

Zależność wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia z próbnych obciążeń modeli podtorza z piasku średniego

Michał Pawłowski

W artykule zaprezentowano wyniki laboratoryjnych testów wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego z piasku średniego – jednego z etapów badań mających na celu określenie zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia służących do oceny stanu zagęszczenia podtorza. Opisano stanowisko pomiarowe i jego wyposażenie. Przedstawiono rezultaty oznaczeń wskaźników zagęszczenia i odkształcenia modeli podtorza. Na podstawie wyników badań opracowano zależność wskaźników zagęszczenia i odkształcenia. Podano wnioski wynikające z przeprowadzonych doświadczeń.



*dr inż. Michał Pawłowski,
asystent,
Zakład Dróg Kolejowych,
Instytut Inżynierii Lądowej,
Politechnika Poznańska*

Od kilkunastu lat prowadzone są prace modernizacyjne dostosowujące polskie linie kolejowe do wymogów umów międzynarodowych. Przebudową objęte są wszystkie elementy drogi kolejowej – nawierzchnia, podtorze i obiekty inżynierskie. W modernizacyjnych przebudowach i naprawach podtorza, gdy nie ulega zmianie niweleta toru – jego położenie w płaszczyźnie pionowej – wzmacniana jest głównie górna strefa podtorza do głębokości około 80 cm od poziomu istniejącego torowiska. W trakcie wykonywania prac właściwości przebudowywanego podtorza kontrolowane są przy pomocy badań geotechnicznych, w których określa się wartości modułów odkształcenia (E_1 , E_2) i wskaźników zagęszczenia (I_s). Wartości modułów odkształcenia wyznaczone są z próbnych obciążeń podtorza płytą stalową o średnicy 30 cm. Wskaźniki zagęszczenia ocenia się na podstawie próbek pobranych z podtorza podczas badań labo-

1. Stanowisko badawcze do badań odkształcalności wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego: (1) cylinder do formowania modeli badawczych, (2) stalowa rama, (3) przeciwwaga, (4) wciągarka łańcuchowa WRLT 1,0T na wózku jezdnym WZWR-1,0T, (5) stojak do oparcia czujników przemieszczeń [4, 6]

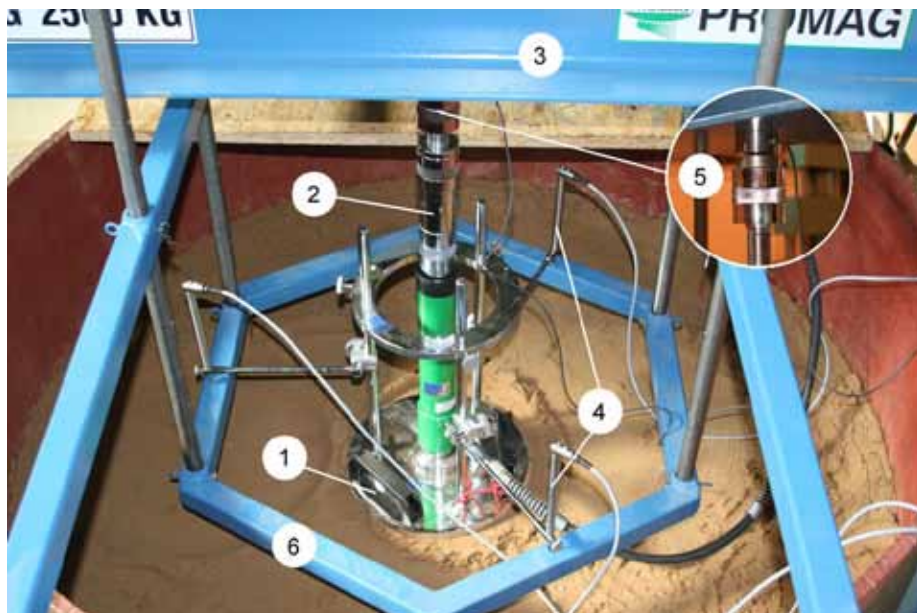


Tab.1. Wyniki badań kontrolnych piasku średniego – zestawienie średnic miarodajnych oraz wskaźników różnoziarności i wyjęcia krzywej uziarnienia [6]

Badanie	d_{10}	d_{30}	d_{60}	U	C
	[mm]				
0x	0,161	0,261	0,374	2,32	1,13
5x	0,162	0,260	0,387	2,39	1,08
10x	0,161	0,264	0,409	2,54	1,06
15x	0,159	0,255	0,384	2,42	1,07
20x	0,156	0,247	0,374	2,40	1,05
25x	0,154	0,246	0,376	2,44	1,05
Średnia	0,159	0,256	0,384	2,42	1,07

ratoryjnych. Na stosownie przygotowanych gruntach podtorza lub podłoża budowana jest warstwa ochronna z materiałów ziarnistych naturalnych (grunty niespoiste) lub z kamienia łamanego (niesorty, grysy, kłińce), w razie potrzeby zawierająca geowłókniny i geosiatki. Używanie mieszanek z kruszyw łamanych do budowy warstw ochronnych powoduje trudności w określaniu stanu zagęszczenia metodą bezpośrednią dlatego stosowana jest pośrednia metoda z wykorzystaniem wskaźnika odkształcenia (I_o) wyznaczanego z próbnych obciążeń podtorza płytą sztywną. Metoda ta mimo oczywistych zalet posiada ograniczenia utrudniające ocenę rzeczywistych układów wzmocnionego podtorza. Źródłem ograniczeń są normowe zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia ($I_s(I_o)$). Na przykład: w normie [1] przyjęto stałą wartość I_o niezależną od rodzaju gruntów podtorza i spodziewanej wartości I_s ; w normie [8], określono zależności $I_s(I_o)$ tylko dla jednorodnych materiałów i granicznej wartości $I_s \geq 1,0$; w przepisach [2] omawiana relacja nie ma odniesienia do rodzaju gruntów podtorza oraz oparta jest na niewiarygodnie małych wartościach I_o .

W celu eliminacji ograniczeń zależności normowych [1, 2, 8] rozpoczęto badania mające doprowadzić do określenia zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia dla różnych gruntów podtorza, kruszyw warstw ochronnych oraz układów podtorze – warstwa ochronna. Doświadczenie podzielono na etapy, podczas których testowane będą wybrane grunty i kruszywa budujące podtorze oraz układy podtorze – warstwa ochronna. W programie eksperymentu założono, że w każdym wydzielonym etapie wykonywane będą trzy grupy badań – wstępne, zasadnicze i kontrolne. Podczas badań wstępnych określone będą: rodzaj kruszywa, skład granulometryczny, wskaźnik uziarnienia, wskaźnik różnoziarności, maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego oraz wilgotność optymalna. W badaniach



2. Aparatura pomiarowa: (1) statyczna płyta sztywna, (2) dźwignik hydrauliczny wraz z przedłużkami, (3) przeciwwaga, (4) przetworniki WA T, (5) przetwornik C9B, (6) statyw do oparcia czujników [4, 6]

Tab.2. Wyniki badań kontrolnych piasku średniego – wartości maksymalnych gęstości objętościowych szkieletu gruntowego oraz wilgotności optymalnych uzyskanych w poszczególnych oznaczeniach [6]

		0X	5X	10X	15X	20X	25X	Średnia
Wopt	[%]	10,43	10,83	11,20	10,20	9,75	9,25	10,28
pds	[g/cm ³]	1,779	1,774	1,760	1,792	1,793	1,782	1,780

Tab.3. Zestawienie zbiorów wskaźników zagęszczenia oraz wskaźników odkształcenia modeli podtorza z piasku średniego [6]

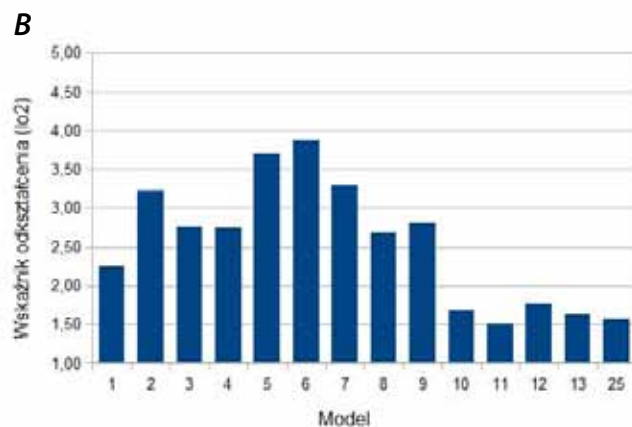
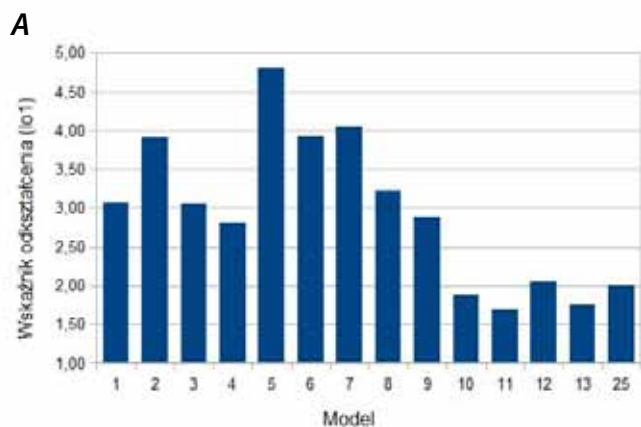
Przypadek	Model	Is1	Is2	Io1	Io2
1	2	3	4	5	6
1	1	0,984	0,983	3,06	2,25
2	2	0,985	0,984	3,91	3,23
3	3	0,987	0,987	3,05	2,76
4	4	0,989	0,988	2,81	2,74
5	5	0,984	0,983	4,81	3,71
6	6	0,988	0,984	3,92	3,87
7	7	0,992	0,988	4,04	3,29
8	8	0,984	0,980	3,22	2,68
9	9	0,998	0,994	2,88	2,81
10	10	0,994	0,991	1,88	1,68
11	11	0,996	0,985	1,69	1,50
12	12	0,998	0,986	2,04	1,76
13	13	1,002	0,991	1,75	1,63
14	25	0,976	0,983	2,00	1,57

zasadniczych, wykonywanych na wielkomiarowych modelach podtorza, wyznaczone będą wartości wskaźników odkształcenia i zagęszczenia. Badania kontrolne będą miały taki sam zakres jak badania wstępne i będą przeprowadzane w przypadku budowy modeli badawczych kilkakrotnie z tej samej partii kruszywa [6]. W pierwszym etapie eksperymentu testom poddano jednorodny grunt niespoisty, w badaniu makroskopo-

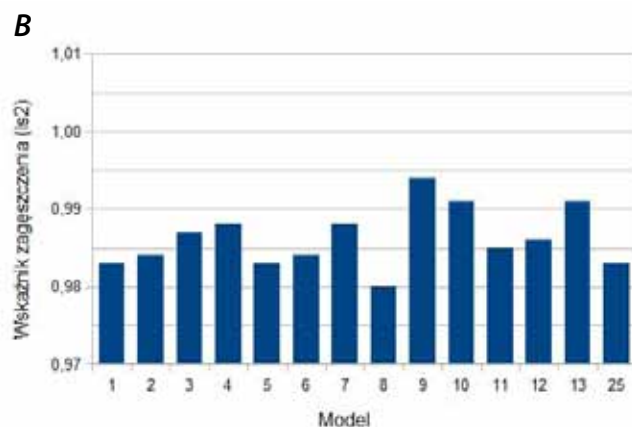
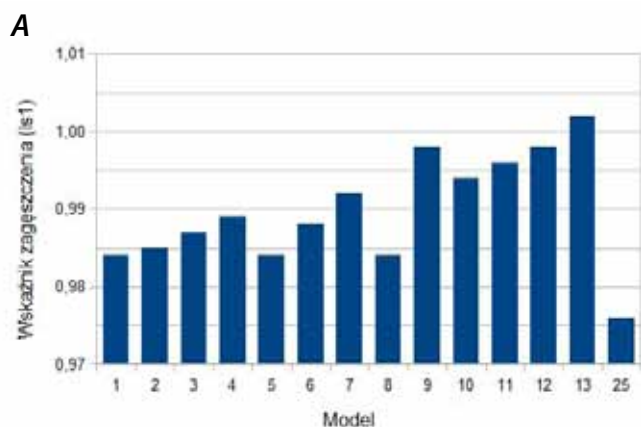
wym określony jako piasek średni.

Badania modeli podtorza z piasku średniego

Po makroskopowym określeniu rodzaju gruntu, w celu szczegółowego rozpoznania właściwości testowanego gruntu, przeprowadzono badania wstępne. Wykonano analizę sitową przesiewając cztery próbki – dwie



3. Wyniki oznaczeń wskaźnika odkształcenia poszczególnych modeli podtorza z piasku średniego. Zbiory wartości wyznaczone z rzeczywistych (A) i aproksymowanych (B) krzywych osiadań



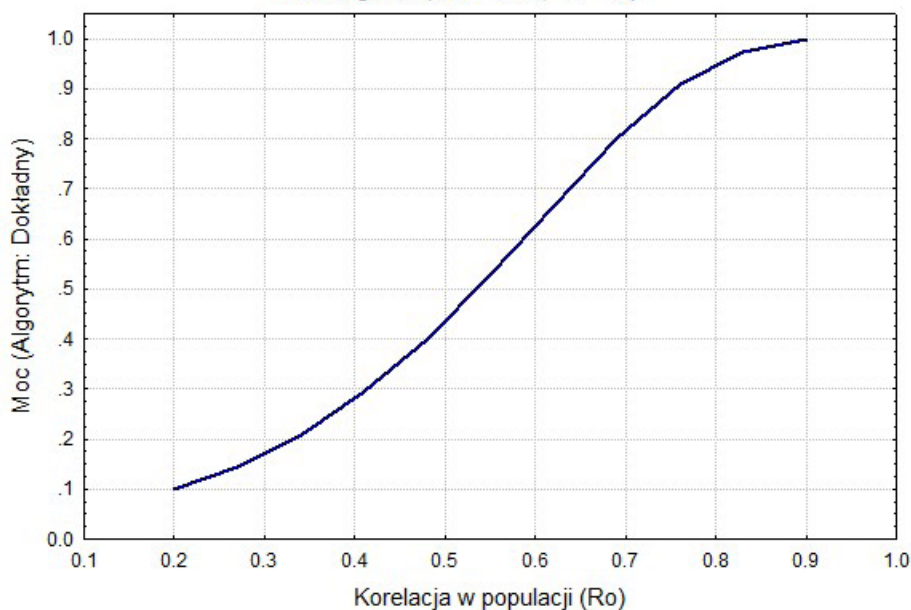
4. Wyniki oznaczeń wskaźnika zagęszczenia poszczególnych modeli podtorza z piasku średniego. Zbiory wartości wyznaczone z uwzględnieniem zmiennych (A) i stałej (B) wartości maksymalnej gęstości szkieletu gruntowego

300 g i dwie 500 g – wysuszonego do stałej masy piasku przez zestaw 8 sit. Z wykresu krzywej uziarnienia określono rodzaj gruntu i wyznaczono wartości średnic miarodajnych i na ich podstawie obliczono wskaźniki uziarnienia i wygięcia krzywej uziarnienia. W wyniku analizy sitowej potwierdzono wyniki badań makroskopowych określając badany grunt jako piasek średni. Testowany piasek charakteryzował się następującymi wartościami wskaźników uziarnienia $U = 2,32$ i wygięcia krzywej uziarnienia $C = 1,13$ [3, 5, 6].

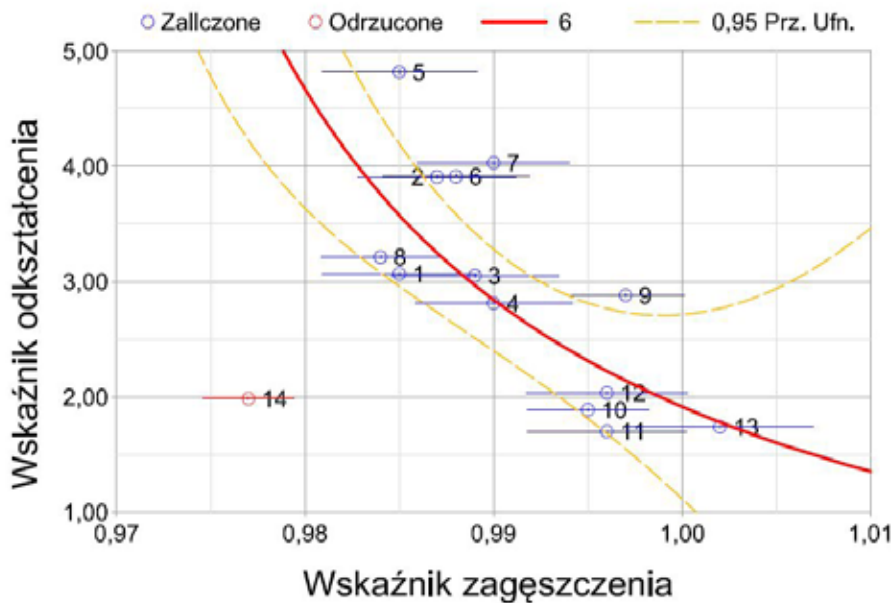
Maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego oraz wilgotność optymalną wyznaczono wykonując serię 17 oznaczeń gęstości szkieletu gruntowego przy różnych wilgotnościach w aparacie Proctora o objętości 1000 cm³. Próbkę gruntu zagęszczano w 3 warstwach 25 uderzeniami ubijaka o masie 2,5 kg opuszczanego z wysokości 320 mm. Z wyników oznaczeń wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu gruntowego każdej z prób sporządzono krzywą zagęszczalności. Z krzywej odczytano maksymalną gęstość szkieletu gruntowego równą 1,779 g/cm³ oraz wilgotność optymalną równą 10,43 % [3, 5, 6].

Na specjalnie do tego celu utworzonym stanowisku badawczym, w trakcie badań

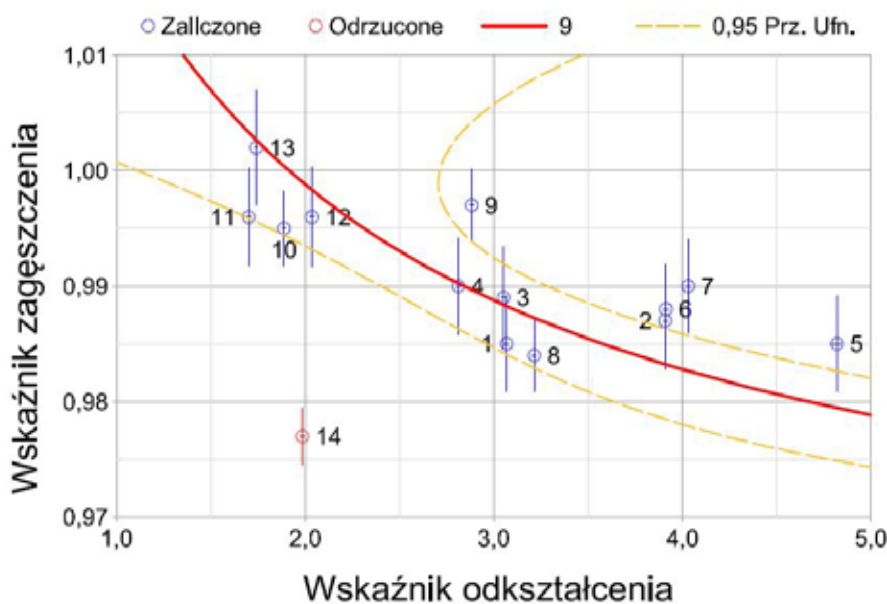
Jedna korelacja, test t (H0: Ro = 0)
Moc wzgl. Ro (Alfa = 0.05, N = 13)



5. Wykres mocy testu t braku korelacji względem zaobserwowanej wartości współczynnika korelacji zmiennych dla 13 przypadków



6. Zależność wskaźnika odkształcenia od wskaźnika zagęszczenia na podstawie badań modeli podtorza z piasku średniego (13 przypadków)



7. Zależność wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia na podstawie badań modeli podtorza z piasku średniego (13 przypadków)

Tab.4. Współczynniki korelacji liniowej wskaźników zagęszczenia i odkształcenia z badań modeli podtorza z piasku średniego [6]

	14 przypadków				13 przypadków			
	lo1		lo2		lo1		lo2	
	r	p	r	p	r	p	r	p
ls1	-0,426	0,129	-0,298	0,300	-0,719	0,006	-0,621	0,024
ls2	-0,347	0,224	-0,198	0,497	-0,442	0,131	-0,306	0,309

zasadniczych, wykonano i przebadano 14 wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego z piasku średniego. Stanowisko badawcze składało się z: stalowego cylindra służącego do formowania modeli badawczych, stalowej ramy wraz z przeciwwagą służącą do przenoszenia obciążeń, wciągarki łańcuchowej zawieszanej na wózku jezdnym umożliwiającą transport poziomy i pionowy w obrębie stanowiska badawczego (rys.1) [3, 4, 6].

Dodatkowym wyposażeniem stanowiska była aparatura pomiarowa (rys.2) i sprzęt pomocniczy. Aparaturę pomiarową stanowiła stalowa płyta sztywna o średnicy 300 mm wraz z dźwignikiem hydraulicznym zasilanym olejową pompą ręczną umożliwiającą zadawanie odpowiednich obciążeń. Osiedzenia płyty oraz wartość siły przekazywanej na płytę pomiarową były rejestrowane przy pomocy przetworników drogi i siły, wzmacniacza pomiarowego i specjalistycznego oprogramowania komputerowego. W trakcie formowania modeli badawczych wykorzystywano spalinową zagęszczarkę wibracyjną z okrągłą płytą denną o średnicy 450 mm umożliwiającą zagęszczanie poszczególnych warstw modeli badawczych na całej ich powierzchni [3, 4, 6].

Każdorazowo po 5-krotnym użyciu tej samej partii piasku do budowy modeli podtorza wykonywano badania kontrolne. Zakres badań kontrolnych był zgodny z zakresem badań wstępnych i obejmował oznaczenie składu ziarnowego oraz określenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz wilgotności optymalnej. Określenie składu granulometrycznego dokonywano przesiewając sześć 300 g próbek analitycznych uzyskanych z podziału trzech próbek ogólnych o masie około 600 g, pobieranych w trakcie rozformowywania modeli badawczych z trzech wydzielonych warstw modeli badawczych. Poziomy pobierania próbek ogólnych były jednakowe dla wszystkich modeli badawczych (1,4; 0,9 i 0,4 m). Uzyskane wartości średnic miarodajnych oraz wskaźników uziarnienia i wygięcia krzywej uziarnienia zawiera tab.1.

Oznaczenie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego dokonywano na minimum dwóch próbkach analitycznych o masie około 3 kg. Próbkę analityczną pozyskiwano z podziału próbki ogólnej o masie około 12,5 kg. Próbkę ogólną uzyskiwano z 20 próbek pierwotnych pobieranych z każdej 10 cm warstwy modeli badawczych (z górnej – 60 cm strefy modeli pobierano po dwie próbki pierwotne). Wartości maksymalnych gęstości objętościowych szkieletu gruntowego oraz wilgotności optymalnych uzyskanych w poszczególnych oznaczeniach zawarte są w tab.2.

Tab.5. Zestawienie wyników estymacji zależności wskaźnika zagęszczenia i odkształcenia z badań modeli podtorza z piasku średniego testowanymi krzywymi (13 przypadków) [6]

Równanie	p	R	R2	Błąd estymacji	Końcowa wartość funkcji straty
(3)	0,006	0,719	0,517	0,713	5,596
(4)	0,010	0,715	0,511	0,718	5,665
(5)	0,000	0,710	0,505	0,722	5,740
(6)	0,000	0,764	0,583	0,087	0,083
(8)	0,000	0,750	0,563	0,089	0,087

Ze względu na ilość używanego materiału do formowania modeli badawczych wielkość i liczba próbek analitycznych była niewystarczająca do pełnej oceny zmian właściwości stosowanego kruszywa. Można jednak stwierdzić, że zmiany uziarnienia piasku średniego oraz różnice uzyskiwanych wartości maksymalnych gęstości szkieletu gruntowego po wielokrotnym jego użyciu do formowania modeli badawczych były niewielkie (tab.:1 i 2). Wobec powyższego w dalszych oznaczeniach przyjęto, że piasek średni użyty do badań mimo wielokrotnego wykorzystania tych samych partii materiału nie zmienia swojego uziarnienia.

W trakcie badań zasadniczych wykonano po 14 oznaczeń wartości wskaźników odkształcenia i zagęszczenia.

Wartości wskaźników odkształcenia wyznaczono z wyników dwukrotnego cyklu obciążenia i odciążenia modeli podtorza płytą sztywną umieszczaną w środku górnej powierzchni modeli badawczych według zależności:

$$I_o = \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2} \quad (1)$$

gdzie Δy_1 – różnica osiadań płyty w przyjętym przedziale obciążeń z pierwszego (1) i drugiego (2) obciążenia [mm]

Modele obciążano stopniami po 0,05 MPa aż do uzyskania końcowego obciążenia równego 0,25 MPa. Odciążenie wykonywano stopniami po 0,10 MPa. Przedział obciążenia, z którego wyznaczano wskaźniki odkształcenia przyjęto 0,05 – 0,15 MPa (zgodnie z normą [8] i przepisami [2]). W celu zwiększenia dokładności oceny odkształcalności modeli podtorza osiadania płyty aproksymowano wielomianami drugiego stopnia [2]. Wyznaczono dwa zbiory wartości wskaźników odkształcenia z rzeczywistych i aproksymowanych krzywych osiadań (rys.3). Wartości wskaźników zagęszczenia określano według zależności:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} \quad (2)$$

gdzie: ρ_d – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego z badań zasadniczych [g/cm³], ρ_{ds} – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego z badań wstępnych i kontrolnych [g/cm³]

Gęstość szkieletu modeli określano na podstawie próbek NNS pobieranych w trakcie rozformowywania modeli przy użyciu wciskanego pierścienia o objętości 351,4 cm³. Próbkę pobierano z każdej 10 cm warstwy z obszaru kołowego o średnicy około 70 cm ze środkiem w pionowej osi symetrii modeli badawczych. Z górnej 60 cm strefy modeli badawczych, w celu uzyskania dokładniejszych wyników, z każdej z sześciu 10 cm warstw pobierano dwie próbki tak by ich masy nie różniły się o więcej niż 1 %. Po oznaczeniu wilgotności pobranych próbek wyznaczano gęstość objętościową szkieletu gruntowego dla każdej z warstw i na ich podstawie określano wartość wskaźnika zagęszczenia dla całego modelu badawczego obliczanego jako średnia arytmetyczna. Wyznaczono dwa zbiory wartości wskaźników zagęszczenia z uwzględnieniem zmiennej i stałej wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego po każdorazowym 5-krotnym użyciu piasku do formowania modeli badawczych (rys.4).

Zależność wskaźników zagęszczenia i odkształcenia dla piasku średniego

Wzajemnej zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia poszukiwano stosując możliwie najprostsze funkcje z wykorzystaniem estymacji metodą najmniejszych kwadratów z algorytmem Gaussa-Newtona [9].

W trakcie wykonywanych pomiarów płytą sztywną odkształcalność podtorza uzależniona jest od ocenianego stanu zagęszczenia. Wobec powyższego, w celu właściwej interpretacji wyników, w analizie statystycznej zależności wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia przyjęto zgodnie z warunkami rzeczywistymi: wskaźnik zagęszczenia jako zmienną niezależną, a wskaźnik odkształcenia jako zmienną zależną.

Dla zbiorów wartości wskaźników zagęszczenia wyznaczonych z uwzględnieniem zmiennej (I_{s1}) i stałej (I_{s2}) wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego po każdorazowym 5-krotnym użyciu piasku do formowania modeli badawczych (tab. 3, kol. 3 i 4) i zbiorów wartości wskaźników odkształcenia wyznaczonych z rzeczywistych (I_{o1}) i aproksymowanych (I_{o2})

krzywych osiadań (tab.3, kol. 5 i 6) sporządzono wykresy rozrzutu oraz wyznaczono współczynniki korelacji liniowej (tab.4).

W dalszej analizie uwzględniono tylko te pary zbiorów wskaźników zagęszczenia i odkształcenia, dla których uzyskano współczynniki korelacji z poziomem istotności nie mniejszym niż 0,05 oraz test t braku korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi, dla rozważanej liczby przypadków, wykazał moc nie mniejszą niż 0,8.

Dla wszystkich analizowanych 14 przypadków utworzonych ze zbiorów wartości wskaźników zagęszczenia i odkształcenia nie uzyskano współczynników korelacji liniowej z założonym poziomem istotności wobec tego, na podstawie analizy reszt i błędów pomiarowych, wyeliminowano jeden przypadek odstający (nr 14 tab.3, rys.: 6 i 7). Dla zmodyfikowanego zbioru przypadków ponownie obliczono współczynniki korelacji liniowej (tab.4).

Eliminacja jednego przypadku pozwoliła uzyskać większe wartości stopnia współzależności wskaźników odkształcenia i zagęszczenia. Znaczny stopień współzależności zmiennych ($r \geq 0,621$) z akceptowalnym poziomem istotności ($p \leq 0,05$) uzyskano dla zbiorów I_{s1} oraz I_{o1} i I_{o2} . Zaobserwowano umiarkowany i słaby stopień współzależności zbiorów wskaźników zagęszczenia I_{s2} oraz odkształcenia I_{o1} i I_{o2} ($-0,442 \leq r \leq -0,306$) z poziomem istotności znacznie odbiegającym od założonego.

W dalszej analizie uwzględniono tylko te pary zbiorów wskaźników zagęszczenia i odkształcenia, dla których test t braku korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi, dla rozważanej liczby przypadków, wykazał moc równą minimum 0,8 (tab.4 i rys.5). Ze zbioru relacji zmiennych I_{s1} i I_{s2} oraz I_{o1} i I_{o2} jedynie dla zbiorów I_{s1} i I_{o1} uzyskano moc testu t braku korelacji pomiędzy zmiennymi większą niż 0,8, dlatego tylko te dwa zbiory były uwzględniane w dalszych rozważaniach. Zależności pomiędzy wskaźnikami zagęszczenia i odkształcenia dla modeli podtorza z piasku średniego próbowano ustalić estymując ich przebieg jedną z 5 funkcji:

$$I_o = a - b \cdot I_s \quad (3)$$

$$I_o = e^{b \cdot a \cdot I_s} \quad (4)$$

$$I_o = \frac{1 - a \cdot I_s}{I_s - b} \quad (5)$$

$$I_o' = \frac{I_s - b}{1 - a \cdot I_s} \quad (6)$$

gdzie: $I_o' = \frac{1}{I_o} \quad (7)$

$$I_o' = \frac{I_s - b}{I_s - a} \quad (8)$$

Po przeanalizowaniu wykresów i parametrów funkcji odzwierciedlających zależność pomiędzy zmiennymi I_{s1} i I_{o1} (tab.5), przyjęto jako najwierniej opisującą relację pomiędzy zbiorami wskaźników zagęszczenia i odkształcenia funkcję o równaniu (6) charakteryzującą się największym współczynnikiem korelacji ($R = 0,764$) i najmniejszym błędem estymacji spośród testowanych funkcji (rys.6).

Zgodnie z przeprowadzoną analizą, wskaźnik zagęszczenia podtorza z piasku obliczony według wzoru (6) na podstawie wskaźnika odkształcenia, z próbnych obciążeń płytą sztywną, obliczonego z rzeczywistych krzywych odkształceń z przedziału obciążenia 0,05 do 0,15 MPa będzie równy:

$$I_s = \frac{1 + 0,9594 \cdot I_o}{I_o + 0,9223} \quad (9)$$

Przebieg krzywej (9) przedstawiono na rys.7. Wartość wskaźnika zagęszczenia równą 1,0 uzyskuje się przy wskaźniku odkształcenia równym 1,91.

Sformułowana zależność pomiędzy zmiennymi I_s i I_o (9) jest obowiązująca dla piasku średniego, w zakresie wartości wskaźnika odkształcenia od 1,66 do 4,80 wyznaczonego z rzeczywistych krzywych odkształceń z zakresu obciążeń od 0,05 do 0,15 MPa.

Wnioski

1. Do oceny zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia najkorzystniejsze z analizowanych zbiorów zmiennych okazały się: zbiór wartości wskaźników odkształcenia określonych z rzeczywistych krzywych osiadań oraz zbiór wartości wskaźników zagęszczenia wyznaczonych z uwzględnieniem zmian właściwości gruntu przy wielokrotnym jego wykorzystaniu do formowania modeli badawczych.
2. Dużym zmianom wskaźnika odkształcenia towarzyszą małe zmiany wskaźnika zagęszczenia.
3. Zależność wskaźników zagęszczenia i odkształcenia jest nieliniowa.
4. Sformułowana zależność eliminuje wadę zależności normowej [8]: obowiązuje w szerszym zakresie wartości wskaźników zagęszczenia i odkształcenia. ◀

Materiały źródłowe:

- [1] BN-88/8932-02 Podtorze i podłoże kolejowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania. WN „ALFA”, Warszawa 1989 r.
- [2] Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009 r.
- [3] Pawłowski M.: Badania na wielowymiarowym modelu podtorza kolejowego. Technika Transportu Szynowego nr 4/2010, str. 44-48.
- [4] Pawłowski M.: O badaniach wielowymiarowych modeli podtorza kolejowego. Przegląd Komunikacyjny 11-12/2010, s. 28-33.
- [5] Pawłowski M.: Wskaźnik odkształcenia piasku z badań edometrycznych. XIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi Kolejowe 2007”. Poznań-Rosnówko, 19-20.10.2007r., Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 3/2007, Poznań, WPP 2007 r., str. 233-240.
- [6] Pawłowski M.: Zależność wskaźnika zagęszczenia i wskaźnika odkształcenia kruszyw na podstawie próbnich obciążeń płytą statyczną. Rozprawa doktorska Politechnika Poznańska, Poznań 2010 r.
- [7] PN-88/B-04481 Grunty budowlane – Badanie próbek gruntu. PKN, Warszawa 1988r.
- [8] PN-S-02205 Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania. PKN, Warszawa 1998 r.
- [9] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973 r.
- [10] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 2005 r.

Przedsiębiorstwo Napraw Infrastruktury Sp. z o.o.

ul. Chodakowska 100, 03-816, Warszawa

www.pni.net.pl



Profesjonalizm Niezawodność Innowacja

Przedsiębiorstwo Napraw Infrastruktury Spółka Grupy PKP jest jednym z wiodących podmiotów na rynku budownictwa dla infrastruktury transportu szynowego w Polsce.

Podstawowa działalność Spółki obejmuje projektowania, budowy i modernizacji oraz utrzymania infrastruktury kolejowej wraz z obiektami towarzyszącymi, a także świadczy usługi w zakresie przewozów kolejowych rzeczy.

Przedsiębiorstwo realizuje zadania przy zastosowaniu własnych specjalistycznych maszyn do robót torowych firmy Plasser&Theuer o prześwicie toru 1435 mm i 1520 mm oraz nowoczesnych maszyn budowlanych.

