

Kontrowersyjna interpretacja wyników sondowań dynamicznych w praktyce inżynierskiej

Dr inż. Maciej Hawrysz, dr Joanna Stróżyk

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Sondowania dynamiczne należą do najczęściej wykonywanych badań geotechnicznych w praktyce inżynierskiej [10]. Duża popularność wykorzystywania tego rodzaju badań wynika z ich relatywnie niskiego kosztu i łatwości ich wykonania.

Badanie polega na rejestracji *in situ* oporu penetracji w czasie wertykalnego pogłębiania znormalizowanego stożka w grunt. Miarą oporu jest liczba uderzeń N_{10} młota o danej masie i zadanej wysokości spadu na 10 cm (ewentualnie 20 cm) wpędu sondy. Charakterystyki sond dynamicznych lekkich DPL, średnich DPM, ciężkich DPH i bardzo ciężkich DPSH podano w Polskich Normach [3, 5, 6, 8].

Najpopularniej wykonywanymi sondowaniami dynamicznymi są sondowania lekkie – wykonywane sondami rodzaju DPL umożliwiające badanie do głębokości 10 m p.p.t.. Na przestrzeni ostatnich lat, od 2002 roku lekkie sondy dynamiczne nie zmieniły się znacząco. Zmianie uległ kąt wierzchołkowy stożka sondy lekkiej rodzaju SL opisywanej w normie [3], który wynosił 60 stopni, w chwili obecnej w sondzie DPL stosuje się stożek o kącie 90 stopni. Zasady wykonywania badania *in situ* również pozostają takie same, zmienił się natomiast sposób ich interpretacji. Podstawowym problemem jest, jak przełożyć wynik badania – liczbę uderzeń N_{10L} (liczba uderzeń na 10 cm wpędu sondy lekkiej) na konkretne wartości liczbowe parametrów geo-

technicznych. Niestety zarówno literatura naukowa, jak i dostępne dla inżynierów geotechników normy w Polsce nie tylko nie pomagają w interpretacji badań, ale ze względu na szereg nieścisłości często wprowadzają dodatkowe utrudnienia.

Różne sposoby interpretacji wyników badań DPL podawano w kolejnych Polskich Normach [3, 5] jak i w „Wytycznych... [11]”. Inne sposoby interpretacji pojawiły się w Eurokodzie 7 przyjętym w Polsce jako PN-EN [7] (przyjęte za DIN (por. [1]) oraz w normie dotyczącej sondowań dynamicznych [8] na dzień dzisiejszy wydanej w języku angielskim.

INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ

Sondowania dynamiczne zaleca się wykonywać przede wszystkim w celu oceny nośności i odkształcalności warstw gruntów gruboziarnistych. Badania służą również ocenie:

- parametrów geotechnicznych badanej warstwy,
- określeniu homogeniczności lub jej braku w obrębie warstwy lub zasypu,
- określeniu obecności warstw słabych lub mocnych w obrębie zasypu,
- lokalizacji stropu podłoża skalnego,

- kontroli zagęszczenia nasypów i zasypów wykonanych z materiału gruntowego.

Interpretacja sondowania DPL w przypadku gruntów gruboziarnistych i/lub antropogenicznych do oceny zagęszczenia masywu gruntowego polega głównie na ocenie wartości stopnia zagęszczenia I_D . Przyjmuje się, że jego wartość można wyrazić ogólnie poprzez równanie:

$$I_D = a_1 + a_2 \log N_{10} \quad (1)$$

gdzie:

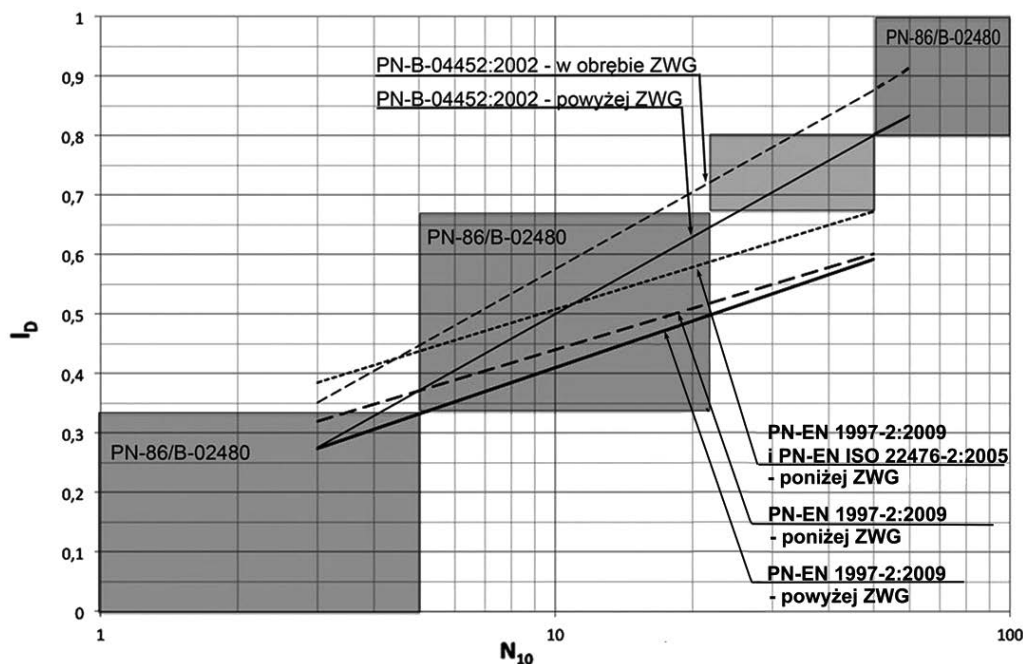
a_1, a_2 – stałe zależne od rodzaju gruntu i obecności wody gruntowej,
 N_{10} – liczba uderzeń młota na 10 cm wępudy sondy.

Wartości stałych a_1 i a_2 są przyjmowane różnie przez różne normy. Zależności korelacyjne stosowane w praktyce inżynierskiej w Polsce, oparte również na wzorze (1), zestawiono w tabl. 1.

Tabl. 1. Zasady interpretacji lekkich sondowań dynamicznych DPL stosowanych w praktyce inżynierskiej w Polsce

Rodzaj sondy	Kąt stożka	Interpretacja wyników badania				Źródło
		rodzaj gruntu $C_u = d_{60}/d_{10}$	głębokość krytyczna t_c [m]	zależności korelacyjne $I_D = f(N_{10L})$	przedział zmienności N_{10L}	
SL	60°	piaski $C_u < 3$	$t_c = 1,0$	$N_{10L} \leq 5$ $5 < N_{10L} \leq 22$ $22 < N_{10L} \leq 50$ $N_{10L} > 50$	$I_D \leq 0,33$ $0,33 < I_D \leq 0,67$ $0,67 < I_D \leq 0,80$ $I_D > 0,80$	PN-86/B-02480 [4]
			$z < t_c$	skorygowana wartość N_{10L} $N_{10L}^{kor} = N_{10L} (1/n)$ gdzie $1/n$ – współczynnik korygujący gdy $0,1 \text{ m} \leq z \leq 1,0 \text{ m}$		Wytyczne... [11]
DPL	90°	piaski $C_u > 3$ (piaski $C_u < 3^*$)	$t_c = 0,6$	powyżej ZWG $I_D = 0,429 \log N_{10L} + 0,071$	$3 \leq N_{10L} \leq 60$	PN-B-04452:2002[5] i materiały konferencyjne [2]
		piaski średnio zagęszczone		1,0 m powyżej i 2 ÷ 3 m poniżej ZWG $I_D = 0,429 \log (1,5 N_{10L}) + 0,071$		
DPL	90°	piaski $C_u < 3$	$t_c = 0,6$	powyżej ZWG $I_D = 0,260 \log N_{10L} + 0,15$ poniżej ZWG $I_D = 0,230 \log N_{10L} + 0,21$	$3 \leq N_{10L} \leq 50$	PN-EN 1997-2:2007 [6]
		piaski $C_u \leq 3$	przykład D.5: $t_c = 1 \div 2 \text{ m}$	wynik badania wyrażony jako N_{10L} poniżej ZWG przykład D.6: $N_{10L} = 2,0 N'_{10L} + 2,0$ N_{10L} liczba uderzeń powyżej ZWG N'_{10L} liczba uderzeń poniżej ZWG	–	PN-EN ISO 22476-2:2005 [8]

- I_D – stopień zagęszczenia
- C_u – wskaźnik jednorodności uziarnienia
- N_{10L} – liczba uderzeń na 0,1 m wępudy sondy powyżej ZWG
- N'_{10L} – liczba uderzeń na 0,1 m wępudy sondy poniżej ZWG
- z – głębokość sondowania

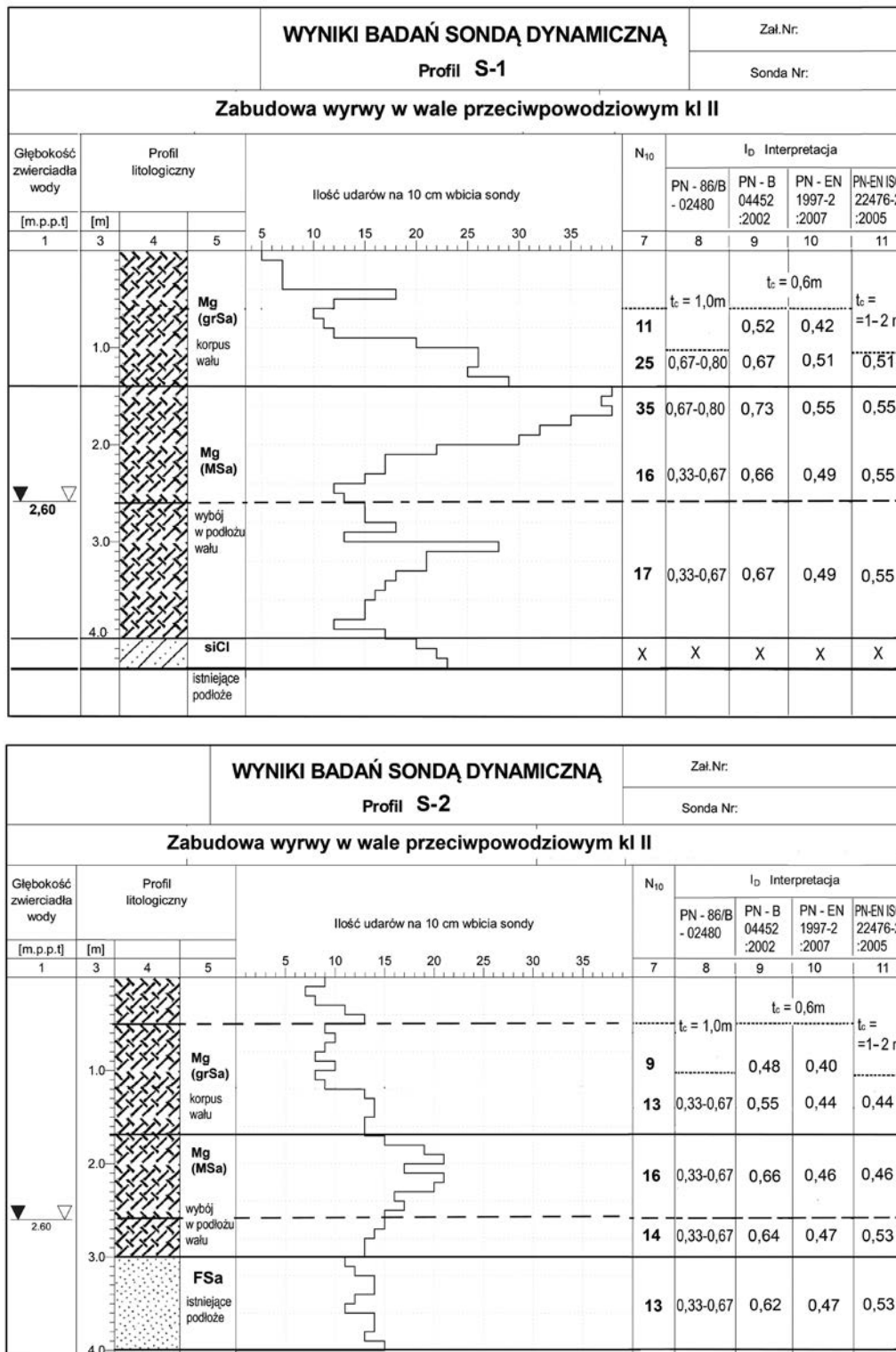


Rys. 1. Interpretacja wyników sondowania DPL, wartość stopnia zagęszczenia I_D w zależności od liczby uderzeń młota na 10 cm wępudy sondy N_{10L}

Podane zależności wyprowadzono tylko w przypadku gruntów o wskaźniku jednorodności $C_u \leq 3$, a zatem gruntów równomiernie uziarnionych [7]. Sposobu interpretacji wyników sondowań dla pozostałych gruntów nie podano, z wyjątkiem normy z 2002 roku [5]. Taka interpretacja wzbudza jednak pewne wątpliwości, gdyż w projekcie normy, o której dyskutowano na Konferencji ITB w Warszawie w 1994 roku [2], podano identyczną zależność dla gruntów o wskaźniku jednorodności $C_u < 3$. Zachodzi zatem pytanie, czy na etapie zatwierdzania nor-

my pojawił się błąd, czy też inne względy zdecydowały o istniejącej zmianie. Jak można zauważyć (tabl. 1) tylko w tym jednym przypadku spośród wszystkich ustaleń normalizacyjnych pojawiłaby się zależność korelacyjna dla gruntów o wskaźniku $C_u > 3$. Taka sytuacja stwarza możliwość manipulacji wynikami sondowań, czego dowodem może być przedstawiony w dalszej części pracy przykład kontroli jakości robót ziemnych.

Problemy interpretacyjnych nie unikniemy także przy uwzględnianiu wpływu wód podziemnych na wyniki sondowa-



Rys. 2. Przykłady interpretacji wyników sondowań dynamicznych według norm [4, 6, 8]

nia. W przypadku norm stosowanych przed Eurokodem 7 [3] poprawki nie uwzględniano albo przyjmowano ją w ograniczonej strefie – w obrębie ZWG (1 m powyżej i do 3 m poniżej ZWG). Korekta polegała na zwiększeniu wartości N_{10L} o 50% (por. tabl. 1). W chwili obecnej w Eurokodzie 7 [6] podaje się sposób interpretacji wyniku sondowania gruntów nad i pod wodą. Wątpliwości pojawiają się, gdy zapoznamy się z anglojęzyczną normą dotyczącą sondowań dynamicznych [8], w której to w przykładzie D.6. znajdziemy sposób interpretacji podany wzorem (2):

$$N_{10L} = x_1 \cdot N'_{10L} + x_2 \quad (2)$$

gdzie:

N_{10L} – liczba uderzeń młota na 10 cm wępudy sondy podczas sondowania powyżej zwierciadła wody gruntowej,

N'_{10L} – liczba uderzeń młota na 10 cm wępudy sondy podczas sondowania poniżej zwierciadła wody gruntowej,

x_1, x_2 – dla gruntów źle uziarnionych $C_u \leq 3$, w badaniu rodzaju DPL przyjmuje się $x_1 = x_2 = 2,0$.

Mamy zatem obecnie dwie możliwości interpretacji, które dają inne oszacowanie wartości I_D (rys. 1).

Analizując informacje zestawione w tabl. 1, warto zwrócić uwagę, że we wszystkich zamieszczonych przepisach normatywnych jest podana głębokość krytyczna t_c , od której ustalone zależności korelacyjne mają zastosowanie i nie mogą służyć do oceny zagęszczenia warstw powyżej t_c . Możliwość oceny stopnia zagęszczenia I_D w omawianym przypadku podano w normie z 1974 roku [3] pod warunkiem prowadzenia badania przy obciążeniu płytą stalową lub żelbetową o określonych wymiarach i ciężarze powierzchni sondowanej warstwy. Ze względu na znaczne utrudnienie prowadzenia w ten sposób badania wprowadzono do praktyki inżynierskiej za „Wytycznymi...” [11] możliwość korygowania uzyskanych wartości N_{10L} przy wykorzystaniu prostej zależności przytoczonej w tabl. 1.

Na rys. 1 zestawiono zależność stopnia I_D od liczby uderzeń na 10 cm wępudy sondy lekkiej. Polami ciemnymi zaznaczono interpretację według normy z 1986 roku [4]. Liniami ciągłymi zaznaczono zależności korelacyjne do sondowań powyżej zwierciadła wody gruntowej, liniami przerywanymi interpretacje poniżej zwierciadła wody gruntowej. Jak można zauważyć, najbezpieczniejsza interpretacja (najmniejsze wartości I_D) podano w Eurokodzie 7 [6]. W stosunku do polskiej normy z 2002 roku [5] różnice w ocenie wartości I_D są tym większe, im większa jest liczba uderzeń N_{10L} . Jednak w Eurokodzie 7 podano, że można stosować tę interpretację tylko do gruntów równomiernie uziarnionych o wskaźniku $C_u < 3$. Nie wspomniano o gruntach charakteryzujących się wyższym wskaźnikiem $C_u > 3$. Co w takim przypadku?

PRZYKŁADY INTERPRETACJI

Przykładem niejednoznacznej interpretacji sondowań dynamicznych są wyniki powykonawczej kontroli zagęszczenia zasypu – odbudowy wału przeciwpowodziowego zlokalizowanego niedaleko Wrocławia, który był uszkodzony w czasie powodzi w 1997 roku. Do zabudowy wyryw w wale klasy II (według Rozporządzenia... [13]) wykorzystano materiał gruntowy pochodzący z refulacji koryta Odry charakteryzujący się równomiernym uziarnieniem. Ze względu na słabą zagęszczalność

piasków wydobytych z dna rzeki przy odbudowie korpusu wału doziarniano materiał gruntowy frakcją żwirową.

Po zakończeniu zabudowy wyryw przeprowadzono ocenę zagęszczenia wbudowanego materiału gruntowego na podstawie wyniku sondowania sondą DPL. Dokumentację dwóch losowo wybranych miejsc przedstawiono na rys. 2. Prezentowana dokumentacja zawiera również interpretację wyników sondowania według trzech norm wydanych w języku polskim i najczęściej wykorzystywanych w praktyce wykonywania badań polowych [4, 5, 6] oraz interpretację według normy w języku angielskim [8].

Biorąc pod uwagę wymagany przepisami [12] przy odbudowie wału klasy II stan zagęszczenia wyrażony poprzez stopień zagęszczenia I_{Dw} , którego wartość nie powinna być mniejsza niż 0,50, należy stwierdzić, że w przytoczonych przykładach jakość robót ziemnych w zależności od przyjętego sposobu interpretacji wyników sondowania może być oceniona pozytywnie – na podstawie zależności korelacyjnych według norm [4, 5, 8] lub negatywnie według normy [6]. Wyznaczone z zależności normowych wartości stopnia zagęszczenia różnią się znacznie. W skrajnym przypadku (rys. 2) Profil S-2 różnica w wartości I_D wynosi 0,2. Interpretacja przeprowadzona według Polskiej Normy [3] $I_D = 0,66$ pozwala przyjąć, że prace ziemne wykonano poprawnie, a interpretacja według Eurokodu 7 [6] $I_D = 0,46$ nie pozwala przyjąć tych prac.

PODSUMOWANIE

Lekkie sondowania dynamiczne DPL należą do jednych z najczęściej wykonywanych badań polowych. Pomimo że są to badania, które pozwalają raczej oszacować, niż dokładnie ocenić zagęszczenie gruntu, dopuszcza się stosowanie DPL do oceny poprawności wykonania prac ziemnych podczas budowy wałów przeciwpowodziowych. W takim ujęciu interpretacja wyników badań DPL na podstawie wydanych w Polsce norm może wzbudzać szereg wątpliwości. Wartość oszacowanego na podstawie zależności korelacyjnych stopnia zagęszczenia I_D w zależności od zastosowanej metody interpretacji może różnić się znacząco. Jak wykazano w pracy, na przykładzie oceny zagęszczenia zabudowy wyryw w wale przeciwpowodziowym, różnica w oszacowanej wartości I_D może wynieść nawet 0,2, skutkując brakiem odbioru prac ziemnych.

Istnieje pilna potrzeba ustalenia jednolitych zaleceń dotyczących oceny zagęszczenia podłoża, aby uniemożliwić wszelkie wątpliwości, ułatwić pracę inżynierom geotechnikom i kierownikom robót budowlanych. Zalecenia te powinny obejmować nie tylko rodzaj dopuszczonego badania do określonych rodzajów robót, ale również szczegółowe dane dotyczące interpretacji wyników badań w polskich warunkach geotechnicznych.

LITERATURA

1. Geotechnical Engineering Handbook. Fundamentals. red. U. Smolczyk. vol.1, Ernst&Sohn, Berlin 2002.
2. Podłoże gruntowe i fundamenty. Badania polowe. Sondowania. Materiały do dyskusji. Konferencja ITB, październik 1994, Warszawa, (materiały niepublikowane).

3. Polska Norma. PN-74/B-04452. Grunty budowlane. Badania polowe
4. Polska Norma. PN-86/B-2480. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
5. Polska Norma. PN-B-04452:2002. Geotechnika Badania polowe.
6. Polska Norma. PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
7. Polska Norma. PN-EN ISO 14688-1: 2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis.
8. Polska Norma. PN-EN ISO 22476-2:2005-06 E. Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 2: Sondowanie dynamiczne.
9. Poprawka do Polskiej Normy. PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2:2012.
10. Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego. E.Stilger – Szydło. DWE, Wrocław 2005.
11. Wytyczne wykonywania i interpretacji wyników badań sondami dynamicznymi i obrotowymi, Geoprojekt, Warszawa 1982.
12. Roboty ziemne. Warunki techniczne wykonywania i odbioru, MŚZNiL, Warszawa 1994.
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 86 poz. 579.