

0 badaniach wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego

Michał Pawłowski

W artykule zaprezentowano kolejny etap badań mających na celu określenie zależności wskaźnika odkształcenia od wskaźnika zagęszczenia dla różnych materiałów podtorza i rzeczywistych układów podtorze – warstwa ochronna. Przedstawiono wyposażenie stanowiska do badań wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego. Zreferowano sposób opracowywania wyników oraz zaprezentowano rezultaty oznaczeń wskaźnika zagęszczenia i odkształcenia na wielkowymiarowym modelu podtorza z piasku średniego.

Podczas modernizacji podtorza kolejowego wykonuje się badania geotechniczne w celu określenia właściwości podtorza przygotowanego do budowy warstwy ochronnej oraz układu podtorze – warstwa ochronna. Określa się wartości wskaźników zagęszczenia gruntów i materiałów warstw ochronnych oraz wartości modułów odkształcenia podtorza statyczną płytą sztywną. Materiały stosowane do budowy warstw (niesort kamienny, kliniec, geokompozyty) powodują trudności w określaniu stanu zagęszczenia metodami bezpośrednimi. Z tego względu stosowana jest metoda pośrednia z wykorzystaniem wskaźnika odkształcenia. W normie [9], tylko dla jednorodnych materiałów, a w przepisach [1] bez odniesienia do rodzaju gruntu, ujęte są zależności wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia. Ograniczenie to utrudnia ocenę zagęszczenia rzeczywistych układów wzmocnionego podtorza.

W celu dokładniejszej oceny zagęszczenia rzeczywistych układów podtorze – warstwa ochronna podjęto próbę określenia zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia dla różnych materiałów podtorza i warstw ochronnych oraz różnych ich układów. Oznaczenia rozpoczęto od jednorodnego gruntu niespoistego – piasku średniego. Przeprowadzono badania wstępne mające na celu określenie: rodzaju gruntu, składu granulometrycznego, wilgotności optymalnej, maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz wykonano serię oznaczeń modułów ścisłości pierwotnej i wtórnej w edometrze [4]. Wyniki uzyskane z badań wstępnych, przy niemożliwej bocznej rozszerzalności gruntu, potwierdziły

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



zależność normową [9] wskazując, że wartości wskaźnika odkształcenia równej 2,2 odpowiada wartość wskaźnika zagęszczenia równa 1,0. Z doświadczeń modernizacji linii kolejowych wynika, że wartości normowe dla różnego rodzaju gruntów trudno osiągnąć w warunkach rzeczywistych przy ocenie nośności podtorza za pomocą statycznej płyty sztywnej [10]. By móc określić zależności wskaźników odkształcenia i zagęszczenia gruntów podtorza i układów podtorze – warstwa ochronna, przygotowano specjalistyczne stanowisko do badań wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego. Przebadano łącznie 49 modeli podtorza kolejowego z piasku średniego, z niesortu kamiennego i podtorza z piasku średniego z warstwą ochronną z niesortu kamiennego. Przygotowane modele podtorza obciążano statyczną płytą sztywną o średnicy 30 cm zgodnie ze standardowym testem według normy [9] i przepisów [1]. Wyniki z dwukrotnego cyklu obciążenia i odciążenia posłużyły do wyznaczenia wskaźnika odkształcenia. Jednocześnie prowadzono badania stanu zagęszczenia przygotowanych modeli, co pozwoliło wyznaczyć zależności wskaźnika odkształcenia od wskaźnika zagęszczenia w warunkach bocznej rozszerzalności.

Opis stanowiska badawczego

Głównymi elementami składowymi stanowiska badawczego, przeznaczonego do badań odkształcalności i zagęszczenia gruntów oraz kruszyw podtorza kolejowego (rys. 1), jest wielkowymiarowy model podtorza kolejowego, stalowa rama stanowiąca przeciwwagę, zagęszczarka spalinowa, aparatura pomiarowa oraz sprzęt pomocniczy.

Modele podtorza formowano w stalowym cylindrze o objętości 2,85 m³ (średnica 1385 mm, wysokość 1895 mm). Wymiary cylindra stanowią kompromis pomiędzy dokładnością badań, a kosztem przygotowania modeli badawczych [3]. W zależności od zastosowanych materiałów możliwe jest przygotowanie modeli podtorza kolejowego, układów podtorze – warstwa ochronna oraz stosowanie geokompozytów na stykach różnych kruszyw oraz do wzmacniania warstw ochronnych.

Ważnym elementem stanowiska badawczego jest stalowa rama stanowiąca przeciwwagę przy pomiarach odkształcalności z możliwością przenoszenia obciążeń do 25 kN. Rama umożliwia również transport poziomy i pionowy belki przeciwwagi, kruszyw i sprzętu w obrębie stanowiska badawczego przy pomocy wciągnika WRLT-1,0T zamocowanego na wózku jezdny WZWR-1,0T. Rama zbudowana jest jako konstrukcja słupowo-belkowa z podstawą kotwioną w otworach stendu do badań wytrzymałościowych. Wysokość całkowita 3700 mm, osiowy rozstaw

ramy w podstawie 2700 mm. Możliwe są dwa położenia belki stanowiącej przeciwwagę – 2200 i 2700 mm. Dodatkowym wyposażeniem ramy jest trawersa umożliwiająca transport worków wielkowymiarowych typu BIG-BAG o masie do 1000 kg.

Ze względu na kształt i wymiary modelu badawczego do zagęszczania kruszyw stosowana jest kompaktowa zagęszczarka płytowa DYNAPAC LX90 (rys. 2). Cechuje się ona unikalną okrągłą płytą denną o średnicy 450 mm, pozwalającą na płynne prowadzenie zagęszczania i łatwe manewrowanie wewnątrz rury badawczej. Zagęszczarka LX90 o masie operacyjnej 97 kg, wyposażona jest w silnik spalinowy Honda GX160 o mocy 4 kW, który zapewnia uzyskanie częstotliwości wibracji 75 Hz, siły odśrodkowej 16 kN i amplitudy drgań 1,7 mm. Przy jeździe na wprost uzyskuje prędkość do 22 m/min.

Stanowisko badawcze wyposażono w aparaturę umożliwiającą określenie wartości wskaźników odkształcenia i zagęszczenia. Przygotowane modele podtorza obciążane są statyczną płytą sztywną. Wartości obciążeń oraz osiadań płyty zbierane są za pomocą przetworników i przetwarzane za pomocą systemu komputerowego. Jednocześnie prowadzone są badania gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności kruszyw stanowiących model podtorza.

Statyczna płyta sztywna umożliwia wykonywanie pomiarów odkształcalności przygotowanych modeli podtorza. Zestaw pomiarowy składa się ze sztywnej stalowej płyty o średnicy 30 cm, dźwignika hydraulicznego wraz z kompletem przedłużek i przegubem sferycznym, pompy olejowej z manometrem, czujników zegarowych oraz statywu stanowiącego poziom odniesienia (rys. 3). Ze względu na specyfikę stanowiska badawczego tradycyjny statyw został zastąpiony specjalnie przygotowanym stojakiem do oparcia czujników. Stojakiem jest stalowa rama o wys. 2100 mm, dł. 1900 mm, szer. 800 mm wyposażona w koła z hamulcami oraz sześciokątną ramkę do oparcia czujników. Wysokość położenia ramki można regulować co 150 mm na długości 900 mm, umożliwia to wykonywanie pomiarów odkształcalności przy różnych wysokościach modelu badawczego.

W celu zwiększenia dokładności dokonywanych pomiarów i minimalizacji błędów pomiarowych wartości obciążeń oraz osiadań płyty zbierane są za pomocą systemu komputerowego. Sygnały z przetworników przekazywane są do wzmacniacza pomiarowego, a następnie przesyłane do komputera, gdzie obrabiane są za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Do pomiaru siły ściskającej wykorzystano przetwornik o sile znamionowej 50 kN i dokładności 0,25 kN, co pozwala określać obciążenie płyty z dokładnością 0,0035 MPa. Pomiar przemieszczeń



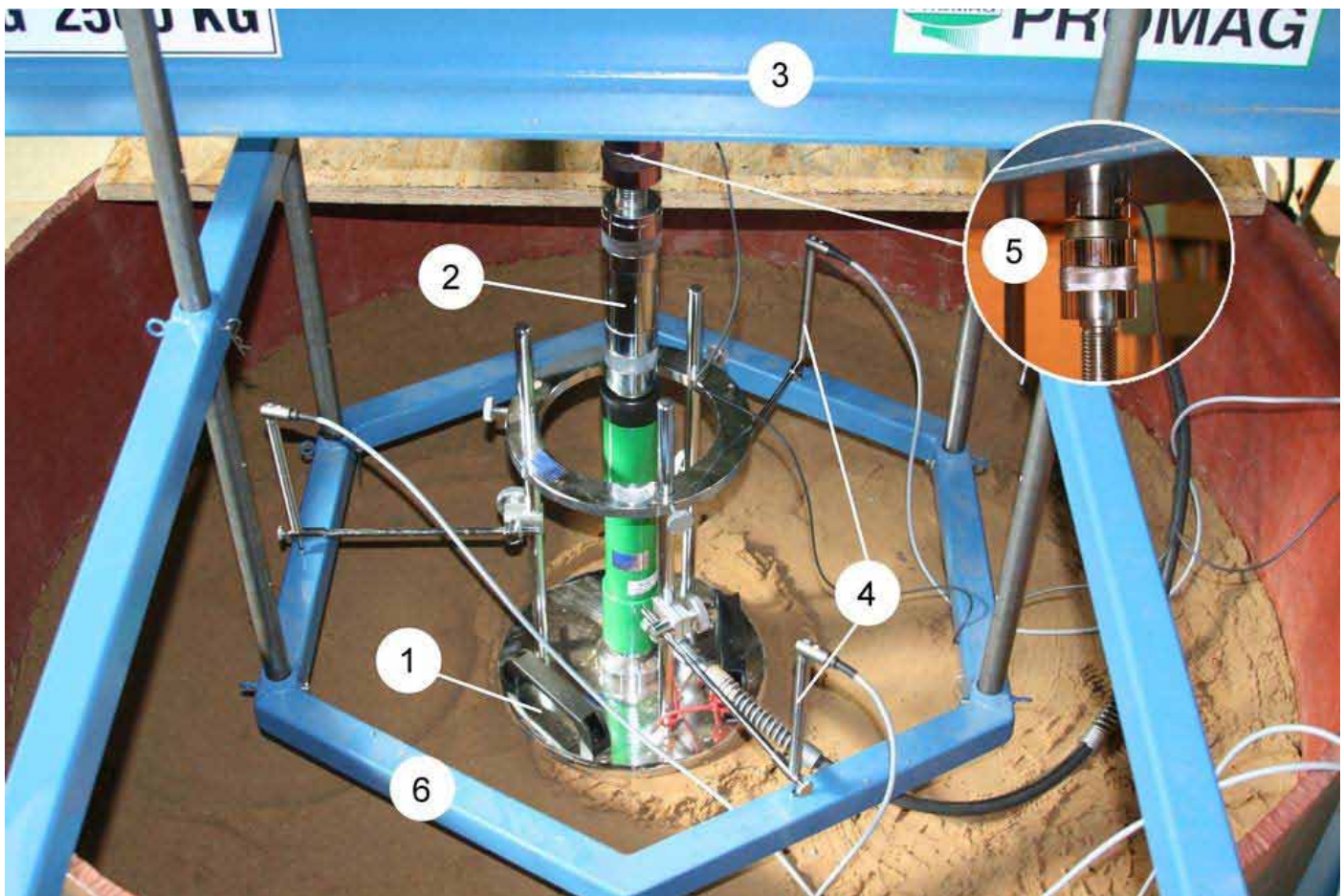
2. Zagęszczarka spalinowa DYNAPAC LX90

dokonywany jest za pomocą 3 przetworników przemieszczeń z zakresem pomiarowym 20 mm i dokładnością 0,001 mm.

Wilgotność kruszyw określana jest na podstawie próbek NNS i NW suszonych do uzyskania stałej masy w wentylowanych suszarkach. Masę próbek określa się przy pomocy legalizowanej, dwuzakresowej wagi laboratoryjnej z dokładnością odczytu 0,05 g w zakresie do 3 kg i 0,1 g w zakresie od 3 do 6 kg. Ocenę wskaźnika zagęszczenia kruszyw modeli badawczych dokonuje się pośrednio z porównania maksymalnej i uzyskanej w modelu gęstości objętościowej szkieletu. Dla gruntów niespoistych gęstość określa się w trakcie rozformowywania modeli przy użyciu wciskanego pierścienia o objętości 351,4 cm³ (średnica 76,15 mm, wysokość 77,15 mm). Gęstość objętościową szkieletu kruszyw kamiennych wyznacza się na podstawie pomierzonych wartości ciężaru, wilgotności i objętości kruszywa w cylindrze stanowiska badawczego, określanych w trakcie formowania modeli. Kruszywo waży się z dokładnością 0,5 kg za pomocą legalizowanej wagi hakowej z maksymalnym obciążeniem 1500 kg. Objętość kruszywa w cylindrze wyznacza się na podstawie pomiarów geometrycznych warstw modeli z wykorzystaniem taśmy stalowej z dokładnością odczytu 1 mm.

Badania wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego

Badania w celu określenia wartości wskaźników odkształcenia i zagęszczenia wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego podzielono na dwie zasadnicze grupy.



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

Pierwsza grupa badań obejmowała badania wstępne i kontrolne wykonywane dla każdego rodzaju kruszywa stosowanego do budowy modeli. Badania wstępne i kontrolne miały na celu określenie: rodzaju gruntu, kształtu krzywej uziarnienia, wskaźnika różnoziarnistości, wilgotności optymalnej oraz maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu kruszywa. Drugą grupę badań stanowiły badania zasadnicze mające na celu określenie wartości wskaźnika odkształcenia z pomiaru statyczną płytą sztywną oraz wyznaczenie wartości wskaźnika zagęszczenia na podstawie oznaczonej gęstości objętościowej szkieletu kruszywa.

Badania wstępne i kontrolne

Badania wstępne wykonywano dla każdego rodzaju kruszywa stosowanego do budowy modeli badawczych zgodnie z normą [7] i przepisami [1]. W przypadku gdy modele tworzone były kilkukrotnie z tego samego kruszywa wówczas każdorazowo po 5-krotnym użyciu gruntów naturalnych i po każdorazowym użyciu kruszyw kamiennych wykonywano badania kontrolne. Zakres badań kontrolnych był zgodny z zakresem badań wstępnych.

W celu określenia rodzaju gruntu, kształtu krzywej uziarnienia oraz wskaźnika róż-

noziarnistości wykonywano analizę sitową, gruntów i kruszyw modeli badawczych. Wielkość i ilość badanych próbek oraz ilość i średnica sit w zestawie uzależniona była od rodzaju badanego materiału.

Wilgotność optymalną oraz maksymalną gęstość objętościową szkieletu kruszywa wyznaczano w trakcie badań laboratoryjnych polegających na zagęszczaniu w znormalizowany sposób kruszyw przy różnych wilgotnościach jedną z metod Proctora. Wybór metody badań uzależniony był od rodzaju kruszywa.

Badania zasadnicze

Badania zasadnicze, mające na celu określenie wartości wskaźników zagęszczenia i odkształcenia modeli badawczych, przeprowadzono w czterech etapach wykonując 49 modeli podtorza kolejowego: I etap – 25 modeli podtorza z piasku średniego, w tym 11 z eliminacją tarcia na ścianach cylindra; II etap – 12 modeli podtorza uformowanego z niesortu kamiennego; III etap – 6 modeli podtorza (układów podtorze – warstwa ochronna) – warstwy ochronne o grubościach 20, 30 i 40 cm ułożone na podtorzu z piasku średniego wykonano z niesortu kamiennego; IV etap – 6 modeli podtorza (układów podtorze – warstwa ochronna zbrojo-

na geosiatką) – warstwy ochronne o grubościach 20, 30 i 40 cm ułożone na podtorzu z piasku średniego wykonano z niesortu kamiennego wzmocnionego geosiatką.

Modele podtorza z piasku średniego przygotowywano w dwóch wariantach: wariant I – 14 modeli podtorza formowanych bez eliminacji tarcia na ściankach cylindra stanowiska badawczego; wariant II – 11 modeli podtorza formowanych w cylindrze stanowiska badawczego ze ściankami pokrytymi smarem i wyłożonymi folią eliminującymi wpływ tarcia.

Modele podtorza z niesortu kamiennego i układów podtorze – warstwa ochronna formowano bez eliminacji tarcia na ściankach cylindra stanowiska badawczego.

Przygotowanie modeli badawczych bez ponownego użycia kruszyw i materiałów wymagałoby użycia: 140 Mg piasku średniego, 64 Mg niesortu kamiennego, 21,5 m³ wody i 9 m² geosiatki. Wykonywanie badań kontrolnych pozwoliło na ponowne użycie poszczególnych materiałów i redukcję kosztów prowadzonych doświadczeń bez wpływu na jakość uzyskiwanych wyników. Ostatecznie modele badawcze utworzono z wykorzystaniem: 5 Mg piasku średniego, 5 Mg niesortu kamiennego i 3 m² geosiatki.

Uzyskanie różnych wskaźników zagęszczenia formowanych modeli badawczych

było możliwe dzięki zastosowaniu zróżnicowanej energii zagęszczania. Różnorodną energię uzyskano zagęszczając kruszywa warstwami o różnej miąższości oraz modyfikując czas procesu zagęszczania. Łączny czas zagęszczania kruszyw modeli badawczych wynosił ponad 19 godzin. Przy formowaniu modeli badawczych każdą z warstw o grubości od 10 do 40 cm zagęszczano w czasie od 2 do 12 minut według schematu przedstawionego na rys. 4. Jeden cykl zagęszczania składał się z jednego przejazdu po obwodzie (proces nr 1) i 7 przejazdów wewnątrz cylindra badawczego (procesy nr 2 – 8).

W celu oceny wilgotności, gęstości objętościowej szkieletu kruszywa oraz wskaźnika zagęszczenia pobrano 696 próbek pierwotnych (491 próbek NNS, 205 próbki NW) o łącznej masie około 650 kg. Wykonano 57 oznaczeń wskaźnika zagęszczenia w tym 26 na podstawie próbek NNS oraz 31 na podstawie badań z wykorzystaniem wagi hakowej. Przeprowadzono 53 oznaczenia wskaźnika odkształcenia przy użyciu statycznej płyty sztywnej.

Dla każdego utworzonego modelu podtorza kolejowego określano wartości wskaźnika odkształcenia z pomiaru statyczną płytą sztywną oraz wskaźnika zagęszczenia na podstawie oznaczonej gęstości objętościowej szkieletu kruszywa.

Wskaźnik odkształcenia I_0 wyznacza się z badań odkształcalności statyczną płytą sztywną według zależności:

$$I_0 = \frac{Eg_2}{Eg_1} \quad (1)$$

gdzie:

Eg_2 – moduł odkształcenia z drugiego obciążenia [MPa],

Eg_1 – moduł odkształcenia z pierwszego obciążenia [MPa].

Moduły odkształcenia wyznacza się z zależności:

$$Eg_i = 0,75 \cdot \frac{\Delta\rho}{\Delta\gamma} \cdot D \quad (2)$$

gdzie:

Eg_i – moduł odkształcenia [MPa],

$\Delta\rho$ – przedział obciążenia, w którym wyznaczany jest moduł odkształcenia [MPa],

$\Delta\gamma$ – różnica osiadań płyty w zadanym przedziale obciążenia [mm],

D – średnica płyty [mm].

Podstawiając zależność (2) do zależności (1) uzyskuje się wskaźnik zagęszczenia jako stosunek osiadań z pierwszego obciążenia do osiadań z drugiego obciążenia:

$$I_0 = \frac{Eg_2}{Eg_1} = \frac{\Delta\gamma_1}{\Delta\gamma_2} \quad (3)$$

Modele podtorza z piasku średniego obciążano stopniami po 0,05 MPa aż do uzyskania końcowego obciążenia równego 0,25 MPa. Odciążenie wykonywane jest stopniami po 0,10 MPa. Przedział obciążenia, z którego wyznaczano moduły odkształce-

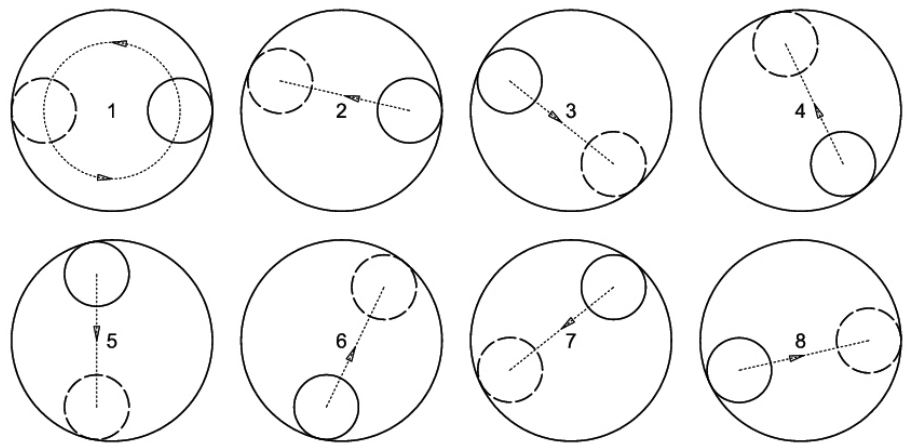
nia przyjęto 0,05 – 0,15 MPa zgodnie z normą [9] i przepisami [1]. Modele podtorza z niesortu kamiennego i podtorza z piasku średniego z warstwą ochronną z niesortu obciążano stopniami po 0,05 MPa aż do uzyskania końcowego obciążenia równego 0,35 MPa. Odciążenie wykonywane jest stopniami po 0,10 MPa. Przyjęto dwa przedziały obciążenia, z których wyznaczano moduły odkształcenia: 0,15 – 0,25 MPa według normy [9] i 0,10 – 0,25 MPa zgodnie z przepisami [1]. W celu zwiększenia dokładności oceny odkształcalności modeli podtorza osiadania płyty aproksymowano wielomianami drugiego stopnia [1]. Płytę pomiarową umieszczano w środku górnej powierzchni modeli badawczych.

Wskaźnik zagęszczenia I_s określany jest jako stosunek gęstości objętościowej szkieletu kruszywa ρ_d do maksymalnej gęstości

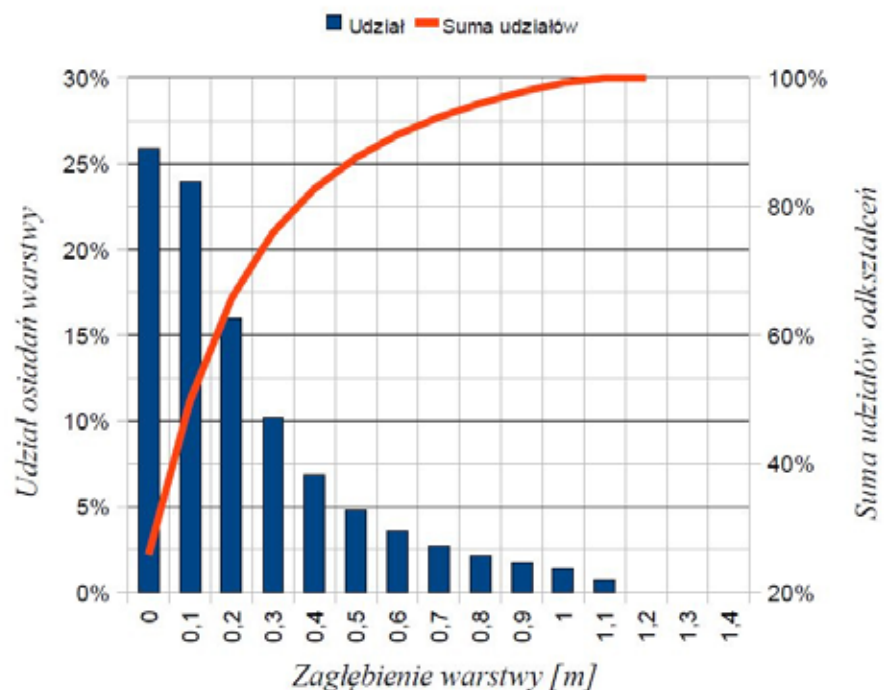
szkieletu kruszywa ρ_{ds} wyznaczonej w sposób znormalizowany:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} \quad (4)$$

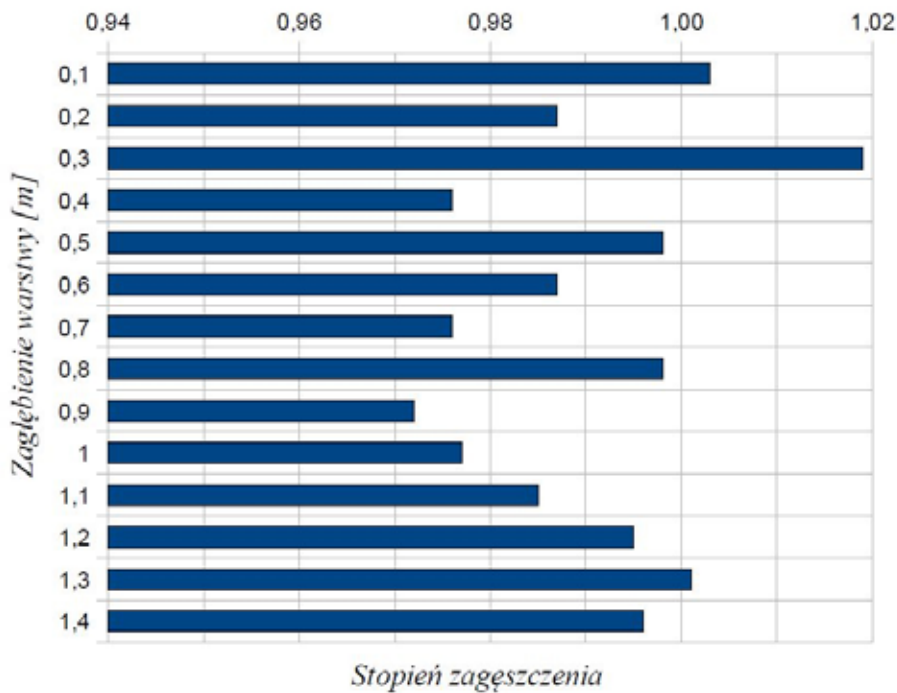
Wartości wskaźnika zagęszczenia obliczono z wykorzystaniem, wyznaczonych w trakcie badań wstępnych i kontrolnych, wartości maksymalnych gęstości objętościowych szkieletu kruszyw modeli badawczych oraz wartości gęstości objętościowych szkieletu kruszyw uzyskanych w trakcie badań zasadniczych. Wartości gęstości objętościowych szkieletu kruszyw modeli badawczych określano zgodnie z założonym programem badań dwiema metodami: w trakcie formowania modeli przy pomocy wagi hakowej; przy rozformowywaniu modeli na podstawie próbek NNS pobieranych przy użyciu wciskanego pierścienia. Metoda z wykorzystaniem próbek NNS stosowana była tylko



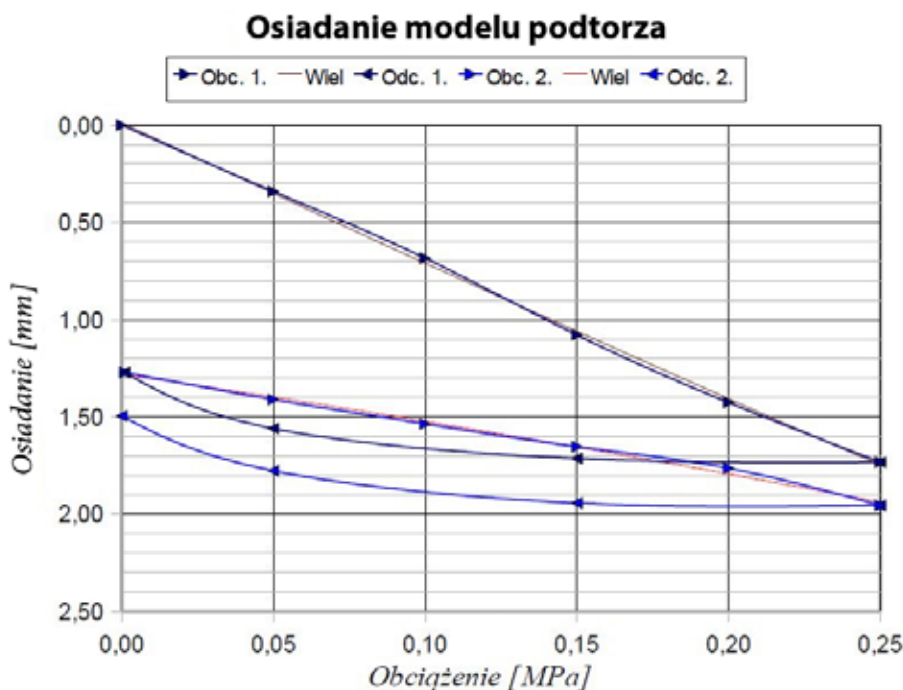
4. Schemat procesu zagęszczania warstw modeli badawczych



5. Procentowy udział odkształceń poszczególnych warstw w całkowitym odkształceniu oraz suma udziałów odkształceń pod środkiem sztywnej obszaru kołowego pod obciążeniem o wartości 0,25 MPa w zależności od zagłębienia warstw w przekroju pionowym modelu podtorza



6. Wykres stopnia zagęszczenia poszczególnych warstw w modelu podtorza z piasku średniego



7. Wykres osiadań płyty pomiarowej w modelu podtorza z piasku średniego

przy ocenie wskaźnika zagęszczenia modeli podtorza z piasku.

Gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_s naturalnych gruntów niespoistych, wchodzących w skład modeli badawczych, określano przy użyciu wciskanego pierścienia. Próbkę pobierano z każdej 10 cm warstwy z obszaru kołowego o średnicy około 70 cm ze środkiem w pionowej osi symetrii modeli badawczych. W górnej 60 cm strefie modeli badawczych, w celu uzyskania dokładniejszych wyników, dla każdej z sześciu 10 cm warstw przyjmowano wartość średnią z wyników uzyskanych na podstawie badań

dwóch pobranych próbek, których masy w stanie wilgotnym nie różniły się o więcej niż 1%. Po oznaczeniu wilgotności gruntu z pobranych próbek wyznaczano gęstość objętościową szkieletu gruntowego i na jej podstawie określano wartość wskaźnika zagęszczenia dla każdej z warstw. Wskaźnik zagęszczenia dla całego modelu badawczego obliczano jako średnią arytmetyczną i średnią ważoną. Wagi dla poszczególnych warstw przyjęto zgodnie z wpływem odkształceń poszczególnych warstw na całkowitą wartość odkształceń pod środkiem sztywnego obszaru kołowego pod obciąże-

niem o wartości 0,25 MPa [6], [10] (rys. 5).

Gęstość objętościową szkieletu kruszywa łamanych wyznaczano określając ciężar, wilgotność i zajmowaną objętość kruszywa użytego do budowy modelu w cylindrze stanowiska badawczego. Masę wyznaczano za pomocą legalizowanej wagi hakowej przy każdorazowym formowaniu i rozformowywaniu modeli badawczych. Z każdej partii kruszywa pobierano próbki NW w celu określenia jego wilgotności. Objętość kruszywa oceniano na podstawie pomiarów geometrycznych w cylindrze badawczym.

Wstępne wyniki badań wielkometrycznych modeli podtorza

By można opracować zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia w warunkach umożliwiających boczna rozszerzalność gruntu, konieczne było wykonanie szeregu badań na wielkometrycznych modelach podtorza kolejowego. Badania przeprowadzono zgodnie z założonym programem badań, tj. po przygotowaniu modelu wykonywano badania zasadnicze mające na celu określenie wartości wskaźnika zagęszczenia i wskaźnika odkształcenia; z uwagi na wielokrotne wykorzystanie tych samych materiałów po 5-krotnym użyciu kruszywa naturalnego i każdorazowym użyciu kruszywa łamanego wykonywano badania kontrolne mające na celu sprawdzenie uziarnienia gruntu oraz wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu kruszywa.

Zaprezentowane zostaną przykładowe wyniki oznaczeń wskaźnika zagęszczenia (tab. 1, rys. 6) oraz wskaźnika odkształcenia (tab. 2, rys. 7) dla modelu podtorza z piasku średniego.

W prezentowanych wynikach badań zagęszczenia podtorza z piasku średniego mimo uzyskanych wskaźników zagęszczenia, dla warstw z poziomów od 0,6 do 1,1 m, w granicach od 0,972 do 0,985, całkowity wskaźnik zagęszczenia obliczony jako średnia arytmetyczna wynosił 0,991, a wyznaczony jako średnia ważona był o 0,5% większy i wynosił 0,996.

Wskaźnik odkształcenia wyznaczony z badań statyczną płytą sztywną o średnicy 30 cm z zakresu obciążenia 0,05 – 0,15 MPa przy obciążeniu końcowym 0,25 MPa, dla modelu podtorza z piasku średniego wynosi 3,05. W celu zwiększenia dokładności oznaczenia wskaźnika odkształcenia osiadania płyty aproksymowano wielomianem drugiego stopnia. Po wyznaczeniu osiadań płyty, w przyjętym przedziale obciążenia, z aproksymowanych krzywych odkształceń wyznaczono obliczeniowe wartości modułów odkształcenia i wskaźnika odkształcenia. Aproksymacja krzywych odkształceń wprowadziła korektę wartości modułów od-

kształcenia: o 3,2% z pierwszego obciążenia i o 5,7% z drugiego obciążenia. Wyznaczona z aproksymowanych krzywych odkształceń wartość wskaźnika odkształcenia była mniejsza od obliczonej z rzeczywistych krzywych odkształceń aż o 9,5%.

Wnioski

Na podstawie dotychczasowych badań prowadzących do ustalenia zależności wskaźnika zagęszczenia od wskaźnika odkształcenia można sformułować następujące wnioski:

- W celu określenia zależności wskaźników zagęszczenia i odkształcenia rzeczywistych układów podtorza z gruntów naturalnych i układów warstwa ochronna – podtorze konieczne jest przeprowadzenie badań w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności gruntu.
- Na stanowisku badawczym do badań wielkowymiarowych modeli podtorza kolejowego można przygotować i testować modele podtorza z różnych materiałów i w różnych ich układach.
- W celu uzyskania wiarygodnej liczby próbek badawczych konieczne jest wykonanie szeregu oznaczeń badanych parametrów na wielkowymiarowych modelach podtorza kolejowego.
- Aproksymacja krzywych osiadań w badaniach odkształcalności okrągłą płytą sztywną może powodować znaczne różnice uzyskiwanych wartości modułów i wskaźników odkształcenia. ◀

Literatura

- [1] Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009 r.
- [2] Pawłowski M.: Badania na wielkowymiarowym modelu podtorza kolejowego. Technika Transportu Szynowego 4/2010 s. 44 – 48.
- [3] Pawłowski M.: Model numeryczny stanowiska do badań wskaźnika odkształcenia. II Ogólnopolska Konferencja „Metody komputerowe w geotechnice i geologii inżynierskiej”, Rydzyna, 23-25.10.2007 (w druku).
- [4] Pawłowski M.: Wskaźnik odkształcenia piasku z badań edometrycznych. XIV Konferencja Naukowa „Drogi Kolejowe 2007”. Poznań-Rosnówko, 19-20.10.2007r., Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 3/2007, Poznań, WPP 2007, str. 233-240.
- [5] Pawłowski M.: Zależność wskaźnika zagęszczenia i wskaźnika odkształcenia kruszyw na podstawie próbnich obciążeń płytą statyczną. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2010 r.
- [6] PN-81/B-03020 Grunty budowlane –

Tab.1. Określenie wskaźnika zagęszczenia modelu podtorza z piasku średniego

Zagębienie warstwy	W	ρ_s	I_s warstwy	Waga	I_s modelu
[m]	[%]	[g/cm ³]	[-]	[-]	[-]
0,0 - 0,1	7,04	1,779	1,003	0,259	0,260
0,1 - 0,2	8,65	1,750	0,987	0,239	0,236
0,2 - 0,3	5,90	1,807	1,019	0,160	0,163
0,3 - 0,4	6,01	1,732	0,976	0,102	0,100
0,4 - 0,5	5,98	1,770	0,998	0,068	0,068
0,5 - 0,6	6,73	1,751	0,987	0,048	0,048
0,6 - 0,7	6,39	1,732	0,976	0,036	0,035
0,7 - 0,8	6,91	1,771	0,998	0,027	0,027
0,8 - 0,9	6,50	1,725	0,972	0,022	0,021
0,9 - 1,0	7,75	1,734	0,977	0,017	0,017
1,0 - 1,1	8,19	1,747	0,985	0,014	0,014
1,1 - 1,2	10,11	1,765	0,995	0,007	0,007
1,2 - 1,3	11,34	1,775	1,001	0,000	0,000
1,3 - 1,4	12,39	1,766	0,996	0,000	0,000
		Śr. arytm.	0,991	Śr. ważona	0,995

Tab.2. Sprawozdanie z badań odkształcalności modelu podtorza z piasku średniego

Data: 14.07.2009	Model nr: 3			Rodzaj kruszywa: Piasek średni		Poziom pomiaru: 145 cm	
Obciążenie	Osiadanie [mm]					Pomiar	Obl.
[MPa]	1	2	3	Pomiar	Obl.		
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,012	Eg1 = 31 MPa	Eg1 = 32 MPa
0,05	0,595	0,213	0,216	0,341	0,351		
0,10	1,199	0,377	0,475	0,684	0,709		
0,15	1,840	0,622	0,775	1,079	1,060		
0,20	2,374	0,866	1,039	1,426	1,407		
0,25	2,826	1,101	1,273	1,733	1,748		
0,15	2,820	1,045	1,278	1,714		Io = 3,05	Io = 2,76
0,05	2,670	0,887	1,124	1,560			
0,00	2,439	0,546	0,829	1,271	1,282	Eg2 = 93 MPa	Eg2 = 88 MPa
0,05	2,526	0,726	0,981	1,411	1,398		
0,10	2,644	0,848	1,115	1,536	1,523		
0,15	2,790	0,943	1,225	1,653	1,655		
0,20	2,909	1,052	1,330	1,764	1,793		
0,25	3,246	1,196	1,423	1,955	1,938		
0,15	3,246	1,157	1,425	1,943			
0,05	3,089	0,993	1,248	1,777			
0,00	2,841	0,677	0,968	1,495			

Posadowienie bezpośrednio budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, Warszawa 1981r.

- [7] PN-88/B-04481 Grunty budowlane – Badanie próbek gruntu. PKN, Warszawa 1988r.
- [8] PN-B-04452 Geotechnika – Badania polowe. PKN, Warszawa 2002r.
- [9] PN-S-02205 Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania. PKN, Warszawa 1998r.
- [10] 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 2005 r., str. 245-264.

mgr inż. Michał Pawłowski
Zakład Dróg Kolejowych
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechnika Poznańska