

Zależność stanu zagęszczenia podtorza od stanu jego odkształcalności

The dependence of the state density subgrade of the state of its formability



Michał Pawłowski

Dr inż.

Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

Michal.pawlowski@put.poznan.pl



Łucjan Siewczyński

Dr hab. inż., prof. nadzw. PP., prof. n. PWSZ w Gnieźnie

Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

Lucjan.siewczynski@put.poznan.pl

Streszczenie: W artykule omówiono sposób wykonywania i opracowywania wyników pomiarów odkształcalności podtorza. Przedstawiono wymagane wartości modułów odkształcenia oraz wskaźników zagęszczenia i odkształcenia. W celu określenia głębokości strefy oddziaływania płyty próbnej w podtorzu przeprowadzono analizę stanu naprężenia i odkształcenia uwarstwionego podtorza. Podano wnioski dotyczące stosowalności normowych zależności wartości wskaźnika odkształcenia i wskaźnika zagęszczenia.

Słowa kluczowe: Droga kolejowa; Podtorze kolejowe; Zagęszczenie podtorza

Abstract: The following paper discusses the method of exercise and development of measurement results of subgrade deformability. It shows the required values of the modules of deformation as well as density and deformation indexes. The analysis of stress and deformation of laminar subgrade has been made in order to determine the depth of interaction zone on a test plate in a subgrade. Presented conclusions regard the applicability of normative dependencies on the value of both deformation index and density index.

Keywords: Railroad; Railway Subgrade; Density of the subgrade

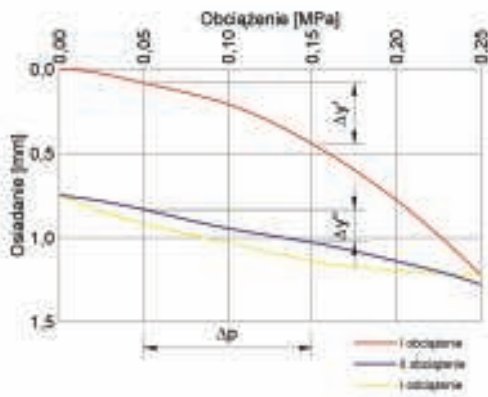
Modernizacja drogi kolejowej obejmuje także przebudowę podtorza gruntowego, która polega głównie na wzmocnieniu jego górnej strefy pod nawierzchnią, przez wbudowanie warstwy ochronnej, po uprzednim przygotowaniu istniejącego podtorza. Podtorze to, także w strefie torowiska, zbudowane jest z różnych gruntów mineralnych, a nawet organicznych, i cechuje się niejednorodnością właściwości fizycznych i mechanicznych. Zastosowanie warstwy ochronnej pozwala znacząco zmniejszyć niejednorodność materiałową podtorza pod nawierzchnią, z jednoczesnym polepszeniem właściwości fizycznych i mechanicznych według wymagań przepisów, to jest zagęszczenia i odkształcalności nowego układu. Nowy stan podtorza podczas budowy i po jej zakończeniu kontrolowany jest badaniami geotechnicznymi w celu określenia wskaźnika zagęszczenia i modułów odkształcalności gruntów podtorza i warstwy ochronnej. Wskaźnik zagęszczenia określany jest podczas

badania laboratoryjnych na podstawie próbek gruntów o nienaruszonej strukturze pobranych na budowie z gruntów lub z materiałów warstwy ochronnej w stanie ocenianym, przez porównanie ze stanem osiąganym w laboratorium. Moduły odkształcenia pierwotnego i wtórnego wyznaczane są z wyników próbnych obciążeń podtorza płytą VSS. Wartości wskaźników zagęszczenia i modułów wtórnego odkształcenia porównywane są z wartościami zawartymi w przepisach kolejowych i w projektach przebudowy podtorza.

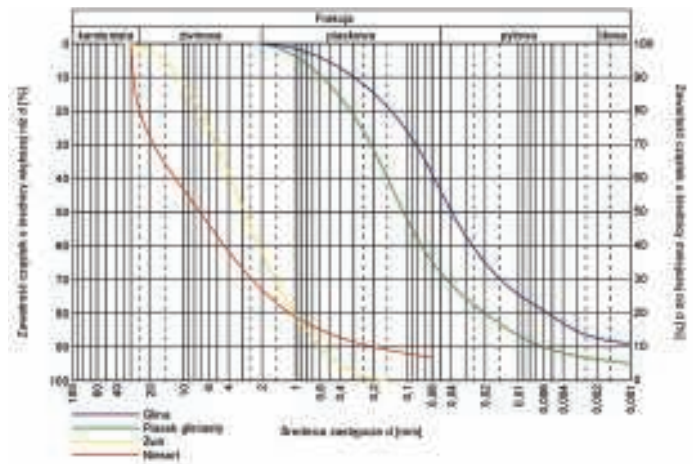
Badania laboratoryjne gruntów i materiałów dla określenia wskaźników zagęszczenia są uciążliwe, długotrwałe i kosztowne, a pobranie próbek gruntów gruboziarnistych i ich transport jest trudny i może prowadzić do błędnych wyników. Ponadto sposoby oznaczania wskaźnika zagęszczenia gruntów tylko w ograniczonym zakresie są przydatne do badań kruszyw produkowanych w kamieniołomach (np. niesortu kamienno). Utrudnienia te są na tyle istotne,

że dla praktycznych zastosowań podczas trwania robót podtorzowych i dla ich odbiorów, a także w budowie dróg samochodowych, przyjmowany jest pośredni sposób oceny stanu zagęszczenia gruntów i materiałów warstw ochronnych przy zastosowaniu wskaźnika odkształcenia. Wartości wskaźnika odkształcenia jako iloraz wartości modułów wtórnego i pierwotnego odkształcenia, obliczone z tej samej próby VSS, posiadają przyporządkowanie w normie wartości wskaźnika zagęszczenia ośrodka podłoża płyty [3]. Ten pośredni sposób oceny zagęszczenia gruntów podtorza i materiałów warstw ochronnych obecnie jest najczęściej stosowany podczas modernizacji podtorza.

Przedstawiony sposób oceny zagęszczenia gruntów podtorza i materiałów warstw ochronnych posiada jednak pewne istotne ograniczenia. Źródłem tych ograniczeń są wykazane w normie wartości wskaźnika odkształcenia odnoszące się do jednorodnego ośrod-



1. Wykresy osiadań płyty próbnej i sposób ich opracowania [8]



2. Krzywe uziarnienia różnych rodzajów gruntów i niesortu kamiennego [8]

ka obciążonego płytą próbną. Realne układy materiałów warstw ochronnych i gruntów istniejącego podtorza są niejednorodne. Bezwzględne odnoszenie tak przygotowanych wartości normowych do rzeczywistych układów uwarstwionego podtorza i z geosyntetykami wymaga analiz i dyskusji. W dotychczasowej praktyce badań podczas modernizacji podtorza osiągnęto wartości wskaźnika odkształcenia różniące się od wykazywanych w normie. Analizę wyników przeprowadzono na podstawie stanu naprężeń i stanu odkształceń w podtorzu obciążonym płytą VSS.

Moduły odkształcenia i wskaźnik odkształcenia

Miarą odkształcalności jest stosunek jednostkowego obciążenia powierzchni przekazującej obciążenia do jej osiadania pod tym obciążeniem, z uwzględnieniem geometrycznych i fizycznych warunków pomiaru. Dla potrzeb drogownictwa wykonuje się próbne obciążenia stalową płytą okrągłą w celu oznaczenia pierwotnego modułu odkształcenia gruntu E' oraz quasi sprężystego modułu E'' z drugiego obciążenia.

Wielkość modułu odkształcenia na podstawie wyników badań próbną płytą

tą okrągłą określona jest równaniem [3,4]:

$$E = 0,75 \cdot \frac{\Delta_p}{\Delta_y} \cdot D \quad (1)$$

gdzie: E – moduł odkształcenia [MPa], D – średnica płyty [mm], Δ_p – przedział obciążeń przyjęty do obliczeń modułu [MPa], Δ_y – osiadanie płyty w przyjętym przedziale obciążeń [mm]

Integralną częścią testu jest największy nacisk przekazywany na podłoże przez płytę (p_{max}) oraz przedział obciążeń (Δ_p), z którego moduł jest obliczany (rys. 1). Przyjmuje się p_{max} jako obciążenie quasi-graniczne, albo równe podwojnemu obciążeniu użytkowemu, albo co najmniej większe od obciążenia użytkowego przekazywanego na podtorze. W przypadku podtorza linii magistralnych dla zwiększonych prędkości pociągów ($k_v = 2,0$) i nacisku osi 225 kN obciążenie na torowisko należy przyjąć około 0,165 MPa [6,7], oraz $p_{max} = 0,35$ MPa i przedział $\Delta_p = 0,10$ —0,25 MPa (dla warstwy ochronnej) albo $p_{max} = 0,25$ MPa i $\Delta_p = 0,05$ —0,15 MPa dla podtorza pod warstwą. Dla dużych prędkości pociągów ($k_v > 2,0$) odpowiednie będą większe wartości p_{max} i przedziału Δ_p [6,7].

Podczas kontroli robót podtorzo-

wych wyznaczane są wartości modułów odkształcenia pierwotnego i wtórnego. Wartość wtórnego modułu (1) jest porównywana z wartością wymaganą E_{min} (tab. 1) [4]; powinien być spełniony warunek:

$$E'' \geq E_{min} \quad (2)$$

Wyznaczany jest także iloraz wartości obu modułów nazywany wskaźnikiem odkształcenia:

$$I_o = \frac{E''}{E'} \quad (3)$$

Wskaźnik ten w rzeczywistości jest ilorazem osiadań w miarodajnym przedziale obciążeń testu:

$$I_o = \frac{\Delta_{y'}}{\Delta_{y''}} \quad (4)$$

Wskaźnik odkształcenia charakteryzuje zagęszczenie gruntów podtorza i warstw wzmacniających i powinien pozostawać w określonych granicach wartości [1,3]. Normy [1,3] oraz przepisy [4] określają szczegółowe wymagania odnośnie wartości wskaźników zagęszczenia (I_s) i wskaźników odkształcenia (I_o), które powinny być stosowane w ocenie przebudowy modernizacyjnej podtorza.

Według normy dla robót ziemnych dróg samochodowych [3] ocenę zagęszczenia dokonuje się na podstawie wskaźnika zagęszczenia I_s . Alternatywnie zagęszczenie gruntu, zwłaszcza zawierającego kamienie, można oceniać na podstawie wskaźnika odkształcenia I_o , którego wartość uzależniona jest od spodziewanej wartości wskaźnika zagęszczenia oraz rodzaju ocenianego

Tab. 1. Minimalne wartości modułu odkształcenia podtorza mierzonego w torowisku [4]

Prędkość v_{max} [km/h]	Nacężenie przewozów T [Tg/rok]			
	$T \geq 25$	$10 \leq T < 25$	$3 \leq T < 10$	$T < 3$
$200 < v_{max} \leq 250$	120 (80)	120 (80)	120 (80)	110 (70)
$160 < v_{max} \leq 200$	120 (80)	120 (70)	110 (60)	100 (55)
$120 < v_{max} \leq 160$	120 (70)	110 (60)	100 (50)	90 (45)
$80 < v_{max} \leq 120$	110 (60)	100 (55)	90 (45)	80 (40)
$v_{max} \leq 80$	100 (50)	90 (45)	80 (40)	80 (40)

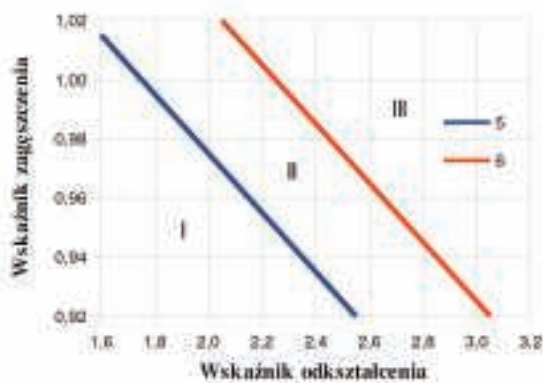
gruntu (rys. 2) i nie powinna być większy niż:

- dla żwirów, pospółek i piasków: 2,2 przy wymaganej wartości $I_s \geq 1,0$; 2,5 przy wymaganej wartości $I_s < 1,0$,
- dla gruntów drobnoziarnistych o równomiernym uziarnieniu (pyłów, glin, glin pylastych, glin zwięzłych i iłów) – 2,0,
- dla gruntów różnoziarnistych (żwirów gliniastych, pospółek gliniastych, pyłów piaszczystych, piasków gliniastych, glin piaszczystych, glin piaszczystych zwięzłych) – 3,0,
- dla narzutów kamiennych, rumoszy – 4,0.

Zgodnie z normą dla robót ziemnych podtorza [1] zagęszczenie gruntów powinno odpowiadać warunkom podanym w tabeli 2., jednak dopuszczalne jest zastąpienie tych wymagań przez sprawdzenie wartości wskaźnika odkształcenia, która nie powinna być większa od 2,2. Wymagane zagęszczenie gruntów według przepisów [4] podane jest w tabeli 3. W przepisach tych wprowadzono również trzy przedziały stanu zagęszczenia gruntów umożliwiające ocenę wartości wskaźnika zagęszczenia na podstawie znanej wartości wskaźnika odkształcenia (rys. 3). Granice przedziałów stanu zagęszczenia wyznaczają proste o równaniach:

$$I_s = 1,175 - 0,1 \cdot I_0 \quad (5)$$

$$I_s = 1,225 - 0,1 \cdot I_0 \quad (6)$$



3. Ocena stanu zagęszczenia podtorza na podstawie wartości wskaźnika odkształcenia według przepisów [4]; I – zagęszczenie dobre; II – zagęszczenie wątpliwe; III – zagęszczenie niedostateczne

Tab. 2. Wymagane wskaźniki zagęszczenia podtorza linii magistralnych i pierwszorzędnych [1]

Część podtorza	Metoda porównywania poszczególnych wyników pomiarów		Metoda statystyczna
	Wskaźnik zagęszczenia	Średni wskaźnik zagęszczenia	Współczynnik zmienności [%]
Warstwa ochronna	$\geq 1,00$	$\geq 1,00$	$\leq 2,0$
Korpus nasypu	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$	$\leq 2,5$
Warstwa odcinająca	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$	$\leq 2,5$
Materiał filtracyjny do urządzeń odwadniających	$\geq 0,92$	$\geq 0,92$	$\leq 2,5$

Tab. 3. Minimalne wartości wskaźnika zagęszczenia dla nasypów [4]

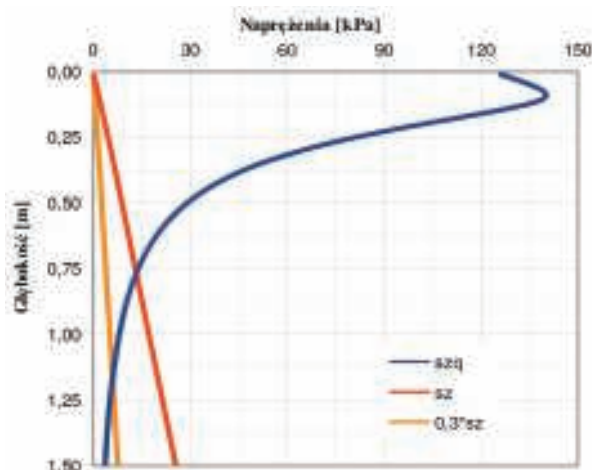
Element podtorza	Część podtorza	Głębokość od torowiska [m]	IS	
nasyp	górna	$\leq 0,2$	kruszywa mineralne nieulepszone	
			$\geq 1,03^{1)} \geq 0,97^{2)}$	
		0,2 do 2,0	grunty niespoiste	grunty spoiste
			$\geq 1,00$	$\geq 0,97 \geq 1,003)$
	dolna	$> 2,0$	$h \leq 6,0$	$\geq 0,92$
			$h > 6,0$	$\geq 0,95$
podłoże do 0,5 m od pow. terenu	$h \leq 2,0$	$h \leq 2,0$	$\geq 1,00$	
		$h > 2,0$	$\geq 0,92$	
przekop, miejsce zerowe	górna	$\leq 0,2$	$\geq 1,03^{1)} \geq 0,97^{2)3)}$	$\geq 1,03^{1)} \geq 0,97^{2)3)}$
		0,2 do 0,5	$\geq 0,97$	$\geq 0,95$

gdzie h – wysokość nasypu, ¹⁾ – budowa lub dobudowa nowego podtorza, ²⁾ – naprawa lub modernizacja istniejącego podtorza, ³⁾ – grunty stabilizowane spoiwami

Sposób oceny stanu zagęszczenia gruntów przedstawiony w przepisach [4], umożliwia ocenę stanu zagęszczenia podtorza w pełnym zakresie spodziewanych wartości wskaźnika zagęszczenia. Wartość wskaźnika zagęszczenia według równań (5) i (6) jest niezależna od rodzaju gruntów podtorza, dla których oceniany jest stan zagęszczenia. Dla wskaźnika odkształcenia o wartości 2,2 z równania (5) uzyskuje się wartość wskaźnika zagęszczenia równą 0,96, a z równania (6) równą 1,01 co nie jest zgodne z zapisami norm [1,3]. Z porównania wymaganych wartości

wskaźnika odkształcenia w normach [1] oraz [3] uwagę zwraca brak zróżnicowania wymagań ze względu na rodzaj gruntów i materiałów [1,4] oraz wykluczenie stosowania wskaźnika odkształcenia do oceny zagęszczenia gruntów o wilgotności znacznie mniejszej od optymalnej [3]. W podobnych normach dla obu rodzajów dróg zaznacza się istotną sprzeczność, którą można zauważyć także w projektach podtorza – powoływanie się na normę [1] oraz próby respektowania wartości 2,2 na budowach.

Na podstawie badań wyznaczane są wartości modułów wtórnego odkształ-



4. Stan naprężeń w podtorzu z piasku drobnego z warstwą ochronną ze żwiru. Obciążenie płytą 0,35 MPa (tab. 5.)

Tab. 4. Zestawienie uzyskanych wyników badań podczas modernizacji wybranego odcinka linii E-30 [10]

	tor nr 1			tor nr 2		
	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	I_0 [-]	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	I_0 [-]
liczebność	46			45		
min	22	109	1,97	24	108	1,71
max	64	143	5,00	72	155	4,54
średnia	47,85	123,02	2,67	40,55	121,40	3,27
odchyl. stand.	8,92	8,25	0,58	14,57	12,49	0,82
wskaźnik zmienności	0,19	0,07	0,22	0,36	0,10	0,25

cenia podtorza lub układu warstwa ochronna – podtorze oraz odpowiadające im zbiory wartości wskaźników odkształcenia. 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. [6,7]:

$$w_E = \frac{\sigma_E}{\bar{E}^n} \quad (7)$$

gdzie: σ_E - odchylenie standardowe wartości modułów wtórnego odkształcenia podtorza, \bar{E}^n - średnia wartość modułu wtórnego odkształcenia podtorza.

Podobnie także można przeprowadzić statystyczną analizę wartości wskaźników odkształcenia:

$$w_{I_0} = \frac{\sigma_{I_0}}{\bar{I}_0} \quad (8)$$

gdzie: σ_{I_0} - odchylenie standardowe wartości wskaźników odkształcenia podtorza, \bar{I}_0 - średnia wartość wskaźnika odkształcenia podtorza.

Przykład statystycznego opracowania wyników badań odbiorczych wybranego odcinka linii E30 zawarto w tabeli 4.

Naprężenia i osiadania w podtorzu pod płytą

Stosowanie do oceny przydatności wzmacnianego podtorza wartości pomierzonych modułów wtórnego odkształcenia podtorza z żądaniem spełnienia warunku (2) oraz jednocześnie obliczonych wartości wskaźników odkształcenia, które powinny spełniać określone wymagania [1,4] lub lepiej [3], powoduje powiększenie znaczenia

próbnych obciążeń płytą VSS, jako podstawowego badania warunkującego przebieg i odbiory robót, a płytę VSS sytuuje jako główne narzędzie do badań parametrów jakości robót podtorzowych. Z tych względów uzasadniona jest analiza współpracy płyty obciążającej z ośrodkiem kontrolowanym przy jej zastosowaniu. Analizę przeprowadzono określając stan naprężeń i stan odkształceń (osiadań) w podtorzu pod płytą, pozostającym pod obciążeniem odpowiadającym granicznym wartościom przykładowego przedziału obciążeń $\Delta_p = 0,10$ — $0,25$ MPa i największemu naciskowi $p_{\max} = 0,35$ MPa. Do analizy przyjęto prosty przypadek podtorza wzmocnionego pojedynczą warstwą ochronną ze żwiru o grubości 0,3 m, zbudowaną na podtorzu dotychczasowym z piasku drobnego w stanie zagęszczonym. Parametry geotechniczne gruntów podtorza (fizyczne i mechaniczne) przyjęto z piśmiennictwa [9].

Obliczenia naprężeń przeprowadzono zgodnie z normą [2] i według [9] traktując podtorze z warstwą ochronną jako półprzestrzeń, ograniczoną od góry nowym torowiskiem, rozciągającą się nieskończenie głęboko. Przy wyznaczaniu naprężeń od obciążeń zewnętrznych przyjęto, że podtorze jest sprężyste (liniowo-odkształcalne), izotropowe i jednorodne. W analizie uwzględniono obciążenie od ciężaru własnego gruntu. Wartość naprężenia σ_{yz} wyznaczono ze wzoru:

$$\sigma_{yz} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i \quad (9)$$

gdzie: γ_i – ciężar objętościowy gruntu w każdej warstwie i , h_i – grubość poszczególnych warstw i .

Naprężenia od obciążenia płytą próbną wyznaczono przy założeniu, że jest ona doskonale sztywna, stosując wzór:

$$\sigma_{zq} = \eta \cdot q \quad (10)$$

gdzie: η – współczynnik rozkładu naprężeń według nomogramu [2], q – nacisk jednostkowy płyty.

Wartości współczynnika rozkładu naprężeń pionowych η pod obciążeniem sztywną płytą kołową o promieniu R można wyznaczyć ze wzoru [2]:

$$\eta = f(z, R) \quad (11)$$

gdzie: R – promień obszaru kołowego, z – głębokość na której wyznacza się naprężenia.

W obliczeniach osiadań podtorze gruntowe przyjęto jako jednorodną półprzestrzeń liniowo-sprężystą. Uwzględniono założone w przykładach uwarstwienie podtorza pod płytą.

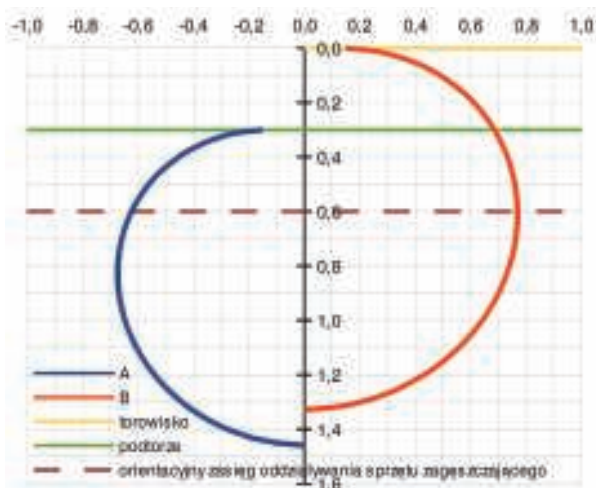
Wartości osiadań obliczono przy zastosowaniu wartości naprężeń występujących w połowie grubości warstwy. Osiedzenia tak obliczone, dla wszystkich wydzielonych warstw, zsumowano do głębokości:

$$\sigma_{z_{\max}q} \leq 0,3 \cdot \sigma_{z_{\max}\gamma} \quad (12)$$

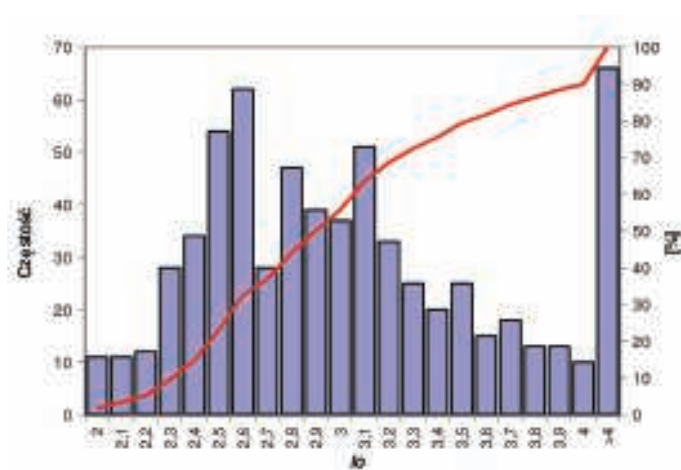
Uwzględniono wartości parametrów geotechnicznych odpowiadające stanowi podtorza podczas pierwszego obciążenia płytą próbną o średnicy 0,3 m, to jest modułów odkształcenia ogólnego E_0 oraz obliczonych na ich podstawie modułów edometrycznych ścisłości pierwotnej M_0 . Wyniki obliczeń wartości osiadań podtorza z warstwą ochronną w rozpatrywanych przypadkach obciążenia zestawiono w tabeli 5.

Wartości naprężeń w podtorzu (rys. 4.) wskazują, że płyta obciążająca działa na swoje podłoże do głębokości zależnej od rodzaju i stanu gruntów w tym podłożu oraz od stosowanego nacisku płyty. Ogólnie można przyjmować, że oddziaływanie to podczas zwykłego testu próbnego podtorza z warstwą ochronną sięga głębokości około 1,3 m licząc od torowiska, czyli około 4D (rys. 5, krzywa B).

W przypadku wykonywania pomiarów na podłożu warstwy ochronnej głębokość oddziaływania płyty wynosi około 1,15 m, czyli około 1,45 m od



5. Zasięg wpływu równomiernie obciążonej okrągłej płyty w podtorzu z piasku średniego (A) i z piasku średniego z warstwą ochronną o grubości 0,3 m wykonaną ze żwiru (B); obciążenie płyty 0,25 MPa (A) oraz 0,35 MPa (B). Głębokość mierzona od torowiska [5]



6. Histogram liczebności wartości wskaźnika odkształcenia układu warstwa ochronna – podtorze oraz dystrybuanta rozkładu wartości wskaźnika odkształcenia zbioru utworzonego z przykładowych wartości wskaźników odkształcenia kilku przebudowywanych odcinków linii E-20 i E-30 [8,10]

torowiska (rys. 5, krzywa A). W związku z tym można stwierdzić, że wartości osiadań (tab. 5) stanowią o wartości wskaźników odkształcenia, nie tylko samej warstwy, lecz także podtorza pod warstwą, a w ogólnym przypadku podtorza uwarstwionego lub gruntu zawierającego domieszki innych gruntów.

W przykładzie obliczeniowym jedynie około 50 % całkowitych osiadań, powstających w trakcie próbnych obciążeń podtorza płytą, wynika z odkształcenia warstwy ochronnej, pozostała ich część to osiadania podtorza gruntowego (tab. 5). Biorąc pod uwagę wartości wskaźnika odkształcenia wyszczególnione dla różnych rodzajów gruntów w normie [3] należy jako wyniku badań kontrolnych podtorza spodziewać się różnych wartości, jednak nie odpowiadających wartościom tak podanym [3]. Dodatkową okolicznością stanowią bardzo ściśle geowłókniny w konstrukcji podtorza, które powiększając wartości osiadań zmieniają także wartości wskaźnika odkształcenia na niekorzystniejszy dla oceny zagęszczenia podtorza.

Uwagi końcowe

Uwzględniając obecnie wymagane minimalne wartości modułu odkształcenia podtorza mierzonego na torowisku (tab. 1), z rozróżnieniem wartości obliczeniowych i wymaganych, należy zauważyć, że największe zagęszcze-

nie gruntów i materiałów (największa wartość wskaźnika zagęszczenia) będzie odpowiadać stanowi wartości pomierzonych modułów odkształcenia zgodnych z wartościami obliczeniowymi; zagęszczenie (wartość wskaźnika zagęszczenia) gdy wymaga się mniejszych wartości modułów (w nawiasach) będzie stosownie mniejsze – mniejsze zagęszczenie należy zaakceptować w takiej koncepcji kontroli i odbioru robót. Oznacza to, że nie należy stosować wtedy sposobu określania stanu zagęszczenia według stanu wskaźnika odkształcenia (z uwzględnieniem wartości zależności obu wskaźników według norm).

W ocenie znaczenia badań modułów odkształcenia i wskaźników odkształcenia należy uwzględnić, że wytrzymałość warstwy ochronnej według projektu obliczona jest z uwzględnieniem wytrzymałości podtorza w najłagodniejszym (najtrudniejszym) miejscu odcinka o stałej grubości warstwy. W związku z tym w innych miejscach podtorza na długości odcinka warstwy wartości modułów i wskaźników odkształcenia mogą wykazy-

wać inne wartości, niż wymagane w normach i przepisach. Podobnie też na długości odcinka warstwy mogą wystąpić miejsca, w których wartości modułów i wskaźników odkształcenia wykażą niedostatek wytrzymałości warstwy, ponieważ kontrola właściwości podtorza przed projektem jest przeprowadzana w miejscach znacznie od siebie oddległych – między nimi właściwości gruntów mogą być mniej korzystne i warstwa ochronna będzie w tych miejscach za słaba. Stąd jako wyniki badań modułów i wskaźników odkształcenia należy uwzględnić rzeczywiste pomierzone wartości, bez ich „zaokrąglania” do wartości wymaganych w normach i przepisach.

Z badań geotechnicznych na wszystkich etapach przebudowy, projektowania i wykonawstwa, zbiory wyników badań powinny zawierać naturalnie zróżnicowane wartości (rys. 6), co powinno być aprobowane w kontrolach i odbiorach robót. Moduły odkształcenia, a więc także zagęszczenie powinny być ostatnimi parametrami określanymi podczas odbiorów robót.

Tab. 5. Wartości osiadań podtorza z warstwą ochronną w rozpatrywanych przypadkach obciążenia

Parametry podtorza			Obciążenie [MPa]					
Element podtorza	Ciężar [kN/m ²]	Moduł [MPa]	0,10		0,25		0,35	
			Osiadanie					
			[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Torowisko	-	$E_{ekw} = 142$	0,120	100,0	0,323	100,0	0,465	100,0
Warstwa ochronna	18,5	$E_0 = 200$	0,062	51,1	0,154	47,7	0,215	46,3
Podtorze	16,7	$E_0 = 78$	0,059	48,9	0,169	52,3	0,249	53,7

Wnioski

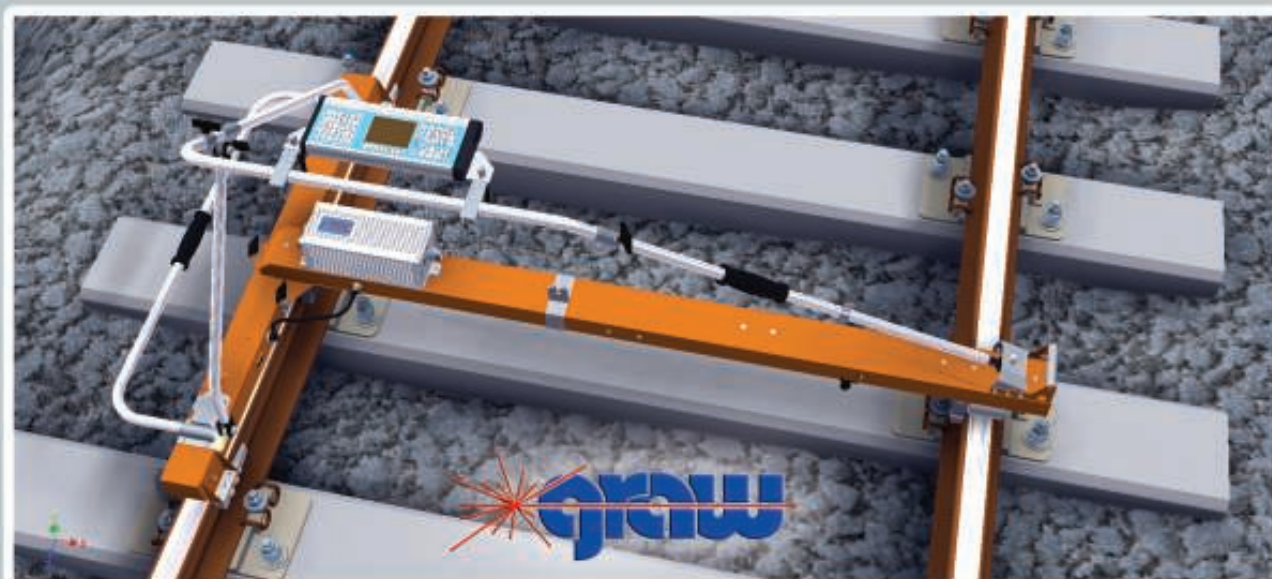
1. Wskaźnik odkształcenia podtorza nie pozwala na dokładną ocenę wskaźnika zagęszczenia gruntów i materiałów rzeczywistego podtorza kolejowego.
2. Wiarygodność oceny zagęszczenia rzeczywistego podtorza na podstawie wskaźnika odkształcenia można by zwiększyć analizując w każdym miejscu badań profil geotechniczny i wpływ geowłókniny, z uwzględnieniem rzeczywistej głębokości oddziaływania płyty próbnej, to jest głębokości 4D licząc od torowiska.
3. Podczas badań sprawdzających podtorza zmodernizowanego wskaźnik odkształcenia najczęściej występował w przedziale $I_0 = 2,6,3,1$; można przyjąć, że w tych granicach wartości podtorze jest w wymaganym stanie zagęszczenia.
4. Stosowanie zwykłych geowłóknin w górnej strefie podtorza zdecydowanie utrudnia ocenę zagęszczenia podtorza na podstawie wyników badań jego odkształcalności. ◀

Materiały źródłowe

- [1] BN-88/8932-02 Podtorze i podłoże kolejowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania. WN „ALFA”, 1989.
- [2] PN-81/B-03020 Grunty budowlane - Posadowienie bezpośrednie budowli - Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, 1981.
- [3] PN-S-02205 Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania. PKN, 1998.
- [4] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. 2009.
- [5] Pawłowski M.: Zależność wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia kruszyw na podstawie próbnych obciążeń płytą statyczną. Rozprawa doktorska Politechnika Poznańska, Poznań 2010.
- [6] Siewczyński Ł.: Moduły odkształcenia w ocenie podłoża nawierzchni dróg. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Nowe Technologie w Budownictwie Drogowym”. Poznań 6-7 września 2001.
- [7] Siewczyński Ł.: Określanie modułów odkształcalności podtorza w procesie modernizacji. Materiały XI Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Drogi Kolejowe '01”. Wrocław 21-23 listopada 2001.
- [8] 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.
- [9] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. WKiŁ, 1976, 2000.
- [10] Dokumentacje geotechniczne, projekty, sprawozdania z badań kontrolnych modernizacji podtorza linii E-20, E-30. Politechnika Poznańska, 1995-2005.

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com