

Nośność podtorza – wyniki sondowań i pomiary VSS

Andrzej Piotrowski

W referacie zawarto wyniki z pomiarów nośności podtorza płytą VSS oraz sondowań lekką płytą dynamiczną SD-10. Pomiary były wykonane w zbliżonych lokalizacjach. W pracy ujęte są wyniki sondowań i obciążenia statycznego oraz ich porównanie.

Artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu wygłoszonego na V. Konferencji Naukowo-Technicznej "Problemy modernizacji i budowy podtorza kolejowego" Wrocław - Szklarska Poręba, 14-15 października 2010 r.

Zasadniczą częścią konstrukcji drogi szynowej - kolejowej jest jej podtorze. Podtorze ukształtowane może być w formie nasypu lub przekopu. Podstawowymi elementami nasypu są korpus nasypu, warstwa ochronna pomiędzy korpusem nasypu i podsypką nawierzchni, warstwa odcinająca pomiędzy korpusem nasypu a podłożem, podłoże gruntowe (ewentualnie wzmocnione), skarpy oraz urządzenia odwadniające.

Przekop natomiast składa się z warstwy ochronnej, podłoża gruntowego, w uzasadnionych przypadkach wzmocnionego, skarpy przekopu oraz odwodnienia. W przypadku istniejących linii kolejowych nawierzchnia i podtorze nie spełniają podstawowych wymagań stawianych obecnie dla torów mających być częścią układu europejskich linii o zwiększonych prędkościach jazdy pociągów oraz obciążen w tzw. sieci AGC i AGTC. Wymagania te dotyczą wymiarów w przekroju poprzecznym, ukształtowania przestrzennego geometrii drogi szynowej (krzywe przejściowe, rampy przechyłkowe, przechyłka toru na łuku, minimalny promień łuku poziomego), a także gruntów i innych materiałów, z których zbudowane jest podtorze.

Wady podtorza ujawniają się w formie odkształceń skarpy, korpusu nasypu lub podłoża gruntowego w przekopie i przenoszą się na konstrukcję nawierzchni szynowej.

W większości przypadków nierówności powierzchni tocznej szyn spowodowane są odkształceniami podtorza.

Dla zwiększonych prędkości jazdy pociągów oraz nacisków osi pojazdów szynowych na tor niezbędne jest wykonanie prac modernizacyjnych podtorza w celu zwiększenia jego nośności i trwałości. Określenie zakresu prac możliwe jest po wykonaniu badań gruntów podtorza.

Oznaczenia

E_I – pierwotny moduł odkształcenia [MPa];

E_{II} – wtórny moduł odkształcenia [MPa];

$I_0 = \frac{E_{II}}{E_I}$ – wskaźnik odkształcenia;

I_D – stopień zagęszczenia;

$I_D = 0,071 + 0,429 \log N_{10}$;

N_{10} – liczba uderzeń młota na 10 cm zagłębienia sondy;

I_S – wskaźnik zagęszczenia;

$I_S = 0,855 + 0,165 I_D$;

U – wskaźnik różnoziarnistości gruntu:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

d_{60} – średnica cząstek, których wraz z mniejszymi jest 60% masy gruntu (z krzywej uziarnienia);

d_{10} – średnica cząstek, których wraz z mniejszymi jest 10% masy gruntu (z krzywej uziarnienia);

Badania gruntów podtorza

Badania gruntów podtorza powinny obejmować prace wstępne, terenowe oraz badania szczegółowe. Prace wstępne to przede wszystkim analiza istniejących materiałów archiwalnych, danych z eksploatacji linii, przeglądów bieżących oraz warunków geotechnicznych. Prace terenowe związane są z wizją terenową oraz badaniami polowymi. Celem wizji terenowej jest określenie bieżącego stanu podtorza ze szczególnym uwzględnieniem opisu jego odkształceń oraz oceną urządzeń odwadniających.

Badania polowe dotyczą wymiarowania elementów podtorza, klasyfikacji gruntów i nawierconych warstw, pobierania próbek gruntów do badań laboratoryjnych, badań makroskopowych oraz specjalnych.

Badania szczegółowe prowadzi się w laboratoriach w celu określenia rodzaju, stanu oraz cech fizyko - mechanicznych gruntów.

Badaniami przysparzającymi wiele problemów są badania terenowe o charakterze specjalnym. Badania te mają na celu określenie nośności podtorza poprzez oznaczenie modułów jego odkształcenia, a także miar zagęszczenia gruntów. Trudności wiążą się z koniecznością dokonywania zamknięć toru oraz wynajmem drezyn stanowiących przeciwwagę w pomiarach osiadań płyty VSS (badanie modułu odkształcenia), a także ingerencją w konstrukcje nawierzchni przy dokonywaniu odkrywek w miejscach po-

miarowych.

Cel i zakres

Celem pracy było ustalenie ewentualnych związków między stanami zagęszczenia niespoistych gruntów podtorza określanymi na podstawie sondowań dynamiczną sondą lekką SD-10 (poprzednia nazwa - sonda SL), porównania modułów odkształceń wtórnego i pierwotnego a wartościami tychże modułów.

W miejscach, w których uprzednio oznaczono parametry geotechniczne gruntów podtorza oraz określono wartości modułów odkształcenia, wykonano sondowania sondą SD-10. Ogółem wykonano 23 sondowania. 12 lokalizacji znajdowało się w przekrojach torowiska, gdzie górną warstwę stanowiła pospółka oraz 11 lokalizacji z piaskiem średnim.

Pomiary sondowań i modułów odkształcenia prowadzono w tych samych lokalizacjach.

Sondowania

Pomiary wykonano sondą wbijaną lekką SD-10 z końcówką stożkową do głębokości 3,0 m z wyjątkiem lokalizacji, gdzie minimum trzy kolejne wpędy sondy na głębokość 10 cm wymagały większej liczby uderzeń niż 65. Sondowania wykonano na krawędzi przymy podsypki. Sposób wykonania badań był zgodny z normą [1] poz. 7.3.2.

Wyniki pomiarów uzyskiwane bezpośrednio w trakcie ich prowadzenia w terenie, tj. liczby uderzeń obciążnika przypadające na każde 10 cm zagłębienia się sondy w badany grunt rejestrowano w protokołach pomiarowych.

W tabelach podano:

- nazwy gruntów w warstwach,
- grubości warstw,
- stopień zagęszczenia gruntu I_D dla każdej z warstw,
- wskaźnik zagęszczenia gruntu I_S dla każdej z warstw.

Parametry określające zagęszczenie wyznaczono z następujących zależności:

$$I_D = 0,071 + 0,429 N_{10};$$

$$I_S = 0,855 + 0,165 I_D$$

gdzie:

N_{10} – liczba uderzeń młota na 10 cm zagłębienia sondy.

W analizie wyników uwzględniono jedynie górne warstwy podtorza do głębokości 0,6 m poniżej warstwy podsypki, gdyż do takiej głębokości można je porównywać z badaniami płytą VSS.

Moduły odkształcenia

W analizie wyników wykorzystano materiały z uprzednio prowadzonych prac. Metodyka badań [2] polega na pomiarze osiadań pionowych badanej warstwy pod obciążeniem statycznym wywieranym na stalową okrągłą płytę o średnicy 30 cm. Nacisk na płytę realizuje się za pośrednictwem podnośnika zasilanego ręcznie pompą olejową.

Wielkość nacisków płyty na warstwę odczytuje się na manometrze, a osiadanie płyty na trzech czujnikach zegarowych. W badaniach stosowano płytę o średnicy 30 cm, co odpowiada powierzchni nacisku -700 cm². Wielkość osiadań odczytywano przy naciskach 0,0; 0,05; 0,15; 0,25; 0,35 MPa zarówno przy obciążaniu, jak i odciążaniu. Przeprowadzono dwukrotne obciążenie i odciążenie, co umożliwiło określenie wartości modułu odkształcenia pierwotnego E_I i wtórnego E_{II} . Wartość modułu odkształcenia obliczono ze wzoru:

$$E = \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

gdzie:

E – moduł odkształcenia [MPa],

Δp – przyrost obciążenia w zakresie 0,15 – 0,25 MPa,

Δs – przyrost przemieszczenia w zakresie 0,15 – 0,25 MPa,

D – średnica płyty (300 mm).

W ustalonych warunkach stosunek modułu odkształcenia przy drugim obciążeniu E_{II} do modułu odkształcenia przy pierwszym obciążeniu E_I jest miarą zagęszczenia.

W normie przyjmuje się, że podtorze jest dobrze zagęszczone, jeśli:

$$I_0 = \frac{E_{II}}{E_I} \leq 2,2$$

Analiza wyników badań

Zbiorcze zestawienie wyników badań modułów odkształcenia oraz sondowań zawarto w tabeli 1.

Wyniki pomiarów, przy których górną warstwę podtorza stanowiła pospółka znajdują się w tabeli 2, odpowiednio dla piasku średniego w tabeli 3.

Podsumowanie

Na podstawie wyników sondowań oraz pomiarów modułów odkształcenia dla ograniczonej liczby badań trudno określić relacje zachodzące pomiędzy stopniem zagęszczenia a modułami odkształcenia zwłaszcza w przypadku podtorza, którego górna powierzchnia zbudowana jest z pospółki. Duże rozrzuty w uzyskanych wynikach spowodowane są znacznym zróżnicowaniem wskaźnika różnoziarnistości dla pospółki.

Przewiduje się dalsze prowadzenie prac przy znacznie większej liczbie pomiarów umożliwiających statystyczne opracowanie wyników. ◀

Literatura

- [1] PN-74/B-04452, Grunty budowlane, Badania polowe.
- [2] BN-64/8931-02, Oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- [3] BN-88/8932-02 Podtorze i podłoża kolejowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.

dr inż. Andrzej Piotrowski

Instytut Inżynierii Lądowej
Politechnika Wroclawska

Tab. 1. Zestawienie wyników badań płytą VSS i sondowań

Nr pomiaru	Rodzaj gruntu	Grubość warstwy [m]	U	E_I [MPa]	E_{II} [MPa]	I_0	I_D	I_S
1	PO	0,50	4,1	52,0	130,5	2,51	0,88	1,00
2	PS	1,05	3,3	39,5	180,0	4,56	0,76	0,98
3	PS	1,40	3,1	53,0	98,0	1,85	0,58	0,95
4	PO	0,70	3,9	68,0	209,0	3,07	0,68	0,97
5	PO	0,80	10,0	55,5	152,5	2,75	0,73	0,98
6	PS	1,00	2,8	61,0	155,0	2,54	0,55	0,95
7	PS	1,00	3,7	34,5	92,0	2,67	0,64	0,96
8	PO	1,10	3,3	43,0	167,0	3,88	0,59	0,95
9	PS	0,70	3,9	74,5	183,5	2,46	0,87	1,00
10	PS	2,50	3,5	129,0	257,0	1,99	0,80	0,99
11	PS	1,80	3,4	53,0	187,5	3,54	0,67	0,97
12	PS	1,00	3,3	60,0	209,5	3,49	0,72	0,97
13	PO	2,00	7,7	50,0	170,0	3,40	0,74	0,98
14	PS	1,10	3,0	77,0	225,0	2,92	0,68	0,97
15	PO	1,55	6,0	55,0	155,0	2,79	0,65	0,96
16	PS	1,40	3,9	83,0	204,5	2,46	0,71	0,97
17	PO	1,35	4,9	49,0	140,5	2,87	0,72	0,97
18	PO	1,15	7,4	93,0	237,0	2,55	0,77	0,98
19	PO	1,15	8,2	103,5	200,0	1,93	0,62	0,96
20	PS	0,80	3,9	145,0	290,5	2,00	0,71	0,97
21	PO	0,90	12,3	73,0	204,5	2,80	0,54	0,94
22	PO	0,70	8,0	121,5	272,5	2,24	0,61	0,95
23	PO	0,60	24,0	101,0	183,5	1,82	0,82	0,99

PO – pospółka, PS – piasek średni

Tab. 2. Zestawienie wyników oznaczeń dla pospółki

Lp.	E_I [MPa]	E_{II} [MPa]	I_0	I_D	U
1	73,0	204,5	2,80	0,54	12,3
2	43,0	167,0	3,88	0,59	3,3
3	121,5	272,5	2,24	0,61	8,0
4	103,5	200,0	1,93	0,62	8,2
5	55,5	155,0	2,79	0,65	6,0
6	68,0	209,0	3,07	0,68	3,9
7	49,0	140,5	2,87	0,72	4,9
8	55,5	152,5	2,75	0,73	10,0
9	50,0	170,0	3,40	0,74	7,7
10	93,0	237,0	2,55	0,77	7,4
11	101,0	183,5	1,82	0,82	24,0
12	52,0	130,5	2,51	0,88	4,1

Tab. 3. Zestawienie wyników oznaczeń dla piasku średniego

Lp.	E_I [MPa]	E_{II} [MPa]	I_0	I_D	U
1	61,0	155,0	2,54	0,55	2,8
2	53,0	98,0	1,85	0,58	3,1
3	34,5	92,0	2,67	0,64	3,7
4	53,0	187,5	3,54	0,67	3,4
5	77,0	225,0	2,92	0,68	3,0
6	83,0	204,5	2,46	0,71	3,9
7	145,0	290,5	2,00	0,71	3,9
8	60,0	209,5	3,49	0,72	3,3
9	39,5	180,0	4,56	0,76	3,3
10	129,0	257,0	1,99	0,80	3,5
11	74,5	183,5	2,46	0,87	3,9