ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 103 Nr kol. 1692

Ryszard PORĘBSKI, Jerzy SOBKOWIAK
Politechnika Poznańska

OCENA WPŁYWU DYNAMICZNEGO WBIJANIA PALI FUNDAMENTOWYCH SŁUPÓW TRAKCYJNYCH NA ROZGĘSZCZENIE PODTORZA

Streszczenie. W referacie omawia się wyniki badań podtorza podczas dynamicznego wbijania pali fundamentowych słupów trakcyjnych zlokalizowanych na ławie torowiska. Rezultaty tych badań stanowią podstawę do oceny wpływu wywołanych tym procesem destrukcyjnych oddziaływań na stan techniczny podtorza przygotowanego do wbudowania nawierzchni kolejowej oraz określenia wielkości strefy tych oddziaływań.

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF DYNAMIC DRIVE OF FOUNDATION PILES OF TRACTION POLES ON SUBGRADE DILUTION

Summary. The paper presents the results of investigations of the subgrade during dynamic drive of foundation piles of traction poles. The objective of these investigations was the evaluation of the destructive influence of the process on the technical condition of the subgrade prepared for built-in track structure and the determination of the range of the influence.

1. Wstęp

W obrębie pasa drogi kolejowej usytuowane są różnego rodzaju urządzenia techniczne oraz obiekty i budowle niezbędne do bezpiecznego i sprawnego prowadzenia ruchu pojazdów po tej drodze. Konieczność instalowania tych urządzeń powoduje często, mimo wspólnego ich przeznaczenia, negatywne oddziaływanie na elementy nawierzchni i podtorza. Zjawiska takie, polegające na wzajemnym negatywnym oddziaływaniu prac różnych branż, można obserwować podczas kompleksowo prowadzonej modernizacji lub budowy nowej drogi kolejowej. Problem ten szczególnie dotyczy podtorza, gdyż tam są instalowane i wbudowywane sieci kablowe i urządzenia podziemne oraz fundamenty wszystkich urządzeń i obiektów naziemnych zlokalizowanych w obrębie drogi. Podczas modernizacji linii E-20 na odcinku Mińsk Mazowiecki – Siedlce przeprowadzono badania [1] mające wyjaśnić i ocenić wpływ dynamicznego wbijania prefabrykowanych pali fundamentowych sieci trakcyjnej na właściwości przebudowanego i zmodernizowanego torowiska, co umożliwiłoby wypracowanie właściwej metody wykonywania tych prac, minimalizującej ingerencję w parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe podtorza. W referacie zawarto opis przeprowadzonych badań oraz omówiono wyniki pomiarów i przedstawiono wnioski i zalecenia dotyczące strefy oddziaływania dynamicznego palowania na podtorze.

2. Opis warunków eksperymentu

Przedmiotem przeprowadzonych badań była próba oceny wpływu wybijania fundamentów palowych sieci trakcyjnej na stan techniczny podtorza przygotowanego do wbudowania nawierzchni kolejowej. Badania przeprowadzono na odcinku modernizowanej linii kolejowej E-20 w sześciu kolejnych lokalizacjach fundamentów palowych, na długości 244 m, w miejscu prowadzonych wtedy prac, to jest od km 78,202 do km 78,446.

Zgodnie z dokumentacją geotechniczną [4] linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest (poza początkową strefą płytkiego nasypu piaszczystego) w postaci przekopu w warstwie piasków drobnych i średnich o maksymalnej grubości 2,0 m, zdeponowanych na osadach spoistych, wykształconych w postaci piasków gliniastych, glin piaszczystych i glin zwięzłych w stanie od miękkoplastycznego do twardoplastycznego.

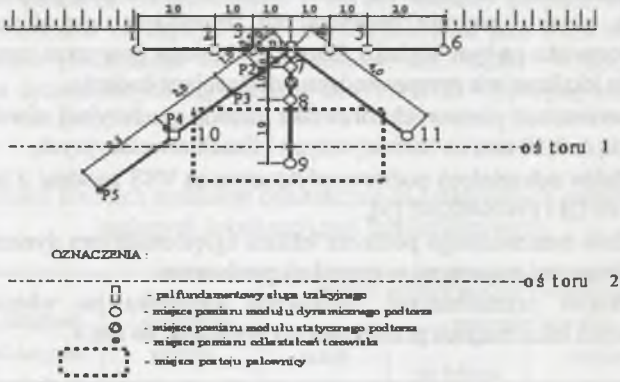
Do wbijania fundamentów zastosowano palownicę „Junttan" o ciężarze całkowitym 45 t. Badania przeprowadzono podczas wbijania fundamentów palowych. Wybór miejsc i metod badawczych stanowił kompromis pomiędzy potrzebnym i zamierzonym szerokim zakresem tych badań a technicznymi możliwościami jego realizacji, które były ograniczone przez gabaryty palownicy oraz sposób jej przemieszczania się po torowisku. Palownica poruszała się na gąsienicach po przygotowanym torowisku w kierunku równoległym do osi torów w bezpośrednim sąsiedztwie skrajni toru 1.

W celu wbicia pala zatrzymywała się i obracała wieżę w kierunku lokalizacji fundamentu palowego. Widok palownicy w miejscu badań pokazano na rys. 1.
Wymiary palownicy uniemożliwiły przeprowadzenie pomiarów w podtorzu w pełnym zakresie w przekroju o kierunku prostopadłym do osi torów. Szyna zewnętrzna toru 2 będzie usytuowana ok. 2,10 m od osi fundamentu palowego, czyli dokładnie pod gąsienicą palownicy. Ta sytuacja powodowała, że najazd palownicy na miejsce robót deformował torowisko pod gąsienicami w porównywalnym lub większym stopniu niż sam proces wbijania pala.

Rys.1.Widok: a) palownicy przygotowanej do wbijania pala, b) stanowiska pomiarów modułu statycznego i dynamicznego
Fig.1.View: a) pile-driver ready for driving pile, b) measuring position for static and dynamic modules

Skrajne możliwe miejsce badań w kierunku prostopadłym do torów, a leżące przed palownicą, znajdowało się w odległości 1,50 m od osi pala. Stąd wybrano następującą (przedstawioną na rys.2.) koncepcję rozmieszczenia miejsc badawczych i punktów pomiarowych:

- badanie modułów dynamicznych E_{vd} podtorza w linii fundamentów palowych w kierunku równoległym do osi toru - w odległości 1,0; 2,0 i 4,0 m od pala po obu jego stronach (punkty nr 1, 2, 3, 4, 5 i 6),
- badanie modułów dynamicznych E_{vd} w kierunku prostopadłym do osi toru - w odległości 0,5; 1,5 i 3,40 m od osi pala (punkty nr 7, 8 i 9),
- badanie modułów dynamicznych E_{vd} w kierunkach ukośnych do osi toru pod kątem zbliżonym do 45^0 - w odległości 4,0 m od osi pala (punkty nr 10 i 11),
- badanie modułu pierwotnego i wtórnego (statycznego) odkształcenia podtorza E_1 i E_2 w kierunku prostopadłym do osi toru - w odległości 1,0 m od osi pala,
- pomiar przemieszczeń pionowych torowiska na kierunku ukośnym - w odległości 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 i 6,5 m od osi pala (punkty nr P1, P2, P3, P4, P5 i P6).



Rys.2. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w otoczeniu wbijanego fundamentu palowego

Fig.2. Distribution of measuring points round pile foundation being driven

Badania przeprowadzono w trakcie wbijania fundamentów palowych typu PI o długości 3,0 m dla słupów trakcyjnych zlokalizowanych w km 78,202; 78,263; 78,324; 78,385 oraz dla fundamentu palowego typu PIII-K o długości 5,0 m dla odciągu prętowego w km 78,437 i fundamentu palowego typu PIII o długości 3,5 m w km 78,446. Fundamenty palowe pod słupy trakcyjne typu PI i PIII wbijane są dłuższym bokiem w kierunku prostopadłym do osi toru, natomiast fundamenty palowe typu PIII-K wbijane są dłuższym bokiem w kierunku równoległym do osi toru.

W badaniach nie zastosowano pomiarów sondą dynamiczna lekką typu SL lub SD-10. Metodologia tych badań wymusza wykonanie sondowań przed i po wbiciu fundamentu palowego, w odległości co najmniej 1,0 m od siebie, aby zniwelować wzajemne oddziaływania sondowań. Spełnienie tego warunku eliminuje możliwość przeprowadzenia analiz porównawczych związanych z tą samą lokalizacją punktów pomiarowych. Ponadto interpretacja wyników badań sondowania w strefie przypowierzchniowej (najbardziej interesującej) jest mało dokładna i odbywa się z zastosowaniem współczynników korekcyjnych, co eliminuje tę metodę w tych badaniach. Założono, że badania muszą być zrealizowane w taki sposób, aby zapewnić jednakowe warunki pomiarowe podczas ich

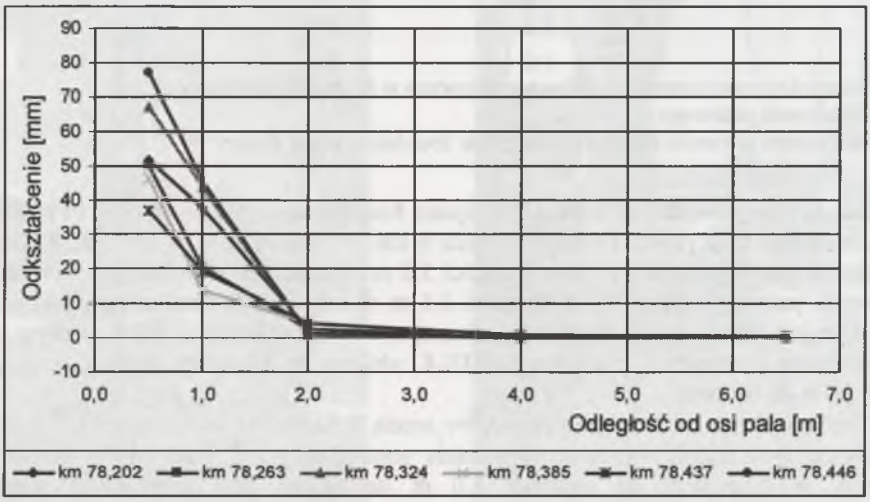
wykonywania, muszą dotyczyć tych samych miejsc pomiarowych i obejmować każdorazowo te same parametry lub cechy techniczne podtorza.

3. Przeprowadzone badania

Cały zakres badań obejmuje dwie serie pomiarów podtorza wykonanych przed i po wbiciu fundamentu palowego, co umożliwiło przeprowadzenie analizy porównawczej wyników badań. Dla wszystkich punktów badawczych oprócz punktu nr 9 badania wykonywano przy palownicy stojącej w miejscu wbijania fundamentu palowego. Natomiast w przypadku punktu badawczego nr 9 badanie pierwotne wykonywano przed najazdem palownicy, a powtórne po zjeździe palownicy, gdyż punkt ten znajdował się pośrodku pomiędzy jej gąsienicami. Badania w km 78,202; 78,263; 78,324 i 78,385 przeprowadzono na podtorzu, którego górne warstwy ochronne zbudowane były z klińca o grubości warstwy 10 cm, ułożonego na pospółce o tej samej grubości warstwy. Natomiast badania w km 78,437 i km 78,446 przeprowadzono na podtorzu, gdzie wbudowano warstwę pospółki o grubości 15 cm. Wybór tych miejsc i rodzaju podtorza był wymuszony aktualnym stanem robót i przygotowania torowiska na tym odcinku. Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, we wszystkich sześciu lokalizacjach przeprowadzono następujące badania:

- pomiary przemieszczeń pionowych torowiska metodą geodezyjnej niwelacji precyzyjnej z dokładnością do 0,10 mm na normatywnych klinach niwelacyjnych,
- pomiary modułów odkształceń podtorza płytą sztywną VSS zgodnie z zaleceniami norm BN-64/8931-02 [2] i PN-S-02205 [3],
- pomiary modułu dynamicznego podtorza lekkim ugięciomierzem dynamicznym ZFG02, zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcji producenta.

Wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych torowiska po wbiciu fundamentów palowych w badanych lokalizacjach przedstawiono graficznie na rys.3.



Rys.3. Zależność odkształceń pionowych torowiska od odległości do pala fundamentowego
Fig.3. Relation of vertical strains in a railway subgrade on the distance from foundation pile

Wyniki pomiarów modułów dynamicznych i statycznych odkształcenia podtorza pomierzonych na torowisku podczas dwóch serii pomiarów (przed i po wbiciu pala) dla

Wyniki pomiarów modułów dynamicznych i statycznych odkształcenia podtorza pomierzonych na torowisku podczas dwóch serii pomiarów (przed i po wbiciu pala) dla wszystkich badanych lokalizacji fundamentów palowych zestawiono w tab. 1 w postaci wartości średnich.

4. Omówienie wyników

Analizując wyniki pomiarów modułów w poszczególnych lokalizacjach stwierdzono istotne zróżnicowanie oddziaływań kolejnych wbijanych pali na podtorze. Wpływ na to miały zróżnicowane warunki w poszczególnych lokalizacjach pali, wynikające między innymi z różnych konstrukcji górnych warstw podtorza, odmiennych warunków gruntowych w podłożu oraz różnych długości wbijanych pali. Stwierdzono, że na odcinku, gdzie górne warstwy podtorza stanowią kliniec o grubości 10 cm, na pospółce o grubości 10 cm, w odległości 1,0 m od pala, wartość modułu dynamicznego zmalała średnio o 30%, gdy w tej samej strefie dla podtorza zabudowanego z 15 cm warstwy pospółki wartość ta zmalała o 60%. Podobne różnice występują w strefie oddalonej od pala o 2,0 m. Dla konstrukcji podtorza z klińcem (lokalizacja osi fundamentów: km 78,202; 78,263; 78,324; 78,385) zmiany modułów dynamicznych E_{vd} wynoszą od -17,0% do +7,1% przy wartości średniej ok. - 3%.

Tabela 1

Zestawienie wartości średnich modułów dynamicznych i statycznych podtorza dla wszystkich badanych lokalizacji pali fundamentowych

Nr punktu pomiarowego zgodnie z rys. 2	Odległość od osi pala [m]	Lokalizacja punktu pomiarowego	Wartość średnia modułu dynamicznego w [MPa] na poziomie torowiska			
			przed wbiciem pali	po wbiciu pali	różnica wartości modułów	procentowa różnica modułów
1	2	3	4	5	6	7
1	4,0	równolegle do osi toru	37,5	37,5	0,0	-0,1
2	2,0		35,2	31,4	-3,8	-10,9
3	1,0		36,7	22,5	-14,2	-38,6
4	1,0		36,5	21,9	14,6	-39,9
5	2,0		34,6	31,4	-3,2	-9,3
6	4,0		39,7	40,6	0,9	2,4
7	0,5	prostopadle do osi toru	38,2	20,1	-18,2	-47,5
8	1,5		41,8	32,1	-9,7	-23,3
9	3,4		41,6	40,1	-1,5	-3,6
10	4,0	skośnie do osi toru	43,6	43,0	-0,6	-1,4
11	4,0		35,8	37,4	1,5	4,3

Odległość od osi pala [m]	Lokalizacja punktu pomiarowego	Wartość średnia modułu statycznego w [MPa] na poziomie torowiska				
		przy obciążeniu	przed wbiciem pala	po wbiciu pala	różnica wartości modułów	procentowa różnica modułów
1,0	prostopadle do osi toru	pierwotnym	21,1	10,1	-11,1	-52,4
1,0		wtórnym	91,3	54,1	-37,2	-40,8

Natomiast dla podtorza z górną warstwą zbudowaną z pospółki (lokalizacja osi fundamentu: km 78,437 i 78,446) zmniejszenie modułów dynamicznych E_{vd} wynosi od -30,2% do -15,3%, przy wartości średniej ok. -18%. Takie duże różnice tylko częściowo mogą wynikać z większej stabilności warstwy klińca. Należy przyjąć, że decydujący wpływ miała tu długość pali, która dla konstrukcji podtorza z klińcem wynosiła 3,0 m dla każdego przypadku, natomiast dla konstrukcji podtorza z pospółki 5,0 i 3,5 m, a więc wystąpiła znaczna różnica w czasie wbijania fundamentów palowych na niekorzyść podtorza z pospółką. Odmienne były również warunki gruntowe w podłożu. Dla odcinka z warstwą klińca podłoże było piaszczyste i spoiste w stanie miękkoplastycznym i plastycznym, natomiast dla odcinka z pospółką również piaszczyste i spoiste w stanie miękkoplastycznym i plastycznym w górnej części, natomiast głębiej twardoplastyczne, znacznie wydłużające czas wbijania pala. Właśnie uderzania kafara palownicy w głowicę fundamentu palowego powodują propagowanie drgań w podłożu, które należy uznać za podstawowy czynnik destrukcyjny, powodujący rozgęszczenie górnej strefy podtorza. Z uwagi na ograniczony zakres przeprowadzonych badań nie można ocenić oddzielnie wpływu wymienionych powyżej czynników na pogorszenie stanu górnych warstw podtorza.

Przedstawione w tabeli 1 średnie wartości pomierzonych modułów dynamicznych i statycznych odkształcenia podtorza pozwalają stwierdzić, że w odległości 1,0 m od wbitego pala występuje zmniejszenie modułów średnio o ok. 40%. W odległości 2,0 m spadek wartości modułów wynosi już tylko ok. 10%, a w odległości 4,0 m nie stwierdzono różnic większych niż mieszczące się w granicach błędu pomiarowego. Podobne wnioski wynikają z analizy pomierzonych odkształceń pionowych torowiska po wbiciu pala (rys.3). Strefa dużych odkształceń podtorza ograniczona jest odległością 2,0 m. W odległości 4,0 m od pala średnie pomierzone pionowe przemieszczenie torowiska wynosi 0,2 mm i mieści się w granicach błędu pomiarowego.

Należy podkreślić, że punkty pomiarowe od nr 1 do 6 zlokalizowane były wzdłuż ławy torowiska równolegle do osi toru poza zasięgiem obciążeń od ciężaru palownicy i torowisko w tej strefie mogło się odkształcać swobodnie. Natomiast w kierunku prostopadłym do osi toru w odległości 2,0 m od pala torowisko było obciążone palownicą. Duży ciężar obciążający podtorze poprzez dużą powierzchnię gąsienic wpływa stabilizująco na torowisko, uniemożliwiając mu przemieszczanie się i rozluźnienie pod wpływem drgań.

Po przeanalizowaniu wyników badań można stwierdzić, że graniczną odległością negatywnego oddziaływania procesu wbijania fundamentu palowego na podtorze (o znaczeniu praktycznym), jest odległość 2,0 m. Odległość ta swoim zasięgiem obejmuje już strefę ułożenia szyny zewnętrznej toru. Stąd niezbędne jest dogęszczenie tej strefy wokół pala przed ułożeniem nawierzchni, w celu przywrócenia wymaganych parametrów podtorza.

Przedstawione wyniki badań pozwalają stwierdzić, że poprawna z uwagi na zachowanie wymaganych przepisami parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych podtorza jest taka kolejność robót, kiedy roboty palowe prowadzone są wyprzedzająco w stosunku do ułożenia warstw ochronnych podtorza lub co najmniej przed ich ostatecznym zagęszczeniem. Przeprowadzone badania nie pozwalają wnioskować o zasięgu strefy rozluźnienia pod ułożoną nawierzchnią obciążoną palownicą. Można natomiast twierdzić, że wbijanie pali z palownicy poruszającej się po nowo ułożonym torze, spowoduje duże rozluźnienie torowiska w obrębie ławy (w strefie poza zasięgiem pryzmy podsypki) o wielkości podobnej do zaobserwowanej podczas przeprowadzonych badań.

5. Wnioski

Celem wykonanych badań była ocena zmian (pogorszenia się) jakości podtorza na skutek wbijania fundamentów palowych sieci trakcyjnej. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- o wielkości oddziaływania pracy palownicy na górne warstwy podtorza decydują: długość fundamentu palowego, rodzaj podłoża gruntowego oraz stan zagęszczenia i usztywnienia podłoża, co przekłada się bezpośrednio na ilość uderzeń i czas wbijania pala,
- stwierdza się wyraźne pogorszenie jakości podtorza w odległości do 2,0 m od osi fundamentu palowego,
- w strefie pomiarów modułów statycznych i dynamicznych oddalonej od osi pala o 1,0 m pogorszenie jakości podtorza jest znaczne, występuje tu zmniejszenie modułów średnio o około 40%,
- badania nie obejmują oceny oddziaływania destrukcyjnego palownicy na podtorze podczas jej przemieszczania się pomiędzy kolejnymi lokalizacjami fundamentów,
- można przypuszczać, że wbijanie pali palownicą poruszającą się po ułożonym torze, spowoduje największe rozgęszczenie podtorza w obrębie ławy torowiska, zaś rozgęszczenie tej części podtorza (przykrytego podsypką), które jest obciążone nawierzchnią i stojącą na niej palownicą, będzie mniejsze od zaobserwowanego podczas wykonanych badań na odkrytym podtorzu.

Literatura

1. Badania podtorza w strefie oddziaływań wbijanych fundamentów palowych słupów trakcyjnych. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004
2. BN-64/8931-02 „Drogi samochodowe. Oznaczenia modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez odciążenie płytą"
3. PN-S-02205 „Drogi samochodowe. Roboty ziemne, wymagania i badania"
4. Ocena geotechniczna podtorza i podłoża pod fundamenty palowe w torze 1 i 2 na obiekcie: Stacja Kotuń od km 77+266 do km79+027. GEOSTANDARD, Wrocław 2004