

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Marta Sokołowska*

ZMIENNOŚĆ STOPNIA ZAGĘSZCZENIA W PROFILACH ALUWIÓW NA PRZYKŁADZIE DOLINY SIERPIENICY

W artykule przedstawiono analizę zmienności stopnia zagęszczenia w profilach aluwii na przykładzie doliny Sierpienicy. Wykorzystano do tego zbiór danych uzyskanych w trakcie opracowywania warunków geologiczno-inżynierskich doliny Sierpienicy na potrzeby planowania przestrzennego. Analizie poddano wyniki badań sondą dynamiczną lekką (DPL) oraz dane z wierceń i badań laboratoryjnych.

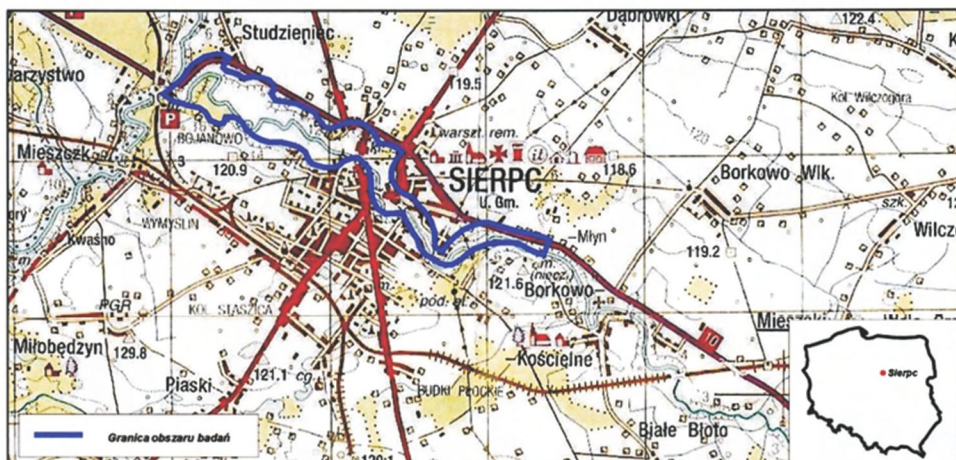
1. Charakterystyka obszaru badań

Środowisko powstawania osadów aluwialnych charakteryzuje się zmienną dynamiką, wynikającą ze zmian prędkości przepływu wody w rzece. Rozkład i zróżnicowanie prędkości prądów na danym odcinku rzeki w warunkach aktualnie istniejącego przepływu powoduje, że w tym samym czasie i w bezpośrednim sąsiedztwie zachodzić może w jednym miejscu depozycja, a w drugim erozja [1]. W tak dynamicznym środowisku powstają różnorodne formy akumulacyjne (odsypy, łachy) naprzemiennie warstwowane materiałem o różnej frakcji.

W badaniach z zastosowaniem sondowań dynamicznych zmienność zagęszczenia w profilach aluwii, wynikająca ze zmian uziarnienia, zaznacza się już na niewielkich odległościach (nawet 1 m) pomiędzy punktami badawczymi, a strefy występowania piasków w stanie luźnym obserwuje się na głębokości nawet kilkunastu metrów [2]. Ma to związek z występowaniem w bezpośrednim sąsiedztwie osadów powstałych w różnych cyklach sedymentacyjnych lub w odmiennych warunkach hydrodynamicznych.

Analizowany obszar zlokalizowany jest na obszarze gmin Sierpc i Studzieniec w powiecie sierpeckim, w województwie mazowieckim (dawniej województwie płockim). Lokalizację analizowanego obszaru przedstawiono na rysunku 1.

* mgr – Zakład Geotechniki i Fundamentowania ITB



Rys. 1. Lokalizacja analizowanego obszaru (skala 1 : 25 000)
 Fig. 1. Location of analyzed area (1 : 25 000)

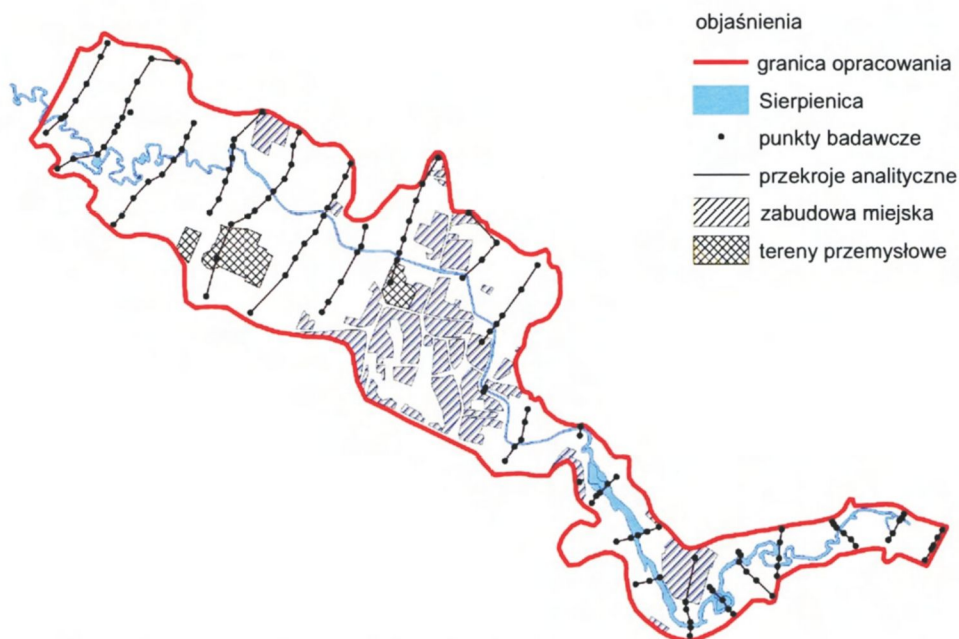
Analizowany obszar ma długość około 5 km i położony jest wzdłuż Sierpicy, niedaleko jej ujścia do Skrwy. Szerokość badanego obszaru zależy od szerokości doliny. Obszar doliny jest najwęższy na odcinku południowo-wschodnim (maksymalnie 100 m szerokości) i rozszerza się w kierunku północno-zachodnim, dochodząc w mieście maksymalnie do 700 m szerokości. Za miastem w kierunku ujścia do Skrwy szerokość doliny sięga 500 m.

W dolinie Sierpicy występują na zmianę szare i szaro-żółte piaski rzeczne drobne, średnie i grube oraz piaski gliniaste. Lokalnie spotyka się warstwy pyłów i glin pylastych (madów) o niewielkim zasięgu poziomym i miąższości [3].

W bezodpływowych zagłębieniach i w rejonie starorzeczy występują grunty organiczne (torfy, namuły), głównie w stropowej partii osadów rzecznych. Ich miąższość wynosi od 0,5 m do około 3 m. Lokalnie stanowią one przewarstwienia w osadach akumulacji rzecznej w miejscach dawnego położenia koryta.

Badania na omawianym obszarze były wykonywane na potrzeby studium kierunków zagospodarowania przestrzennego doliny Sierpicy na zlecenie Urzędu Miasta Sierpc. Rozstaw badań został zaplanowany tak, aby scharakteryzować osady występujące w dolinie rzeki pod względem geologiczno-inżynierskim. Wykonano w sumie 142 otwory badawcze o głębokości od 3 do 6 m, wraz z poborem próbek do badań laboratoryjnych oraz 48 sondowań dynamicznych. Punkty badawcze rozmieszczono w 23 przekrojach prostopadłych do doliny, zlokalizowanych w miejscach charakterystycznych, średnio co 100 m. W każdym przekroju poprzecznym wykonano od 5 do 10 punktów badawczych, w zależności od szerokości doliny. Rozstaw był w trakcie prac zagęszczany w zależności od złożoności budowy geologicznej. Rozkład punktów badawczych przedstawiono na rysunku 2.

Uzyskane w trakcie realizacji tematu wyniki badań stanowią przydatny zbiór danych, gdyż opracowania geologiczno-inżynierskie na potrzeby planistyczne wykonywane są niezmiernie rzadko – jedynie w przypadku powodzi, osuwisk, szkód górniczych, a także w celu dokumentowania kopalni [4]. Rzadko analiza warunków geologiczno-inżynierskich jest tak szczegółowo przeprowadzona w obrębie jednej jednostki geologicznej (dolina rzeczna). Zebrane w taki sposób dane podłoża poddano analizie statystycznej celem scharakteryzowania zmienności profili aluwiów.

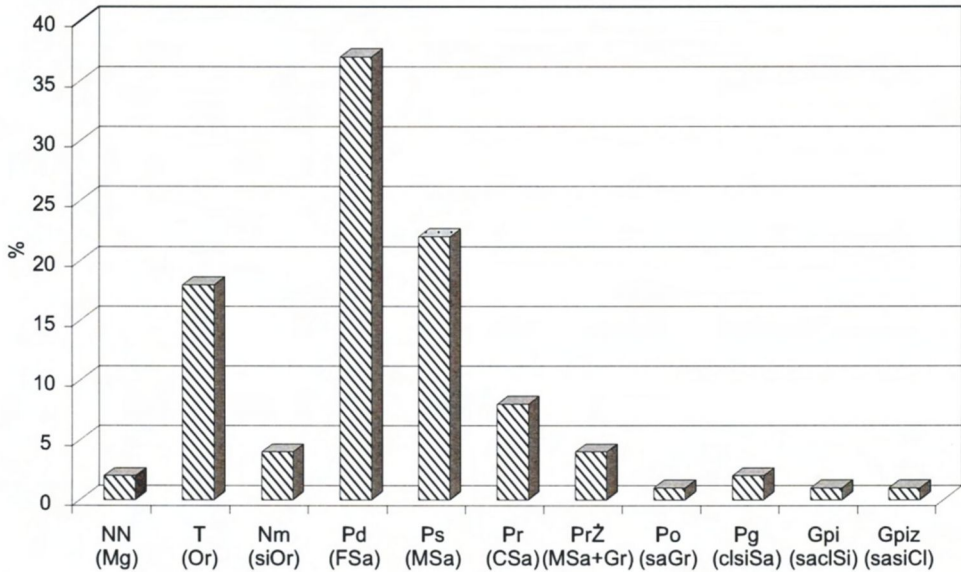


Rys. 2. Rozmieszczenie punktów badawczych w dolinie Sierpienicy
 Fig. 2. Test points distribution in Sierpienica Valley

2. Charakterystyka wykształcenia litologicznego i wybranych cech fizycznych gruntów

W obrębie doliny do głębokości 4 m p.p.t. stwierdzono występowanie 11 rodzajów gruntów, które można zaklasyfikować do czterech serii gruntów: gruntów antropogenicznych, organicznych, niespoistych i spoistych. Udział poszczególnych rodzajów gruntów w dolinie Sierpienicy przedstawiono na rysunku 3.

W profilach dominują utwory niespoiste (72%) i to one zostały scharakteryzowane pod kątem zmienności cech fizycznych. Najlicniejszą grupą litologiczną są piaski drobne (37%). Udział poszczególnych rodzajów piasków w przypadku Sierpienicy maleje wraz ze wzrostem frakcji: najmniejszy odsetek stanowią piaski grube. Łącznie piaski drobne, średnie i grube stanowią około 66% osadów w badanych profilach. Grunty organiczne stanowią 22% rozpoznanych gruntów i reprezentowane są głównie przez torfy lub namuły o zawartości części organicznych od 3% do 48%. Utwory tego typu mają ograniczony zasięg i związane są z odcinkami starorzeczy.



Rys. 3. Wykształcenie litologiczne gruntów w dolinie Sierpienicy według PN-B-02480:1986 [5], w nawiasie podano nazwy zgodnie z PN-EN-ISO 14688 [6]
 Fig. 3. Lithology of soils in Sierpienica Valley according to PN-B-02480:1986 [5], in brackets the names according to PN-EN-ISO 14688 are given [6]

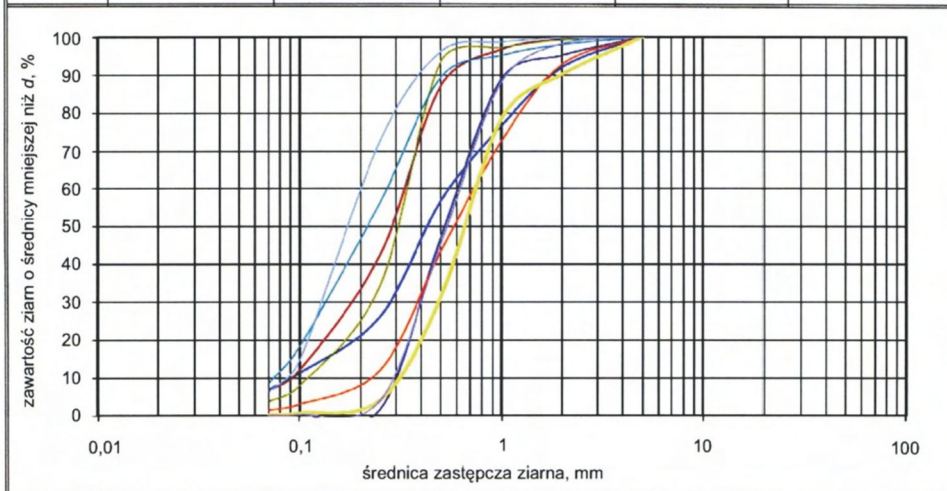
Ze zbioru wyników badań (polowych i laboratoryjnych) uzyskano charakterystykę wybranych cech fizycznych utworów piaszczystych zdeponowanych w dolinie Sierpienicy. Ich zestawienie przedstawiono w tabelicy 1. Cechy fizyczne w analizowanych profilach wykazują dużą zmienność.

Najczęściej stosowaną miarą zmienności danej cechy jest współczynnik zmienności V , będący stosunkiem wartości odchylenia standardowego σ do średniej arytmetycznej, często wyrażony w procentach. Wartości współczynnika zmienności wybranych cech fizycznych wynoszą od 19,57% dla wskaźnika krzywizny do 77,78% dla wilgotności naturalnej.

Tablica 1. Zestawienie wybranych cech fizycznych gruntów niespoistych wraz z wybranymi krzywymi przesiewu

Table 1. List of chosen physical parameters of non-cohesive soils together with chosen particle size distribution curves

	Liczba uderzeń na 10 cm N_{10} [-]	Stopień zagęszczenia I_D [-]	Wskaźnik różnorodności C_U [-] (D_{60} / D_{10})	Wskaźnik krzywizny C_C [-] ($D_{30}^2 / D_{60}D_{10}$)	Wilgotność naturalna W_N [%]
N	1169	1169	26,0	26,0	26,0
min.	1	0,07	2,10	0,60	2,0
maks.	70	0,86	6,30	1,50	28,0
średnia	12	0,47	2,85	0,92	13,5
σ	8	0,17	0,92	0,18	10,5
V	70,92	36,17	32,28	19,57	77,78



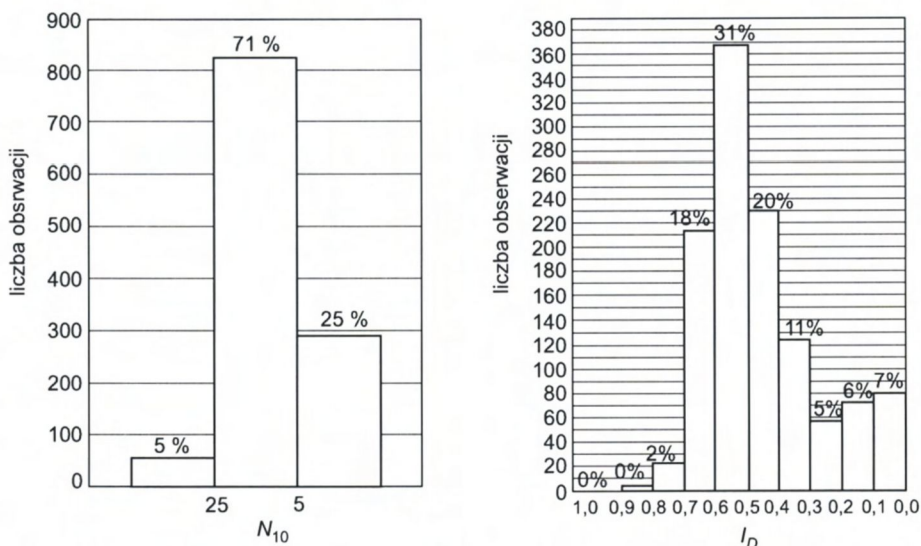
3. Charakterystyka zagęszczenia gruntów niespoistych

Do określenia stopnia zagęszczenia gruntów sypkich powszechnie jest stosowana sonda dynamiczna. W zależności od głębokości badania i spodziewanych warunków używa się jednego z 4 rodzajów sond dynamicznych [7]: lekkiej (DPL) o masie młota 10 kg, średniej (DPM) o masie młota 30 kg, ciężkiej (DPH) o masie młota 50 kg oraz bardzo ciężkiej (DPSH) o masie młota 63,5 kg. Parametrem gruntu uzyskiwanym przy zastosowaniu sondowania jest liczba uderzeń młota potrzebna do zagłębienia końcówki sondy na odpowiednią – w zależności od rodzaju sondy – głębokość (10 lub 20 cm).

W przypadku sondy DPL stopień zagęszczenia I_D (wartość wyprowadzona) oblicza się ze wzoru: $I_D = 0,429 \log N_{10} + 0,071$ [7]. Wartość wyprowadzona – według Eurokodu 7 [8] – stanowi podstawę wyboru wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych.

W dolinie Sierpienicy wykonano 48 sondowań dynamicznych sondą DPL i uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Ze zbioru danych wyeliminowano pomiary, które były wykonywane w gruntach innych niż niespoiste oraz wyniki do głębokości 1 m p.p.t., gdyż w przypadku analizowanego obszaru jest to głębokość krytyczna, czyli strefa możliwego wpływu czynników zewnętrznych na wyniki badań (naruszenie struktury gruntów działalnością człowieka, roślin i zwierząt, zanieczyszczenia antropogeniczne itp.).

Ogółem uzyskano 1169 pomiarów N_{10} , jako pomiaru bazowego do anal. Z wykonanych histogramów (rys. 4) wartości N_{10} oraz obliczonych wartości I_D na każde N_{10} (według wzoru z normy [7]) wynika, że piaski w dolinie Sierpienicy są średnio zagęszczone, gdyż 70% wyników pomiarów N_{10} znalazło się w przedziale od 5 do 25 uderzeń, co odpowiada stanowi średniozagęszczonemu. Badane piaski rzeczne charakteryzowały się najczęściej stopniem zagęszczenia w przedziale 0,50–0,60 (rys. 4). Około 25% pomiarów mieściło się w granicach stanu luźnego, a wartości odpowiadające stanowi zagęszczonemu stanowiły jedynie 5%.



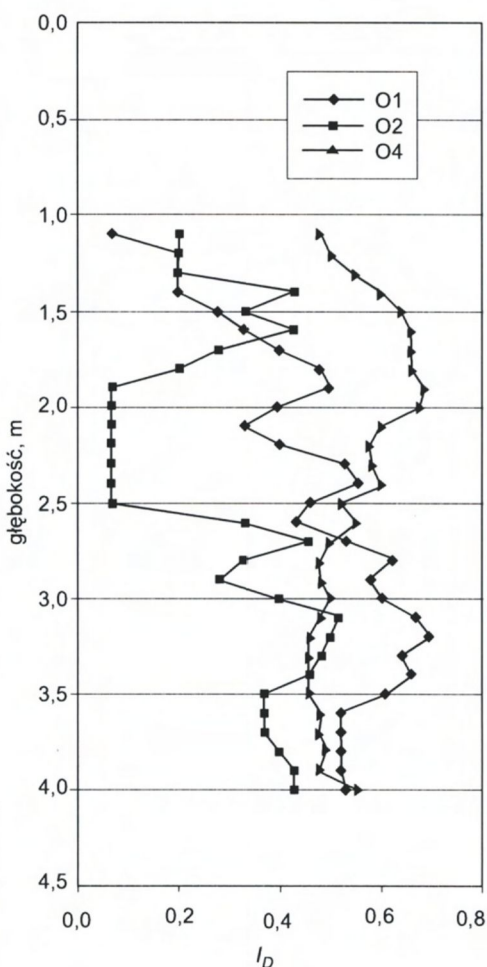
Rys. 4. Histogramy N_{10} i I_D dla analizowanych sondowań
Fig. 4. Histograms of N_{10} and I_D for analyzed soundings

Ze względu na zmienną dynamikę sedymentacji, w przypadku utworów aluwialnych cechą charakterystyczną jest zmienność nie tylko w profilu pionowym, ale również w przekroju. Dlatego też podział utworów aluwialnych na warstwy geologiczno-inżynierskie nie jest zadaniem łatwym. Problem dotyczy głównie minimalnej miąższości warstwy o odmiennym zagęszczeniu. W praktyce sprowadza się to do oceny, jaką miąższość musi mieć warstwa, aby ją wydzielić. Minimalna miąższość wydzielanych warstw powinna być

ściśle uzależniona od charakteru konstrukcji, dla której sporządza się charakterystykę podłoża (jego obciążeń, wrażliwości na różnice osiadań itp.). Zakres badań zgodnie z rozporządzeniem [9] jest uzależniony od zaliczenia obiektu budowlanego do właściwej mu kategorii geotechnicznej. Również Eurokod 7 [10] zaleca przed ustaleniem zakresu badań zakwalifikować wstępnie obiekt do odpowiedniej kategorii geotechnicznej.

Piaski doliny Sierpienicy wykazują duże zróżnicowanie zagęszczenia. Przykładowo zestawiono wyniki uzyskane z sondowań dotyczących jednego przekroju poprzecznego (rys. 5). Można zaobserwować duże różnice wartości zagęszczenia na tej samej głębokości (np. na 1,5 m p.p.t. piaski mają I_D od 0,30 do 0,60). Ponieważ położenie zwierciadła wody gruntowej może wpływać na rejestrowaną liczbę uderzeń sondy [11], należy podkreślić, iż prezentowane na rysunku 5 wyniki sondowań znajdują się poniżej zwierciadła wody, które występuje na głębokości 0,4 m p.p.t.

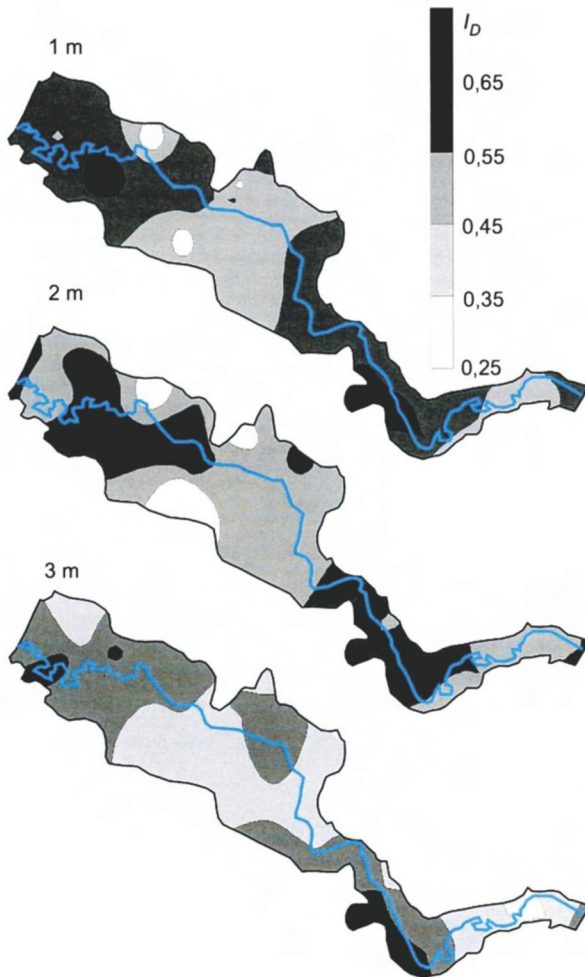
W ramach analizy zmienności zagęszczenia gruntów w dolinie Sierpienicy sporządzono schematyczne mapki ilustrujące zmienność stopnia zagęszczenia w poziomie na głębokościach 1, 2 i 3 m p.p.t (rys. 6). Wartości stopnia zagęszczenia przedstawiono jako wartości średnie dla warstwy znajdującej się poniżej zadanej głębokości. W centralnej części obszaru, na głębokości 3 m p.p.t., zaznacza się strefa występowania piasków słabiej zagęszczonych w stosunku do piasków leżących na głębokości 1 i 2 m. Wpływ rozluźnienia w strefie zwierciadła wody gruntowej można tu pominąć, gdyż zwierciadło na tym obszarze występuje na głębokości mniejszej niż 1 m p.p.t. W aluwjach strefy występowania na różnych głębokościach piasków w stanie luźnym, niezależnie od położenia zwierciadła wód gruntowych są zjawiskiem dość powszechnym.



Rys. 5. Zestawienie wybranych wyników sondowań dynamicznych w dolinie rzeki Sierpienicy

Fig. 5. Comparison of chosen dynamic sounding results in Sierpienica Valley

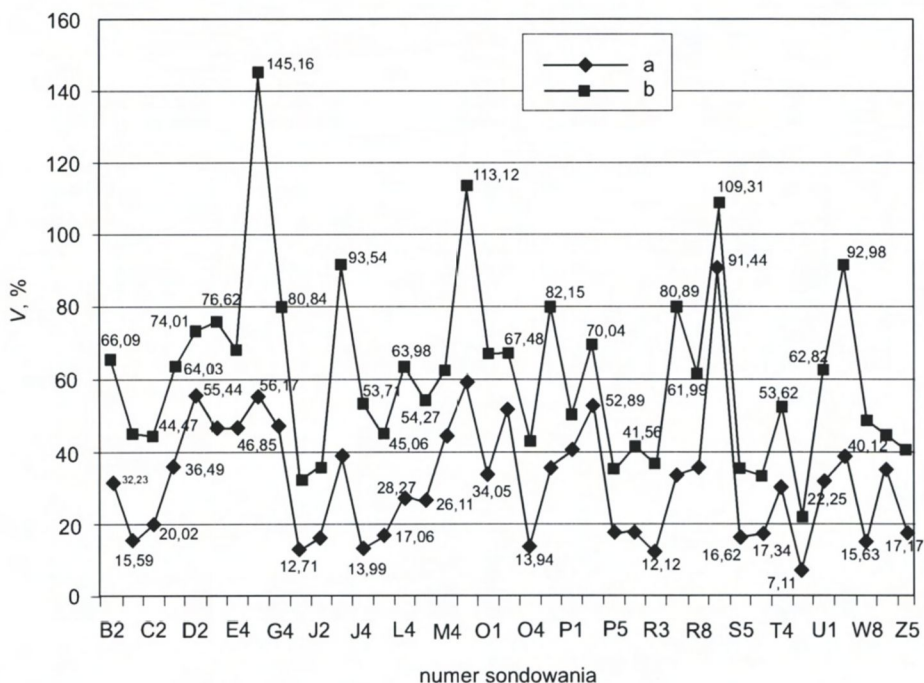
Przedstawiony rozkład zagęszczenia w obrębie doliny rzecznej pokazuje, że zagęszczenie holocenijskich piasków aluwialnych nie zależy od głębokości, tak jak w przypadku utworów piaszczystych na wysoczyźnie, gdzie zagęszczenie najczęściej wzrasta sukcesywnie wraz z głębokością. Utwory te powstają w dynamicznym środowisku i deponowane są w postaci odsypów. Taki charakter depozycji sprawia, że grunty te są warstwowe i nie wykazują ciągłości horizontalnej.



Rys. 6. Zmienność stopnia zagęszczenia w dolinie Sierpienicy na głębokościach 1, 2 i 3 m p.p.t.
 Fig. 6. Variability of density index in Sierpienica Valley at depths of 1, 2 i 3 m below the surface

4. Analiza wyników

Istotnym elementem analizy statystycznej jest obróbka danych uzyskanych bezpośrednio, nie zaś danych wyprowadzonych, których wartości są zależne od zastosowanej metody interpretacji. Rozpatrując zmienność zagęszczenia w aspekcie współczynnika zmienności V okazuje się, że dla analizowanego obszaru, dla wartości N_{10} jest on dwukrotnie większy (71%) niż dla wyprowadzonych wartości I_D (36%). Wynika to z faktu, iż zależność I_D do N_{10} ma charakter funkcji logarytmicznej, czego wynikiem jest „złagodzenie” różnic w liczbie uderzeń (N_{10}). Na rysunku 7 przedstawiono wartości współczynników zmienności dla I_D (a) i N_{10} (b) dotyczących poszczególnych sond w dolinie Sierpienicy.



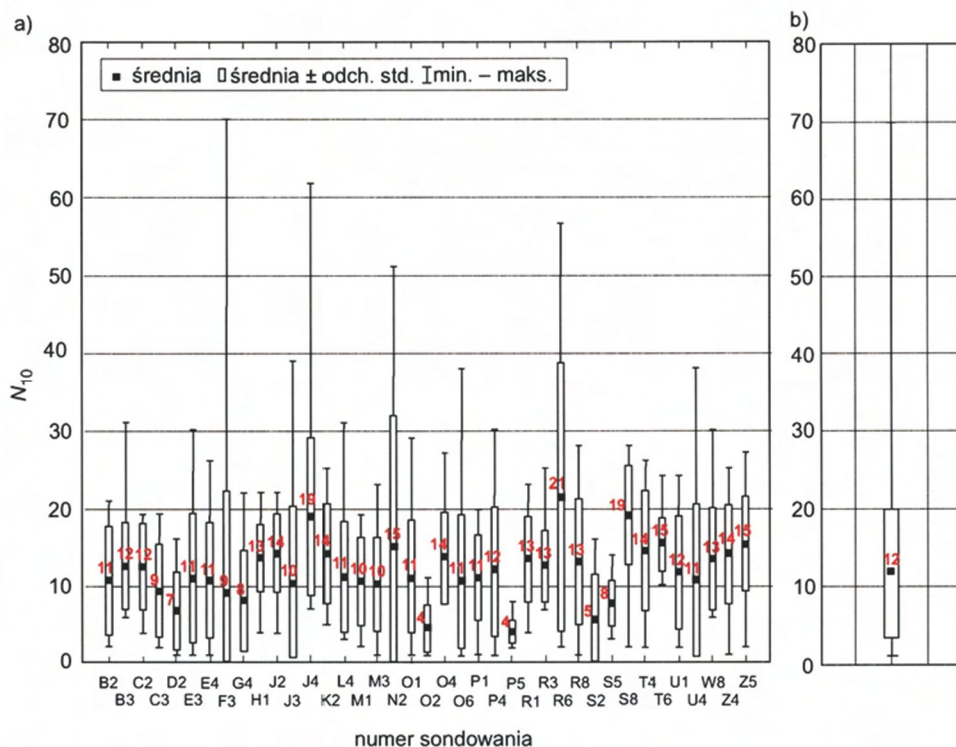
Rys. 7. Różnice w wartościach współczynnika zmienności dotyczące poszczególnych sondowań, obliczone dla I_D , (a) oraz dla N_{10} (b)

Fig. 7. Differences in values of variation coefficient for particular soundings, calculated for I_D , (a) and for N_{10} (b)

Statystyczna ocena zmienności zagęszczenia podłoża przy zastosowaniu sondowań powinna być przeprowadzana na parametrach mierzonych bezpośrednio. Pamiętając, że wartości N_{10} uzyskuje się co 10 cm, a uśrednioną wartość N_{10} podaje się w przypadku warstwy o większej miąższości, należy podkreślić, jak istotne jest przypisanie wydzielonej warstwy takiej wartości, która najlepiej charakteryzuje całą warstwę z uwzględnieniem zmienności w jej obrębie.

Na rysunku 8 przedstawiono zestawienie uzyskanych wyników dotyczących poszczególnych punktów badawczych. Średnia liczba uderzeń na 10 cm dla poszczególnych sond waha się od 4 w przypadku sondy P5 do 21 w przypadku sondy R6, co odpowiada wartościom I_D od 0,33 do 0,64.

Należy dodatkowo zaznaczyć, że w zależności od zastosowanej metody interpretacji wartości parametrów wyprowadzonych mogą się znacząco różnić [12]. Ustalone przez różnych autorów zależności korelacyjne dotyczą określonego gruntu i mogą nie mieć zastosowania w konkretnym, rozpatrywanym przypadku [13].



Rys. 8. Rozkład wartości N_{10} dla poszczególnych profili (a) w zestawieniu z rozkładem dla całego zbioru danych (b)

Fig. 8. Distribution of N_{10} values for particular profiles (a) together with the distribution in the whole set of data (b)

5. Podsumowanie

Zaprezentowana próba scharakteryzowania zmienności podstawowej cechy niespoistych gruntów aluwialnych, jaką jest stopień zagęszczenia, pokazuje, iż grunty aluwialne wymagają wnikliwej analizy pod kątem wykształcenia i cech fizycznych, gdyż charakteryzuje je duża zmienność. Należy zwrócić uwagę, że piaski rzeczne, zwłaszcza

holocenijskie, mogą osiadać pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak drgania lub wahania poziomu wód gruntowych. Dlatego też dobór parametru charakterystycznego oraz określenie minimalnej miąższości wydzielenia warstw w utworach aluwialnych nie jest łatwe i wymaga uwzględnienia nie tylko zmienności w ich obrębie, lecz również rodzaju i charakteru projektowanej na aluwiach konstrukcji.

Bibliografia

- [1] Gradziński R.: Sedymentologia. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1976
- [2] Bażyński J., Frankowski Z.: Natural compaction of sands as a function of their genesis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 32, Paris 1985
- [3] Wysokiński i in.: Dokumentacja geologiczno-inżynierska w ramach opracowania studium zagospodarowania doliny rzeki Sierpienicy w okolicach Sierpca. 2005, Archiwum ITB, Warszawa
- [4] Rokita M.: Przykład oceny warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb szczegółowych planów zagospodarowania (dolina rzeki Sierpienicy); w: Materiały konferencyjne UAM „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce”, 2007
- [5] PN-B-02480:1986 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów
- [6] PN-EN ISO 14688-2 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania
- [7] PN-B-04452:2002 Grunty budowlane. Badania polowe
- [8] PN-EN 1997-2 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawienia obiektów budowlanych, Dz. U. 1998, nr 126, poz. 839
- [10] PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
- [11] Frankowski Z.: Interpretacja wyników sondowań dynamicznych i badań presjometrycznych. Nowoczesne metody badań gruntów. Sympozjum ITB, 2003, Warszawa
- [12] Milancej P.: Charakterystyka sond dynamicznych i metod interpretacji sondowań stosowanych w Polsce. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 6, 1997
- [13] Wysokiński i in.: Dokładność dokumentowania geotechnicznego; w: Materiały konferencyjne UAM „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce”, 2007

VARIABILITY OF DENSITY INDEX IN ALLUVIAL PROFILES OF SIERPIENICA VALLEY

Summary

The article contains the analysis of variability of density index in alluvial profiles of Sierpienica Valley (Poland). For this purpose the set of data obtained during geological and engineering characteristics of Sierpienica Valley for spatial management has been used. The analysis comprises the set of results obtained by means of DPL (light dynamic probe) as well as data from boreholes and laboratory tests.

Praca wpłynęła do Redakcji 13 IX 2010 r.