

Robert Radaszewski, Jędrzej Wierzbicki

Charakterystyka zagęszczenia piasków eolicznych i bezpośredniego podłoża wydym na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego (MWN)

Description of the density of aeolian sands and direct
background of dunes in the Warta–Noteć interfluve area
(MWN)

Streszczenie: W obszarze zainteresowań geologii inżynierskiej stopień zagęszczenia gruntu (I_D) znalazł szerokie zastosowanie jako jeden z ważniejszych parametrów fizycznych gruntów niespoistych. Zupełnie inaczej przedstawia się znaczenie zagęszczenia osadów w naukach ogólnogeologicznych – np. w sedymentologii, gdzie ta cecha teksturalna jest często pomijana. W artykule wskazano, wstępnie zaobserwowane, możliwości wykorzystania zagęszczenia osadów przy interpretacjach geologicznych: genezy osadu, zmian czynników zewnętrznych panujących w czasie i po jego depozycji. Ponadto scharakteryzowano zmienność stopnia zagęszczenia w obszarze pola wydymowego na międzyrzeczu Warty i Noteci określonego metodą sondowań statycznych CPT. Jednocześnie sygnalizuje się w pracy konieczność dalszego udoskonalania metod interpretacyjnych tych sondowań.

Słowa kluczowe: stopień zagęszczenia gruntu (I_D), sondowania statyczne (CPT), sondowania dynamiczne (DPL), piaski eoliczne, piaski pradolinne – rzeczno-peryglacjalne, paleogeografia

Abstract: Density ratio is one of the fundamental parameters describing non-cohesive soils which is used in engineering geology. In another branches of geology, as sedimentology, this textural feature is often omitted. In the paper the possibility of use the density ratio of sand, for the purpose of interpretation of genesis and influence of post sedimentation processes on aeolian and fluvial sands has been dis-

Robert Radaszewski, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Geologii, Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód, ul. Maków Polnych 16, 61–606 Poznań, e-mail: micho@amu.edu.pl

Jędrzej Wierzbicki, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Katedra Geotechniki, ul. Piątkowska 94, 61–691 Poznań, e-mail: jw@au.poznan.pl

cussed. Investigations were focused on the area of the Warta–Noteć interfluvial area and were carried out, among others, using in-situ tests: Cone Penetration Test (CPT) and Dynamic Penetration Light (DPL) tests.

Key words: density ratio, aeolian sands, fluvioglacial sands, Cone Penetration Test (CPT), Dynamic Penetration Light tests (DPL)

Wprowadzenie

Przesłanką do podjęcia tematyki zagęszczenia osadów stały się badania wydm i ich bezpośredniego podłoża na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego (MWN). Pojawiające się w trakcie tych badań kłopoty związane z jednoznaczną interpretacją eoliczną bądź rzeczno-peryglacjalną (pradolinną) genezy osadów, wynikające z niemal identycznych cech litologicznych obu typów osadów, w połączeniu z brakiem możliwości obserwacji struktur depozycyjnych, zmusiły do szukania innych niż ogólnie przyjęte w podręcznikach sedimentologii sposobów odróżniania ww. osadów. Podjęto wówczas badania stopnia zagęszczenia [I_D].

Zagęszczenie osadów jest od strony teoretycznej dobrze rozpoznaną ich cechą teksturalną. Pojęcie to funkcjonuje od dziesiątków lat w literaturze: sedimentologicznej (jako upakowanie ziaren), hydrogeologicznej (pod hasłem porowatości osadów) czy wreszcie w geologii inżynierskiej, jako jedna z najważniejszych cech fizycznych gruntów niespoistych (sypkich). Miarami (parametrami) zagęszczenia w wymienionych dziedzinach nauk geologicznych są: bliskość i częstość upakowania (Kahn, 1956; za: Gradziński i in., 1986), porowatość i wskaźnik porowatości (Pazdro, Kozerski, 1990), stopień zagęszczenia (PN-86/B-02480). W geologii inżynierskiej i geotechnice stopień zagęszczenia gruntu [I_D] jest jednym z tzw. parametrów wiodących, na podstawie którego szacowane są (w „metodzie B” ustalania parametrów geotechnicznych) pozostałe podstawowe wielkości, takie jak: kąt tarcia wewnętrznego, moduł ściśliwości itp. Odniesienia do I_D znajdujemy głównie w opracowaniach branżowych (PN-81/B-03020, PN-88/B-, PN-86/B-02480, PN-2002/B-04452 itd.), podręcznikach i skryptach z zakresu geologii inżynierskiej i geotechniki (Wilun, 1976; Myślińska, 1992; Pisarczyk, 2001), pojedynczych artykułach naukowych i abstraktach (Stochlak, 1965; Frankowski, 2003; Radaszewski, 2003b). O ile podstawy teorii zagęszczenia osadów/gruntów nie ulegają istotnym modyfikacjom, o tyle metody wyznaczania parametrów zagęszczenia zmieniły się znacząco na przestrzeni lat. Trend zmian w tym zakresie prowadzi do określania parametrów zagęszczenia bezpośrednio w terenie, a w literaturze najwięcej uwagi poświęca się obecnie rozwojowi technik sondowań statycznych (Lunne i in., 1997; Tschuschke, Wierzbicki, 1998; Młynarek, 2004). Do oceny stopnia zagęszczenia gruntów wykorzystuje się dynamiczne i statyczne sondowania gruntów. Badania te polegają na pionowym wprowadzaniu w grunt zakończonej stożkowo końcówki pomiarowej. Prędkość penetracji podłoża jest w przypadku sondowań statycznych stała i wynosi 2 cm/s, natomiast w przypadku sondowań dynamicznych prędkość ta jest zmienna i stanowi w pewnym sensie cechę diagnostyczną stopnia zagęszczenia (PN-2002/B-04452). Podstawowymi parametrami mierzonymi w tych bada-

niach są odpowiednio: opór stożka – $[q_c]$, tarcie na poboczniczy – $[f_s]$ i wartość wzbudzonego ciśnienia porowego – $[u_c]$ oraz liczba uderzeń ubijaka sondy $[N_{10}]$ potrzebna do jej wprędu na każde 10 cm głębokości. Badania in-situ pozwalają, szczególnie w odniesieniu do gruntów o słabych, mechanicznych wiązaniach strukturalnych, uniknąć kłopotliwego pobierania próbek o nienaruszonej strukturze (NNS) w celu uzyskiwania wiarygodnego, reprezentatywnego materiału do badań laboratoryjnych.

Charakterystyka obszaru i zakresu badań

Obszar MWN położony jest w widłach rzek Noteci i Warty oraz, umownie, pomiędzy południkiem Santoka (na W) – gdzie obie rzeki łączą się, i południkiem Czarnkowa (na E). Całkowita powierzchnia MWN wynosi ok. 1500 km², przy czym niniejsze opracowanie dotyczy tzw. „zwartego pola wydmowego” (Radaszewski, 2003a) o powierzchni ok. 450 km².

Na terenie analizowanego międzyrzecza rozpościera się jedno z największych w Europie pól wydmy śródlądowych. Pole to budują wydmy o zmiennej wysokości, w zakresie od kilku do ponad 35 m, które tworzyły się na tym obszarze od schyłku plejstocenu aż do środkowego atlantyku. Przykrywały rozległe terasy Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej, wkraczając na nie od strony zachodniej, tj. Kotliny Gorzowskiej (Pilarczyk, 1972; Radaszewski, 2003a).

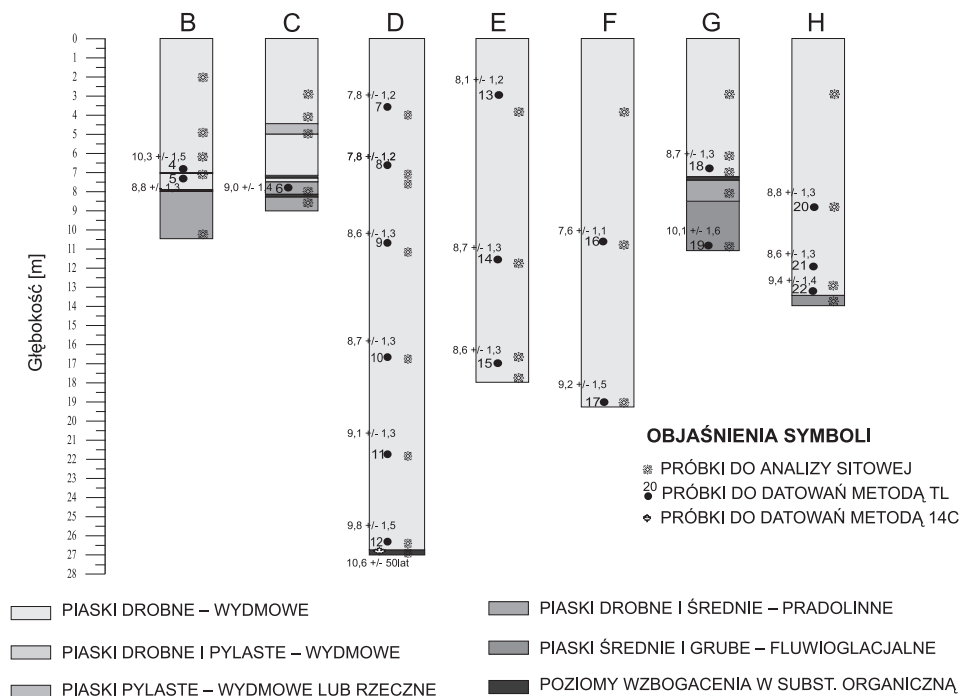
W podziale Polski na jednostki geologiczne alpejskiego piętra stratygraficzno-strukturalnego obszar MWN usytuowany jest na granicy dwóch jednostek: niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa (Marek, Pajchłowa, 1997). Leży w całości w zasięgu zlodowacenia północnopolskiego, ściślej na zapleczu tzw. moren fazy poznańskiej, a na przedpolu moren czołowych fazy pomorskiej stadiału głównego ostatniego zlodowacenia. W stosunku do pasma moren czołowych fazy pomorskiej usytuowany jest na ich przedpolu i należał do strefy oddziaływań zjawisk peryglacialnych.

Przedstawiane badania punktowo objęły zwarte pole wydmy i koncentrowały się na charakterystyce teksturalnej osadów leżących od powierzchni terenu aż do granicy pomiędzy późnowistuliańsko-wczesnoholoceniowymi osadami eolicznymi i podścielającymi je plejstoceniowymi osadami rzeczno-peryglacialnymi bądź fluwioglacialnymi. Prace terenowe objęły wiercenia pełno-rdzeniowe wraz z poborem prób (NNS) próbnikiem typu MOSTAP oraz wykonywane w bezpośrednim sąsiedztwie tych robót sondowania statyczne CPT. Łącznie uzyskano do badań i analiz ok. 70 mb rdzeni i 120 mb sondowań. Badania laboratoryjne objęły pełną charakterystykę teksturalną wraz z analizą wieku badanych osadów: mineralnych – metodą termoluminescencji (TL) oraz organicznych – metodą radiowęglową ¹⁴C. W artykule dokonano wstępnej analizy zagęszczenia osadów wydmy i miejscami podłoża wydmy w 7 punktach MWN oddalonych od siebie skrajnie o ponad 55 km (ryc. 1).

Charakterystyka lito-genetyczna analizowanych osadów MWN

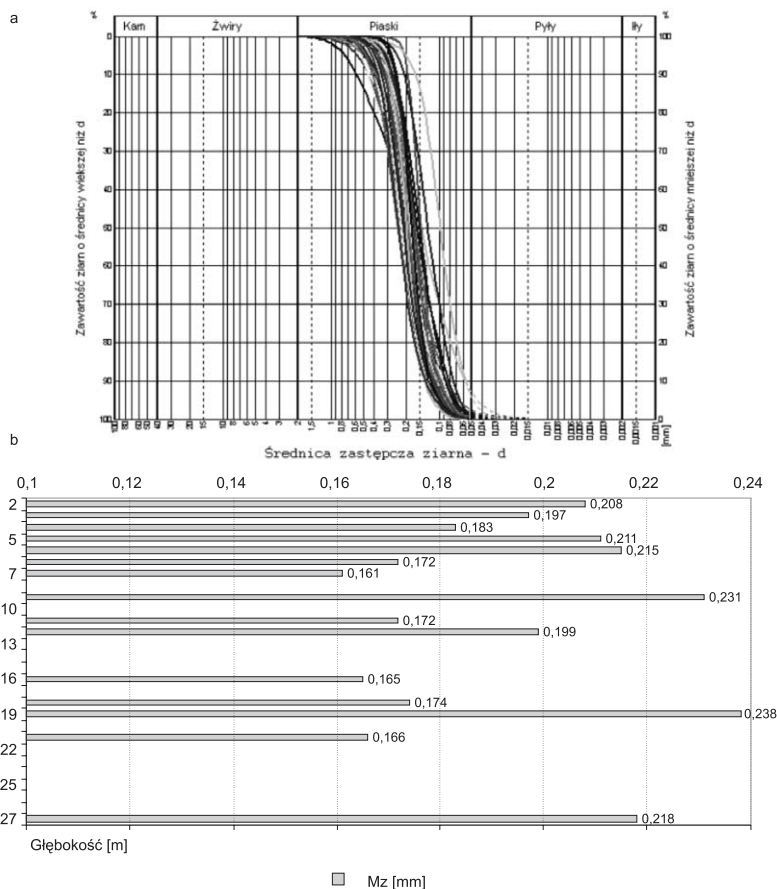
Materiał do badań laboratoryjnych pochodził z 7 odwiertów wykonanych w szczytowych partiach wybranych wydmy MWN. Taka lokalizacja miała na celu wykluczenie potencjalnych zmian zagęszczenia wywołanych położeniem na dowietrznym bądź zawietrznym stoku wydmy, na co zwracał uwagę m.in. Borówka (1980). Na rycinie 2 zestawiono profile tych wierceń wraz z danymi o miejscu poboru próbek do badań: uziarnienia, obtoczenia i kulistości oraz wynikami przeprowadzonych datowań (TL, ¹⁴C).

Uziarnienie piasków wydmych nie wykazuje istotnej zmienności zarówno w obrazie ogólnym (ryc. 3a), jak i w funkcji głębokości w profilach wydmy (ryc. 3b). Stromo nachylone dystrybuanty uziarnienia badanych osadów leżą blisko siebie, dając zmienność średnicy d_{50} w zakresie zaledwie 0,25 do 0,1 mm, co klasyfikuje badane osady, wg PN-86/B-02480, do grupy piasków drobnych. Maksymalne rozmiary ziaren rzadko i o nieznacznie przekraczają wartość 1 mm.



Ryc. 2. Profile badanych wydmy MWN z lokalizacją opróbowania oraz wiekiem osadów (w tys. lat BP)

Fig. 2. Profiles of the investigated dunes of MWN with locations of gathered samples and age analysis (in thousands of years BP)

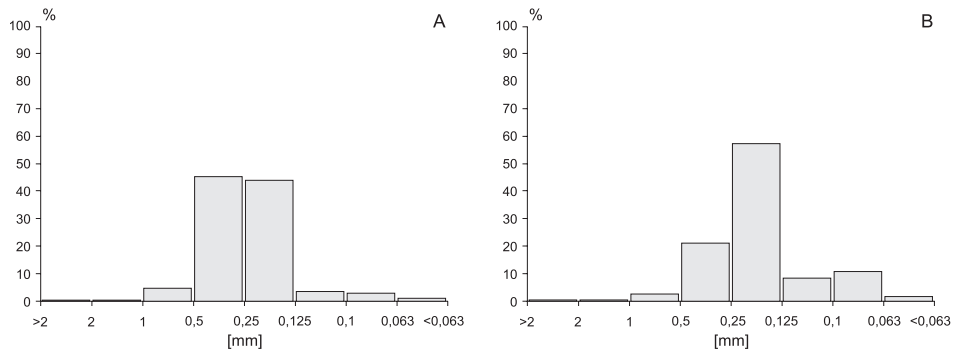


Ryc. 3. Uziarnienie piasków wydmowych MWN (populacja 29 próbek): a) – obraz ogólny; b) zmienność średniej średnicy ziaren w funkcji głębokości

Fig. 3. Grain size distribution of aeolian sands of MWN (29 samples): a) – general view of sieve curves; b) changes of the average grain diameter along the vertical profile

Z ryciny 3a wynika, że uziarnienie piasków eolicznych w wydmach (zbadane dla 29 próbek) jest jednorodne dla całej badanej populacji. Z zebranych danych, z różnych wydm i głębokości, sporządzono ponadto wykres obrazujący zgeneralizowaną zmienność uziarnienia wraz z głębokością (ryc. 3b). Z racji niewielkiej liczby próbek, rozmieszczonych nieregularnie i stosunkowo rzadko w profilach, jest to pewne uproszczenie obrazu uziarnienia. Niemniej jednak, jeżeli przyjąć ten obraz za wiarygodny, obserwujemy zmiany średniej średnicy ziaren w wąskim przedziale: 0,16–0,24 mm.

Podsumowując powyższe wyniki, należy zauważyć, że piaski eoliczne MWN cechuje wręcz nieprawdopodobna jednorodność uziarnienia stwierdzana zarówno lateralnie, jak i w profilach pionowych. Jej przyczyn można upatrywać głównie w uziarnieniu osadów źródłowych dla wydm. Są nimi osady piaszczyste o genezie flu-



Ryc. 4. Uśrednione histogramy uziarnienia piasków: a) rzeczno-peryglacialnych – przy liczebności próbek $N=35$; b) wydmych – przy liczebności próbek $N=29$

Fig. 4. Averaged histograms of grain size distribution of sands: a) fluvio-peryglacial; b) aeolian

wioglacialnej (w N i NE części MWN) i rzeczno-peryglacialnej-pradoliny w obrębie analizowanego tutaj zwartego pola wydmy. Litologia tych utworów, szczególnie w ich stropowych partiach, na rozległych powierzchniach obszaru badań jest zbliżona do analizowanych piasków wydmych (ryc. 4). Osady podłoża można bowiem klasyfikować, w ich stropowej strefie (ok. 1–3 m) jako piaski drobne do średnich (Radaszewski, 2003a).

Warto podkreślić, zwłaszcza w aspekcie analizy zagęszczenia, odmienną uziarnienia piasków badanego pola wydmy od innych obszarów wydmy śródlądowych w Polsce. Na ogół bowiem uziarnienie piasków eolicznych w wydmych śródlądowych Polski pozwala klasyfikować je jako piaski średnioziarniste (Krygowski, 1958; Nowaczyk, 1986).

Analizy obtoczenia i kulistości ziaren wskazują, podobnie jak uziarnienie, na bardzo dużą jednorodność zarówno w piaskach eolicznych, jak i piaskach podłoża. Można stwierdzić, że ziarna badanych osadów są średnio i dobrze obtoczone (w odniesieniu do standardowo określonej średnicy: 0,5–1 mm), a ich kulistość mieści się w przedziale – średnia do wysokiej. Celowo zaznaczono w tym miejscu przedział frakcji, dla którego badano powyższe cechy, gdyż we frakcji dominującej, tj. 0,16–0,24 są one znacząco różne, słabiej wykształcone.

Stopień zagęszczenia (I_D) piasków eolicznych i bezpośredniego podłoża wydmy na obszarze MWN

Wymieniana we wprowadzeniu literatura wskazuje, że temat zagęszczenia osadów w ogólności nie jest tematem nowym. Odnosi się on jednak raczej do nauk technicznych i wykorzystywany jest niemal wyłącznie na użytek budownictwa, drogownictwa i innych pokrewnych im dziedzin. Nie obserwuje się szerszych prób przeniesienia metod badawczych uznawanych za kanon badań w geologii inżynierskiej czy geotechnice do nauk ogólnogeologicznych, przyrodniczych.

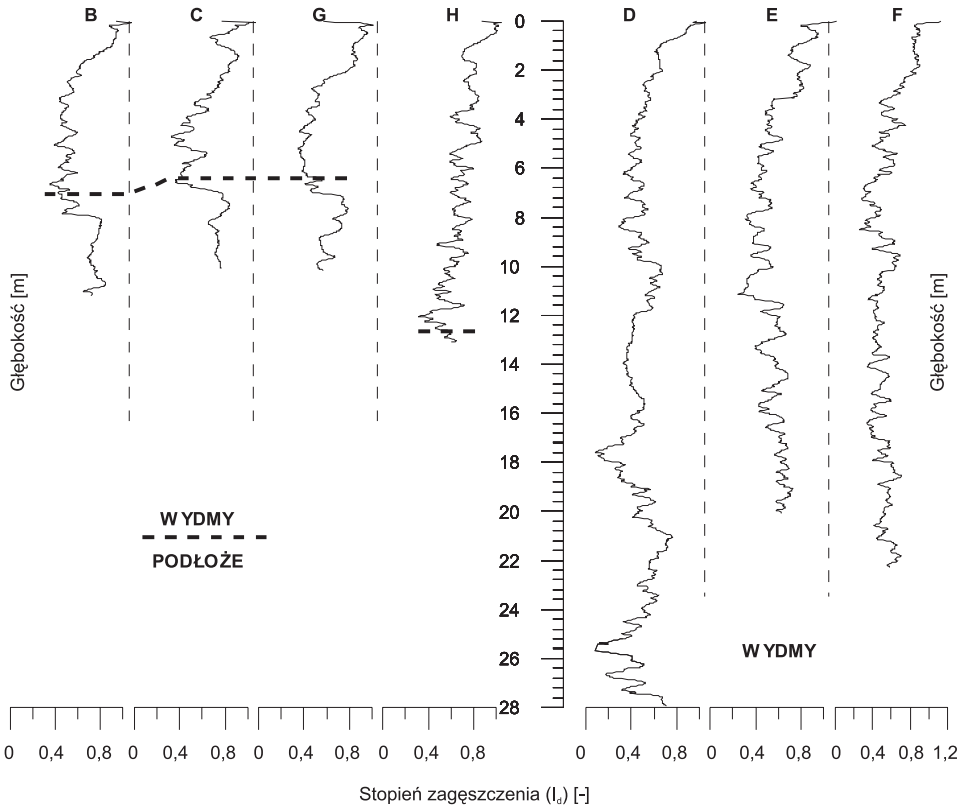
Stopień zagęszczenia gruntu (I_D) jest parametrem zależnym zarówno od właściwości samych osadów, jak i od czynników zewnętrznych oddziałujących na osady w czasie i po ich depozycji. Stąd też zdecydowano się objąć badaniami zasadniczo jeden typ litologiczny (osady eoliczne), o charakterystyce teksturalnej podanej powyżej. Pozwoliło to przyjąć cechy litologiczno-teksturalne jako wielkości stałe, przez co przyjęto założenie, że stwierdzana zmienność I_D może być efektem procesów zewnętrznych działających na osad od chwili rozpoczęcia jego transportu poprzez depozycję i okres zmian postdepozycyjnych, aż do czasów współczesnych.

Obraz zmian stopnia zagęszczenia [I_D] badanych osadów uzyskany z sondowań CPT na podstawie wzoru [1], wg Tschuschkego, Wierzbickiego (1998), przedstawiono na rycinie 5.

$$I_D = -0,75 + 0,55 \log q_c - 0,63 \log \sqrt{\sigma_{v0}} \quad [1]$$

gdzie: q_c – opór stożka; σ_{v0} – składowa pionowa naprężenia geostatycznego.

Jak wynika z ryciny 5, badania przyniosły dość zaskakujące efekty, ponieważ poza stwierdzanymi wyraźnymi różnicami pomiędzy zagęszczeniem osadów



Ryc. 5. Charakterystyka zmienności zagęszczenia gruntów w wybranych miejscach MWN
Fig. 5. Characteristic of density changes along the profiles at the chosen test sites of MWN

eolicznych i rzeczno-peryglacialnych (czego się spodziewano), zaobserwowano, że wartości stopnia zagęszczenia są niezwykle wysokie, a ponadto zmieniają się cyklicznie w profilu pionowym, obrazując strefy dogęszczeń i rozluźnień badanych osadów. Sondowania CPT z 4 miejsc MWN (wydmy: B, C, G, H) dostarczyły danych o zagęszczeniu piasków rzeczno-peryglacialnych podścielających osady eoliczne. Przy niemal identycznych z wydmowymi ich cechach teksturalnych, wszędzie rejestrowano znaczący wzrost zagęszczenia. Stąd warty podkreślenia jest nowy, poruszany w artykule, aspekt wykorzystania cechy zagęszczenia osadu do wnioskowania o jego genezie. Ponadto w odniesieniu już wyłącznie do osadów eolicznych cykliczne zmiany zagęszczenia zapewne kryją w sobie informacje o zmianach warunków ich depozycji oraz zapisie przemian, jakie zachodziły w osadzie w tzw. okresie postdepozycyjnym, np.: oddziaływanie klimatu peryglacialnego na osad czy zmiany warunków wodnych. Warto w tym miejscu podkreślić, że w związku z pojawianiem się wciąż nowych wyników badań paleogeograficznych/paleoklimatycznych (Koster, 1995; Isarin 1997; Renssen, Isarin, 2001) będą istniały możliwości coraz precyzyjniejszych prób korelacji wartości stopnia zagęszczenia z warunkami środowiskowymi panującymi na rozmaitych obszarach w czasie i po depozycji osadów, a odrębnym zagadnieniem stanie się ustalenie ewentualnych przyczyn, które mogłyby różnicować upakowanie osadów.

Wstępna interpretacja wyników badań – problemy i sugestie

Przedstawiana poniżej interpretacja wyników stopnia zagęszczenia osadów wydmy i podłoża podwydmowego ma charakter wstępny i wymaga dalszych badań i analiz, które są prowadzone na obszarze MWN, z myślą o ich rozszerzeniu na obszar Puszczy Kampinoskiej oraz współcześnie aktywnych wydmy ruchomych Słowińskiego Parku Narodowego.

Interpretację wykresów $I_D = f(z)$ rozpoczęto od likwidacji zaburzeń wartości stopnia zagęszczenia w strefie przypowierzchniowej wydmy do ok. 1,5–2 m p.p.t., wynikających m.in. z niedoskonałości przyjętych formuł obliczeniowych. Określono, przy założeniu „literaturowych” wartości wskaźnika porowatości dla osadów eolicznych ($e = 0,59–0,69$), przeciętne, teoretycznie dopuszczalne wartości I_D w przedziale 0,3–0,7. Wszystkie wartości wykraczające poza ten przedział potraktowano jako „anormalne”. Z obrazu na ryc. 5 wynika, że są one rozmieszczone w badanych profilach losowo. Powyższy fakt można próbować wyjaśniać poprzez: ogólny wzrost wilgotności klimatu (w tym także samego osadu) oraz zmiany tempa depozycji. Niestety zbyt mała liczba oznaczeń wieku (TL) osadów eolicznych oraz głównie ich zbyt rzadkie rozmieszczenie uniemożliwiają jednoznaczne udokumentowanie ostatniego z wymienianych czynników. Niemniej jednak, np. w profilu wydmy D, gdzie dysponujemy największą liczbą oznaczeń wieku, stwierdzono, że istnieje pewna korelacja pomiędzy czasem trwania depozycji a średnią wartością I_D . Jednakże oznaczenia wieku dla próbek oddalonych od siebie w profilu ok. 3–5 m, w

połączeniu z dokładnością oznaczeń TL (błąd pomiaru $\pm 1,2$ tys. lat!) nie upoważniają, jak na razie, do dalej idących wniosków. Ekstremalnie niskie wartości I_D wiązać należy m.in. z wyraźnymi zmianami litologii, tj. pojawieniem się poziomów humusowych w profilach wydm – np. wydmy: C i D, czy większą zawartością frakcji pyłowej – np. wydma C (ryc. 2, 5, 6 i 7). Z kolei ekstremalnie wysokie wartości I_D , szczególnie te usytuowane w dolnych partiach profili, można tłumaczyć np. okresowym zawodnieniem, bądź kapilarnym przesyleniem osadu, co jest jednym z najczęstszych mechanizmów nagłego wzrostu wartości stopnia zagęszczenia osadów piaszczystych. W związku z powyższym warto wspomnieć, że określona w aparacie Proctora wilgotność optymalna ($w_{opt.}$) badanych piasków eolicznych mieści się w przedziale 13–16% podczas gdy ich współcześnie stwierdzana wilgotność kształtuje się w okolicach 2–3% (wszystkie próbki znajdują się w strefie aeracji). Strefy dogęszczeń zlokalizowane w górnych partiach profili można z kolei wiązać z potencjalną możliwością okresowego dogęszczania tych gruntów dodatkowym nadkładem w postaci przemieszczających się okresowo mas piasków eolicznych.

Na szczególną uwagę przy analizie wyników zagęszczenia zasługuje fakt „okresowości” zmian I_D w funkcji głębokości. Najłatwiej wyjaśnić to także okresowymi zmianami wilgotności, okresami wzmożonej i osłabionej działalności eolicznej czy wreszcie erozją bądź reaktywacją akumulacji osadów wydmy. Dla korzeniowych części profili „periodyczne” zmiany stopnia zagęszczenia można próbować wyjaśniać także ewentualnym okresowym przemarzaniem, tj. fazami pojawiania się okresowej zmarzliny. Bowiem wartości I_D większe od 0,7 można w przypadku osadów eolicznych uznawać za dowód ich przekonsolidowania, a głównym czynnikiem tego procesu mogłaby być w takiej sytuacji obecność wieloletniej zmarzliny.

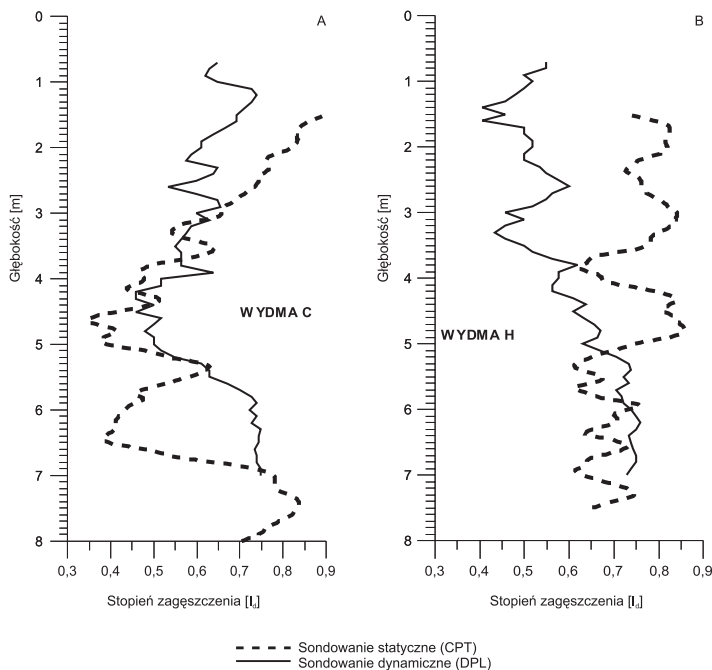
Poza kłopotami z interpretacją wyników zagęszczenia osadów z sondowań CPT pojawia się niezależnie inny problem badawczy, a mianowicie wstępne, porównawcze badania zagęszczenia osadów na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego, wykonane metodami sondowań statycznych (CPT) i dynamicznych (DPL), wykazują dość znaczne zróżnicowanie, co powoduje konieczność skonfrontowania tych wyników i określenia przyczyn takiego stanu. Pomimo różnic metodologicznych w obu typach sondowań należałoby oczekiwać przynajmniej podobnego obrazu zmian stopnia zagęszczenia, jako ostatecznego, wynikowego parametru tych badań. W niektórych przypadkach stwierdzenie takie potwierdza ogólny obraz rozmieszczenia stref rozluźnień i dogęszczeń osadów, który pokrywa się niezależnie od typu użytych sondowań. Miejscami rejestrowano jedynie nieznaczne przesunięcia w głębokości. Same wartości liczbowe I_D są natomiast znacząco różne, na ogół z tendencją do ich zawyżania w sondowaniach statycznych, przy przyjęciu podanej we wzorze (1) formuły (ryc. 6). Należy zaznaczyć, że do interpretacji sondowań DPL wykorzystano standardowy wzór zawarty w normie PN-2002/B-04452. W przyjętej formule nie uwzględnia się wpływu składowej pionowej naprężenia geostatycznego na wyniki sondowania dynamicznego, co postulowane jest przez wielu badaczy, chociażby w przypadku sondowań typu SPT (np. Cubrinowski, Ishihara, 1999). Wspominana wcześniej wilgotność optymalna badanych gruntów pozwala domniemywać, że albo w przeszłości geologicznej wilgotność analizowanych osadów była znacząco wyższa, co nie wydaje się bardzo prawdopodobne, szczególnie

w odniesieniu do czasami kilkunasto- i więcej metrowych ich miąższości, albo rzeczywiście wartości stopnia zagęszczenia z sondowań CPT są zdecydowanie zawyżone, przynajmniej w zakresie głębokości do 4–5 m p.p.t.

Z uwagi na wyraźne zróżnicowanie wyników sondowań statycznych i dynamicznych, szczególnie w przypowierzchniowej strefie wydm, do głębokości ok. 5 m, podjęto próbę reinterpretacji wartości I_D w oparciu o formułę Jamiołkowskiego i in. (2001) – wzór [2], w której uwzględnia się wpływ poziomej składowej naprężenia geostaticznego na uzyskiwane wartości stopnia zagęszczenia. W odniesieniu do analizowanej tutaj strefy oraz samej morfologii wydm wydaje się to uzasadnione, zwłaszcza, że dopasowanie krzywych zagęszczenia sondowań dynamicznych i statycznych CPT w interpretacji Jamiołkowskiego i in. jest zdecydowanie lepsze (ryc. 7):

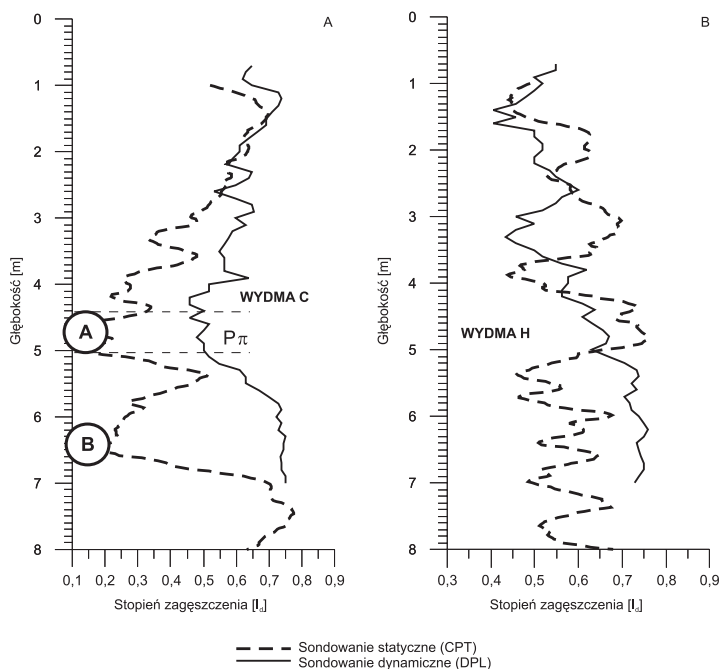
$$I_D = \frac{1}{2,96} \ln \left(\frac{q_c}{24,94 \cdot \sigma'_{m0}{}^{0,46}} \right) \quad [2]$$

gdzie: σ'_{m0} – średnie naprężenie geostaticzne (wyznaczone na podstawie K_0 z wykorzystaniem formuły Wierzbickiego, 2001, 2002).



Ryc. 6. Porównawcze wyniki sondowań statycznych (wg wzoru (1)) i dynamicznych w wydymach MWN; a) wydma C; b) wydma H

Fig. 6. Comparative results of CPT (according to eq.1) and DPL carried out in dunes of MWN; a) dune C; b) dune H



Ryc. 7. Porównawcze wyniki sondowań statycznych (wg wzoru [2]) i dynamicznych w wydmych MWN: a) wydma C (strefa A – rozluźnienie spowodowane przewarstwieniem piasków pylastych; strefa B – rozluźnienie spowodowane warstwą organiczną); b) wydma H
 Fig. 7. Comparative results of CPT (according to eq. [2]) and DPL carried out in dunes of MWN: a) dune C (zone A – looseness caused by layers of silty sand; zone B – looseness caused by organic layer); b) dune H

Podsumowanie

Przedstawiany artykuł ma na celu uwypuklenie:

- możliwości odróżniania odmiennych genetycznie osadów (o identycznej charakterystyce litologicznej i teksturalnej, bez możliwości badania ich cech strukturalnych), poprzez zmiany w ich zagęszczeniu; w przypadku badanych osadów z MWN jest to jedna z najprostszych, skutecznych metod odróżniania piasków eolicznych (wydmowych i pokrywowych) od piasków rzeczno-peryglacialnych bezpośredniego podłoża; tym bardziej, że zawodzą inne powszechnie zalecane, m.in. w podręcznikach sedimentologicznych (np. Gradziński i in., 1986; Mycielska-Dowgiałło, 1995), metody (określenie charakteru obtoczenia, kulistości, wysortowania, połysku itp.);
- potencjalnych przyczyn cyklicznych zmian trendu zagęszczenia osadów w profilach pionowych, które, przy uwzględnieniu ich jednorodnej litologii i zbliżonej genezy, powinny być uwarunkowane zmiennymi czynnikami zewnętrznymi oddziałującymi w czasie i po ich depozycji; warunkami tymi mogą być np.: zmien-

ność tempa depozycji (zmienność warunków anemologicznych – okresy wzmożonej i osłabionej działalności eolicznej), zmiany wilgotności: powietrza (czynnik temperatury) i podłoża (położenie zwierciadła wód gruntowych) czy wreszcie cykliczne procesy przemarzania gruntów (wpływ klimatu peryglacjalnego w odniesieniu do osadów późnoplejstoceniowych);

- prawdopodobnego, istotnego wzrostu składowej poziomej stanu naprężenia geostaticznego, obserwowanego w przypadku osadów wydmowych, w stosunku do klasycznych osadów normalnie konsolidowanych;
- możliwości stosowania powszechnych w geologii inżynierskiej i geotechnice metod badawczych w postaci sondowań statycznych w innych obszarach geologii.

W celu uściślenia zarysowanych wstępnie prawidłowości wskazane są dalsze badania dokumentujące te zjawiska.

Literatura

- Borówka K.R., 1980. Współczesne procesy transportu i sedymentacji piasków eolicznych oraz ich uwarunkowania i skutki na obszarze wydm nadmorskich. Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, t. XX, PWN, Warszawa-Poznań, s. 1–126. Praca doktorska.
- Cubrinowski M., Ishihara K., 1999. Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils. *Soils & Foundations* 39 (5): 61–72.
- Frankowski Z., 2003. Interpretacja wyników sondowań dynamicznych i badań presjometrycznych. Sondowania dynamiczne. W: *Nowoczesne metody badań gruntów*. PKiN, Warszawa.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., 1986. *Zarys Sedymentologii*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Isarin R.F.B., 1997. Permafrost Distribution and Temperatures in Europe During The Younger Dryas, *Permafrost and Periglacial Processes* 8, 3: 313–333.
- Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manassero M., 2001. Evaluation of Relative Density and Shear Strength of Sands from CPT and DMT. *Proc. of C.C. Ladd Symposium, M.I.T., Cambridge*, s. 1–37.
- Koster E.A., 1995. Progress in Cold-Climate Aeolian Research. *Quaestiones Geographicae (Special Issue 4)*. A. Mickiewicz University Press, s. 155–163.
- Krygowski B., 1958. Niektóre dane o piaskach wydm śródlądowych na terenie Polski i obszarów przyległych. W: Galon R. (red.), *Wydm śródlądowe Polski*, cz. 1, s. 73–86.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., 1997. Chapter One & Two. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, London–New York, s. 1–24.
- Marek S., Pajchłowa M. (red.), 1997. *Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce*. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego CLIII, Warszawa.
- Młynarek Z., 2004. Współczesne tendencje wyznaczania parametrów geotechnicznych metodami in-situ. W: *Inżynieria Morska i Geotechnika* 1/2004: 22–27.
- Mycielska-Dowgiało E., Rutkowski J., 1995. *Badania osadów czwartorzędowych*. Warszawa.
- Myślińska E., 1992. *Laboratoryjne badania gruntów*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Nowaczyk B., 1986. *Wiek wydm w Polsce*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990. *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Pilarczyk L., 1972. Międzyrzecze Warciańsko-Noteckie jako pole wydmowe w odniesieniu do powierzchni terasowych i innych. *Poznań*, s. 1–215. *Maszynopis rozprawy doktorskiej*.
- Pisarczyk S., 2001. *Gruntoznawstwo inżynierskie*. PWN, Warszawa.

- Radaszewski R., 2003a. Rekonstrukcja charakterystyk paleokinematycznych wiatrów wydmotwórczych na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego (MWN). Archiwum IG UAM, Poznań. Rozprawa doktorska.
- Radaszewski R., 2003b. Gęstość upakowania (stopień zagęszczenia) późno-plejstocenijskich i wczesnoholocenijskich piasków wydmowych Międzyrzecza Warciańsko – Noteckiego (MWN). Materiały Konferencyjne IV Seminarium: „Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. Poznań, 2003.
- Renssen H., Isarin R.F.B., 2001. The Two Major Warming Phases of The Last Deglaciation At 14,7 And 11,5 ka Cal Bp in Europe: Climate Reconstructions and Agcm Experiments. *Global and Planetary Change* 30: 117–153.
- Stochlak J., 1965. Charakterystyka własności fizyko-mechanicznych sypkich utworów czwartorzędowych przełomowego odcinka Wisły środkowej i wyżyn przyległych. Materiały Sympozjum: „Geologiczne problemy Zagospodarowania Wisły środkowej od Sandomierza do Puław”.
- Tschuschke W., Wierzbicki J., 1998. Zastosowanie techniki statycznego sondowania do oceny parametrów geotechnicznych podłoża. W: Liszkowski J. (red.), *Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce*. Wind, Wrocław, s. 107–112.
- Wierzbicki J., 2001. Wykorzystanie techniki statycznego sondowania do oceny wskaźnika przekonsolidowania niektórych osadów plejstocenijskich. *Uniw. im. A. Mickiewicza w Poznaniu. Rozprawa doktorska*.
- Wierzbicki J., 2002. Wykorzystanie techniki statycznego sondowania do oceny wskaźnika przekonsolidowania niektórych osadów plejstocenijskich. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 1–2: 35–48.
- Wiłun Z., 1976. *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- PN-2002/B-04452 – Geotechnika. Badania polowe.
- PN-81/B-03020 – Posadowienie Bezpośrednie budowli.
- PN-86/B-02480 – Grunty budowlane.
- PN-88/B-04481 – Badanie próbek gruntu.