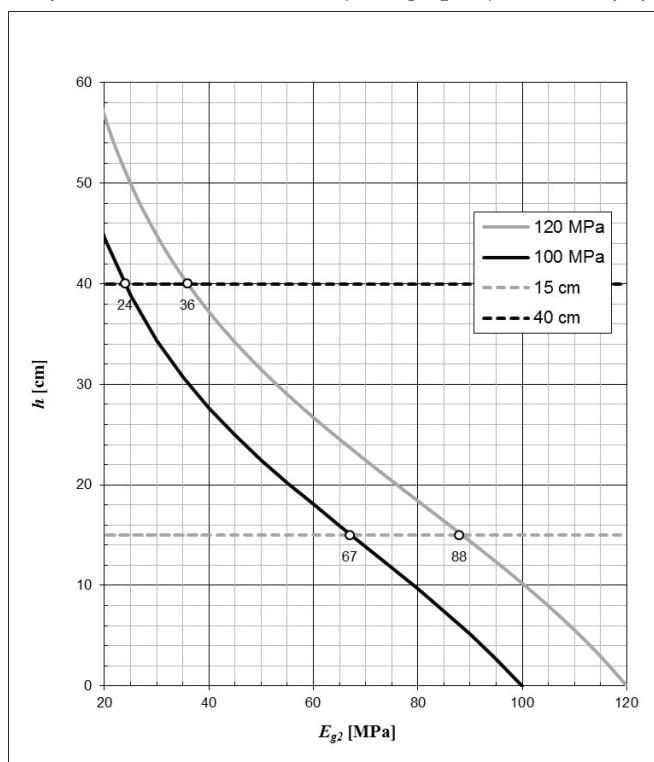
można przekształcić i zapisać w postaci:

$$h = -g \left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{E_1}{E_{g2}} \right)^{1.4} \cdot \frac{E_{g2} - E_e}{E_e \cdot \left(\left(\frac{E_1}{E_{g2}} \right)^{1.4} - 1 \right)} \right) \cdot \frac{D}{\left(\frac{E_1}{E_{g2}} \right)^{0.4}} \quad (3)$$

gdzie: opis wielkości jak w zależności (2).

Podstawiając do powyższego wzoru znane wartości modułu sprężystości projektowanej warstwy ochronnej E_1 , projektową wartość modułu odkształcenia podtorza E_2 (np. 100 i 120 MPa) oraz średnicę płyty pomiarowej $D = 30$ cm, można sporządzić wykres zależności $h = f(E_2)$ - rys. 1. Wyznaczane z wykresu grubości warstwy ochronnej należy, zgodnie z zasadami podanymi w [1], zaokrąglić w górę do pełnych 5 cm.

Na wykresie oznaczono minimalną grubość przepuszczalnej warstwy ochronnej – 15 cm oraz granicą grubość warstwy ochronnej, którą można wbudować przy jednokrotnym przejeździe maszyny AHM-800R – 40 cm. Wartości modułów odkształcenia podtorza 67 i 88 MPa (odpowiednio dla $E_1 = 100$ MPa i $E_1 = 120$ MPa) wyznaczają dolną granicę stosowania minimalnej grubości warstwy ochronnej. Wartości modułów odkształcenia 24 i 36 MPa (odpowiednio dla $E_1 = 100$ MPa i $E_1 = 120$ MPa) wyznaczają dolną granicę możliwości budowy warstwy, bez zastosowania dodatkowych wzmocnień, w trakcie jednego przejazdu maszyny AHM-800R.

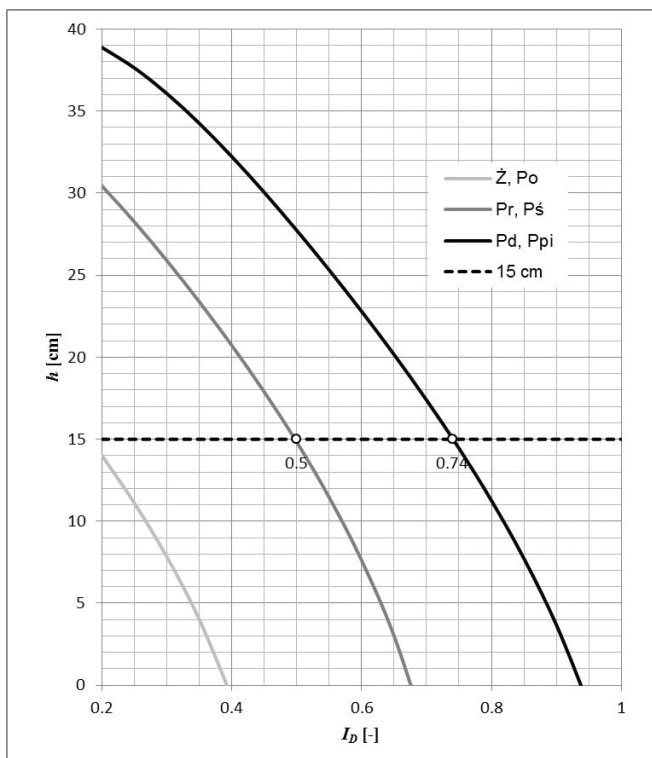


Rys. 1. Wykres zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej z materiału o module sprężystości 200 MPa od modułu odkształcenia podłoża

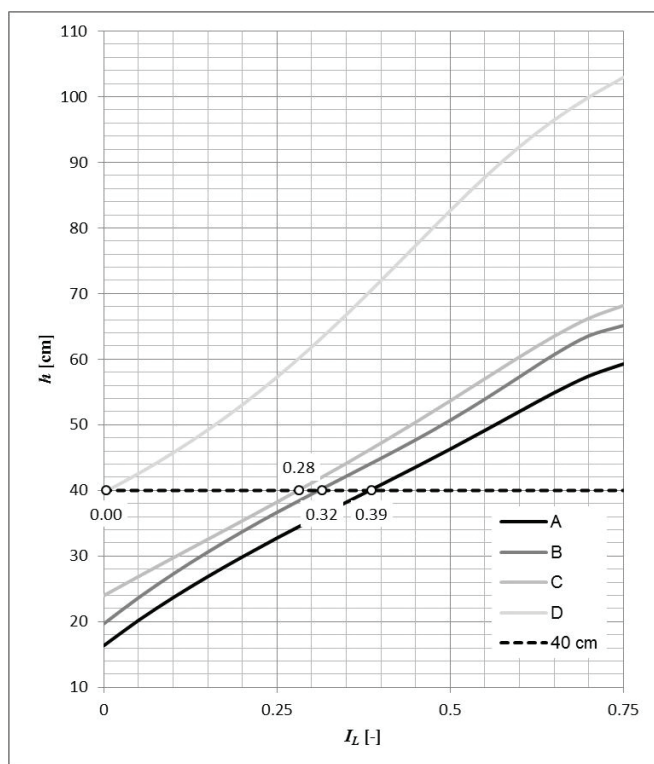
W czasie opracowywania wzmocnień podtorza często zdarza się, że projektant nie dysponuje wartościami modułów wtórnego odkształcenia podtorza. Wówczas wartości modułów odkształcenia określa się na podstawie stopnia zagęszczenia I_D lub stopnia plastyczności I_L z zależności normowych [3], po wykonaniu badań geotechnicznych. Stosując równanie (3) oraz relacje $E_0^{(n)} = f(I_D)$ oraz $E_0^{(n)} = f(I_L)$

[3] można opracować wykresy zależności $h = f(I_D)$ - rys. 2 oraz $h = f(I_L)$ - rys. 3. Wyznaczone z wykresów grubości warstwy ochronnej należy, zgodnie z zasadami podanymi w [1], zaokrąglić w górę do pełnych 5 cm. Na wykresie zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej, z materiału o module sprężystości 200 MPa, od stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych (rys. 2) oznaczono minimalną grubość przepuszczalnej warstwy ochronnej – 15 cm. Niezależnie od właściwości gruntów niespoistych podtorza, jeżeli wymagana grubość warstwy ochronnej według wykresu (rys. 2) jest mniejsza od 15 cm, należy przyjąć jako grubość warstwy ochronnej 15 cm.

Na wykresie zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej, z materiału o module sprężystości 200 MPa, od stopnia plastyczności gruntów spoistych (rys. 3) oznaczono graniczną grubość warstwy ochronnej, którą można wbudować przy jednokrotnym przejeździe maszyny AHM-800R – 40 cm. Jeżeli projektowana według właściwości gruntów spoistych podtorza grubość warstwy ochronnej przekracza 40 cm, należy rozważyć konieczność zastosowania dodatkowych zabiegów zwiększających wytrzymałość podtorza (stabilizację spoiwami) lub zwiększających wytrzymałość warstwy ochronnej (geosyntetyki). Zastosowanie wzmocnienia warstwy geosyntetykami pozwala zredukować wymaganą jej grubość, w zależności od zastosowanych materiałów, o około 30% [7].



Rys. 2. Wykres zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej, z materiału o module sprężystości 200 MPa, od stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych

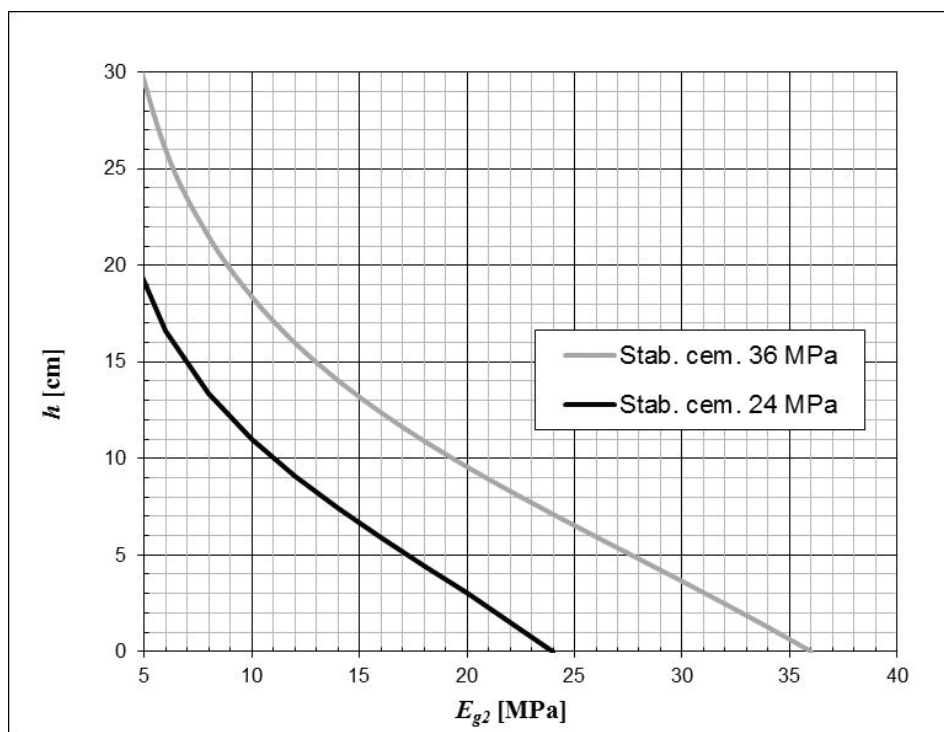


Rys. 3. Wykres zależności grubości pojedynczej warstwy ochronnej, z materiału o module sprężystości 200MPa, od stopnia plastyczności gruntów spoistych (A – grunty spoiste, morenowe, skonsolidowane, B – inne grunty spoiste skonsolidowane i grunty spoiste morenowe nieskonsolidowane, C – inne grunty spoiste nieskonsolidowane, D – ility niezależnie od ich genezy)

Przedstawiony na przykładach sposób opracowania zależności grubości warstwy ochronnej w funkcji modułu wtórnego odkształcenia podtorza (rys. 1.), na którym jest projektowana, a także zależność grubości warstwy ochronnej od stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych (rys. 2.) i od stopnia plastyczności gruntów spoistych (rys. 3.), może być zastosowany do sporządzenia pełnego zestawu wykresów zależności grubości warstw ochronnych pojedynczych i podwójnych z najczęściej stosowanych materiałów, na podtorzu z gruntów niespoistych i spoistych o stanach zróżnicowanych dla różnych wartości E_{proj} . Wykresy znacznie upraszczają proces badań płytą VSS, która powinna być ustawiana na głębokości stosownej do spodziewanej grubości warstwy ochronnej oraz skracają proces projektowania warstw ochronnych.

W praktyce projektowania i wykonawstwa warstw ochronnych przyjmuje się, że podtorze charakteryzujące się modułem odkształcenia wtórnego o wartości 10 MPa, a według niektórych realizacji nawet 20 MPa, nie stanowi wystarczająco dobrego podłoża dla prawidłowej pracy jej konstrukcji. Grunty charakteryzujące się wartościami modułów mniejszymi od tak przyjętych, powinny być poddane stabilizacji przed zbudowaniem warstwy ochronnej.

Podstawiając do wzoru (3) wartości modułu sprężystości gruntu stabilizowanego cementem (250 MPa), projektowe wartości modułów odkształcenia podtorza po stabilizacji 24 i 36 MPa, (wyznaczające granicę możliwości budowy pojedynczej warstwy ochronnej o grubości 40 cm z materiału o module odkształcenia 200 MPa dla projektowych wartości modułu odkształcenia na torowisku $E_{proj} = 100$ i 120 MPa (rys. 1)) oraz średnicę płyty pomiarowej $D = 30$ cm, można sporządzić wykres zależności $h = f(E_{g2})$ - rys. 4).



Rys. 4. Wykres zależności głębokości stabilizacji cementem od modułu odkształcenia podłoża

Wyznaczane z wykresów głębokości stabilizacji cementem należy uwzględniając dokładności robót ziemnych zaokrąglić w górę do pełnych 5 cm.

Punktowe wzmocnianie podtorza poprzez stabilizację spoiwami hydraulicznymi powinno być wykonywane jako roboty poprzedzające proces przebudowy podtorza maszyną AHM-800R lub jako jeden z procesów przebudowy wykonywanej z wykorzystaniem sprzętu ogólnobudowlanego.

3. Wnioski

- 1) Rzeczywiste warunki geotechniczne w podtorzu mogą być uwzględnione w projektowaniu wzmocnień podtorza z zastosowaniem metody warstwy podwójnej i modułów minimalnych.

- 2) W projektowaniu wzmocnień podtorza należy stosować przede wszystkim parametry geotechniczne z badań polowych, uzupełniając ich zbiór wynikami badań laboratoryjnych i z zależności normowych.
- 3) Opracowane wykresy zależności grubości warstwy ochronnej od właściwości gruntów podtorza mogą uprościć proces projektowania wzmocnień (warstw ochronnych).
- 4) Stabilizowane spoiwami hydraulicznymi grunty podtorza mogą być projektowym elementem warstwy ochronnej, szczególnie gdy stan gruntów pod warstwą nie pozwala na osiągnięcie wymaganego wskaźnika zagęszczenia warstwy.

Literatura

- [1]Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009 r.
- [2]Kostrzewski W., Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich oznaczania. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998r.
- [3]PN-81/B-03020 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednio budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, Warszawa 1981r.
- [4]Siewczyński Ł., Pawłowski M., Projektowanie wzmocnień podtorza według jego właściwości. Przegląd Komunikacyjny 10/2014 (w druku).
- [5]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.
- [6]Wiłun Z., Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 1987 r.
- [7]Zełek Z., Projektowanie warstw ochronnych i podłoży kolejowych budowli ziemnych wzmocnionych geotekstylami. Problemy Kolejnictwa Zeszyt 149, CNTK, Warszawa 2009r., s. 37-52.

