

ROBERT RADASZEWSKI

Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH NA ZAGĘSZCZENIE GRUNTÓW BEZKOHEZYJNYCH W ŚWIETLE BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

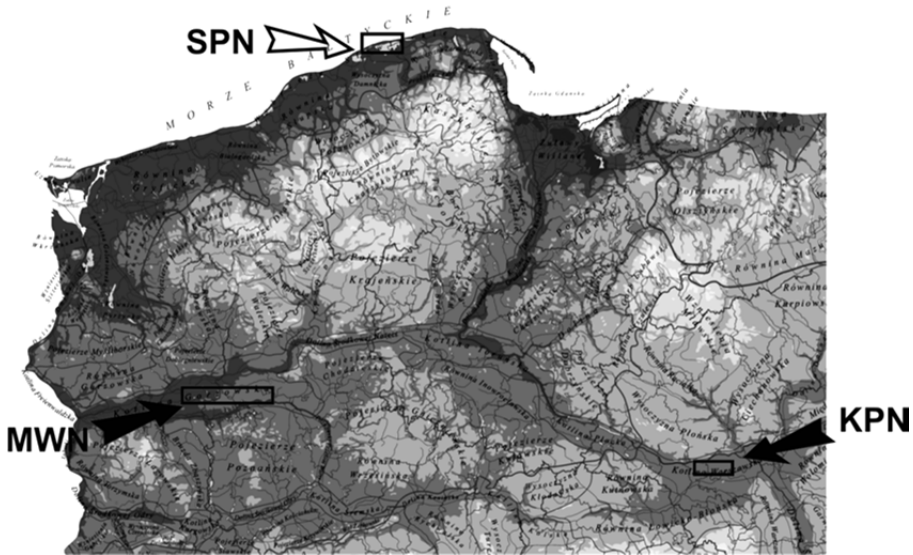
Streszczenie. W tym artykule podjęto próbę określenia wpływu wybranych postdepozycyjnych mechanizmów dogęszczania gruntów niespoistych (sypkich) – w postaci infiltracji wód, zjawisk mrozowych oraz obciążania gruntu nadkładem – na całkowite osiadanie badanych gruntów. Były nimi eoliczne oraz morskie, rzeczne i rzeczno-lodowcowe (bezpośrednie podłoże wydym), bardzo dobrze wysortowane piaski drobne i średnie z obszarów Parków Narodowych: Kampinoskiego i Słowińskiego oraz z Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego. Większe zagęszczenie I_D analizowanych piasków, spowodowane wymienionymi mechanizmami, określano ilościowo w badaniach eksperymentalnych, prowadzonych w ramach projektu MSZW iI nr NN 307 3526 33. Największy udział w procesie dogęszczania badanych gruntów miała infiltracja wody. Można zatem założyć, że najistotniejszy wpływ na wzrost zagęszczenia piasków eolicznych i podłoża wydym na badanych obszarach w warunkach naturalnych miało – przynajmniej czasowe – ich nawadnianie.

Słowa kluczowe: piasek eoliczny, stopień zagęszczenia, konsolidacja, infiltracja, przemarzanie gruntów, gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, porowatość, badanie eksperymentalne

Wstęp

Badania stopnia zagęszczenia I_D gruntów bezkohezyjnych prowadzone przez autora od ponad 10 lat, początkowo na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego (MWN), a następnie w Kampinoskim i Słowińskim Parku Narodowym (KPN i SPN) (por. rys. 1) dokumentowały jego zmienność zarówno w profilach pionowych osadów, jak i lateralnie (powierzchniowo) – por. RADASZEWSKI i WIERZBICKI (2007, 2011).

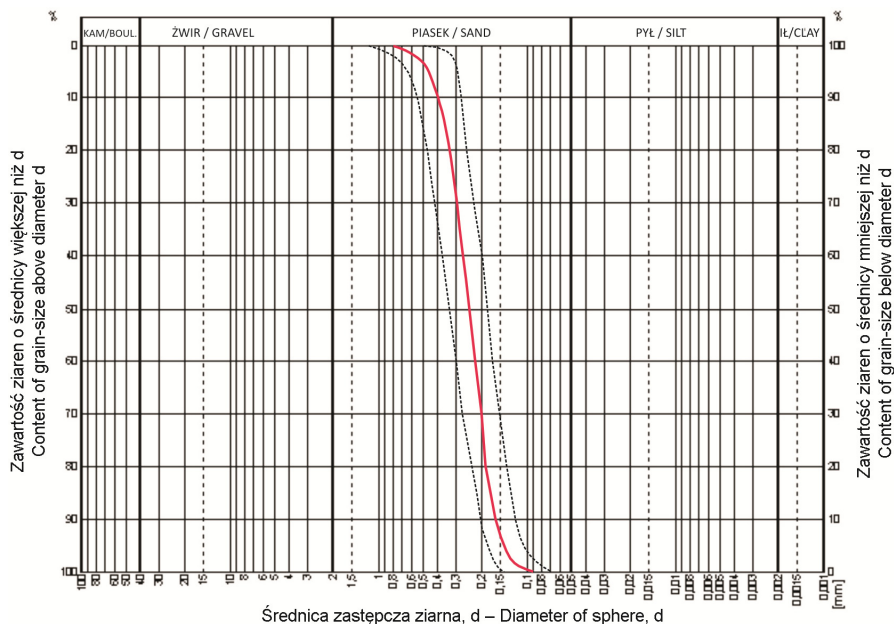
Po przeanalizowaniu czynników wpływających na wartość stopnia zagęszczenia I_D badanych gruntów piaszczystych podzielono je na dwie grupy: czynniki wewnętrzne



Rys. 1. Miejsca poboru próbek gruntów do badań eksperymentalnych
 Fig. 1. Location of sample collection sites for experimental analyses

i zewnętrzne. Do czynników wewnętrznych zaliczono cechy strukturalno-teksturalne osadów, takie jak uziarnienie, wysortowanie, obtoczenie, wilgotność, warstwowanie itp. Cechy te określano za pomocą standardowych badań polowych i laboratoryjnych (PN-88/B-04481, LUNNE i IN. 1997, PISARCZYK 2001, PN-02/B-04452, FRANKOWSKI 2003, MŁYNAREK 2004). Uzyskiwane wyniki wskazują na niezwykłą jednorodność teksturalną analizowanych gruntów (RADASZEWSKI i WIERZBICKI 2011), wykształconych w większości jako drobne lub średnie (średnia średnica ziaren $M_z - 0,2-0,3$ mm), bardzo dobrze wysortowane (współczynnik nierównomierności uziarnienia $U = d_{60}/d_{10} - 1,4-2,2$) – por. rysunek 2, słabo i średnio obtoczone ($\alpha - 35-50\%$, $\beta - 35-50$, $\gamma - 4-11\%$, według metodyki KRYGOWSKIEGO (1964)), bezstrukturalne (masywne) – monomineralne piaski kwarcowe. Mało prawdopodobne jest zatem, aby wyraźne zróżnicowanie I_D było związane bezpośrednio z ich (minimalnym) zróżnicowaniem teksturalnym.

Rozpoczęto zatem badania eksperymentalne w celu określenia, jakie inne czynniki, poza teksturalnymi, i w jakim stopniu mogą wpływać na zmienny charakter zagęszczenia szkieletu mineralnego w badanym podłożu. Oczywistymi mechanizmami (tzw. czynnikami zewnętrznymi – postdepozycyjnymi), mogącymi za to odpowiadać wydają się: obecność wody, a ściślej jej filtracja przez ośrodek gruntowy (na co w gruntach spoistych zwracał uwagę m.in. DOBAK (1999)), obciążanie gruntu nadkładem, a także zjawisko przemarzania gruntu. Za tym ostatnim czynnikiem przemawiał dodatkowo fakt tworzenia się wydm MWN i KPN w strefie oddziaływania klimatu peryglacjalnego – surowego, odznaczającego się niskimi temperaturami powietrza.

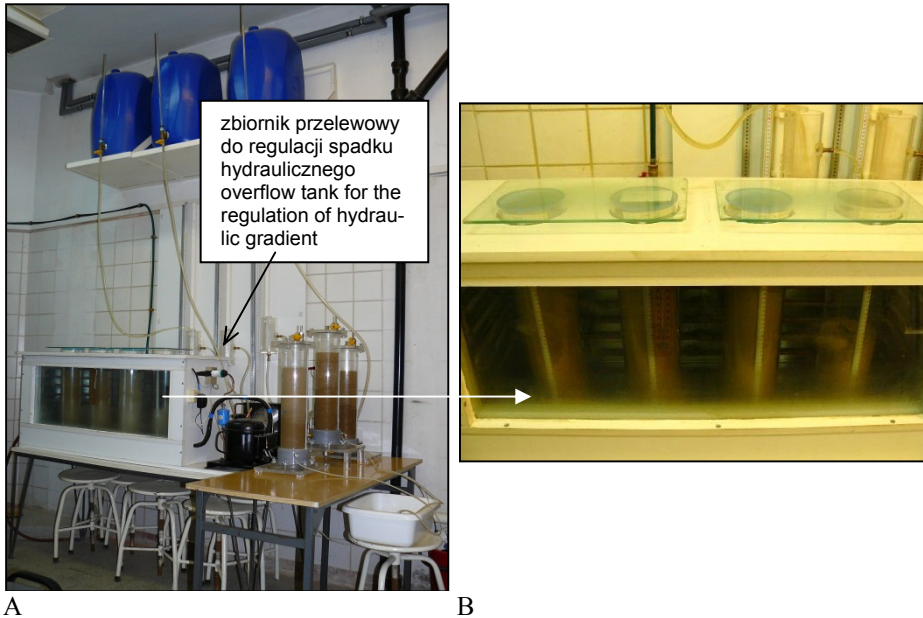


Rys. 2. Uśredniona kumulacyjna krzywa granulometryczna badanych gruntów (linia ciągła), na tle zmienności uziarnienia całego zbioru 15 analizowanych próbek (linie przerywane)
 Fig. 2. Average cumulative grain size distributions (solid line) for $N = 15$ samples of soils and the range of all the distribution curves (dashed lines)

Material i metody

Dogęszczanie osadów bezkohezyjnych przez obciążanie nadkładem, filtrację wody i procesy przemarzania w warunkach eksperymentu laboratoryjnego nie oddaje ściśle warunków rzeczywistych, gdyż zarówno skala obserwowanych zjawisk, jak i czas ich trwania znacząco odbiegają od warunków naturalnych, na co zwracali uwagę m.in. WILUŃ (1976) i KOWALSKI (1988). Mimo to, zdaniem autora, można w ten sposób uzyskać pogląd na temat wielkości zmian ułożenia szkieletu mineralnego gruntu oraz tempa, w jakim mogą one zachodzić.

Badaniom eksperymentalnym poddano łącznie 15 reprezentatywnych próbek o masie 4-6,5 kg, reprezentujących osady eoliczne ze wszystkich trzech badanych pól wydmych (MWN, KPN, SPN) oraz osady bezpośredniego podłoża wydmy (piaski rzeczno-lodowcowe) z obszaru KPN. Prowadzono je w specjalnie skonstruowanym w tym celu urządzeniu, tzw. komorze kalibracyjnej (rys. 3). Była to uszczelniona blachą i styropianem przestrzeń z wymiowaną, również uszczelnioną pokrywą, w której mieściły się cztery pleksiglasowe cylindry (stanowiska badawcze) o walcowym kształcie, wysokości 50 cm i średnicy równej 12,25 cm.



Rys. 3. Stanowisko do badań eksperymentalnych: (A) komora kalibracyjna z osprzętem do nawadniania i drenażu wody, łącznie ze zbiornikiem przelewowym do regulacji spadku hydraulicznego; (B) zbliżenie komory kalibracyjnej z widocznymi 4 stanowiskami badawczymi (cylindrami wypełnionymi badanymi gruntami)

Fig. 3. Equipment for experimental analyses: (A) a calibration chamber with fittings for irrigation and water drainage, together with an overflow tanks for the regulation of hydraulic gradient; (B) a close-up of the calibration chamber with 4 testing stations (cylinders filled with tested soils)

Badane grunty były suszone do stałej masy, a następnie jak najluźniej wsypywane do cylindrów przez stożkowy lejek, którego wierzchołek niemal opierał się o usypywaną powierzchnię gruntów. W ten sposób ograniczono do minimum energię opadających ziaren, która mogłaby wywoływać niepożądane w badaniu dodatkowe dogęszczenie szkieletu mineralnego. Można zatem przyjąć, że pierwotne ułożenie ziaren piasków w cylindrach może w przybliżeniu odpowiadać zagęszczeniu piasków eolicznych w warunkach naturalnych, szczególnie na stokach zawietrznych wydm, gdzie o zagęszczeniu decyduje wyłącznie swobodne, grawitacyjne staczanie się ziaren po nachylonej powierzchni stoku (BAGNOLD 1941). Słup gruntu (o wysokości początkowej, w zależności od próbki, w zakresie 34,9-37,4 cm) w cylindrze opatrzono podziałką centymetrową do czytania zmian jego wysokości. Grunty wsypywane do cylindrów były ważone, dlatego na podstawie znanej masy i objętości, jaką ona zajmowała, ustalano początkową minimalną wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{Dmin} . Cylindry umieszczano w zamykanej, uszczelnionej komorze, która umożliwiała wytworzenie i podtrzymywanie temperatury około $-9\div-12^{\circ}\text{C}$. Każdy cylinder był wyposażony w zawór, przez który doprowadzano do gruntów wodę. Zawór ten był umieszczony pod

poziomem spągu gruntu. Miało to na celu takie doprowadzenie wody do gruntu, aby w trakcie podnoszenia jej poziomu powietrze było automatycznie wypychane ku stropowi gruntu, a następnie poza cylinder. Zawór ten można było otwierać i zamykać, modelując grawitacyjny odpływ wody z gruntu w cylindrze lub jej retencjonowanie. Filtracja wody doprowadzanej do próbki, dzięki zastosowaniu zbiorników przelewowych z regulacją położenia (por. rys. 3), odbywała się ze zmiennym spadkiem hydraulicznym, maksymalnie od $i = 1$ aż do ustania przepływu wody ($i = 0$). Źródło zasilania w wodę umieszczono bowiem na wysokości stropu gruntu. Badania w komorze kalibracyjnej wykonywano w 2 seriach (po 4 próbki w każdej serii), z czego pierwsza trwała 31, a druga 45 dób. W tym czasie osady poddawano działaniu mechanizmów dogęszczających w postaci: a) ciężaru nadkładu, b) filtracji wody (zarówno dostarczanej od góry, jak i od dołu cylindrów), łącznie z ok. godziną ciągłą filtracją wody przez słup gruntu, c) przemrażania w temperaturze -9°C , w wariantach całkowitego nasycenia wodą lub po odpływie grawitacyjnym wody, d) odmrażania w temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$, w wariantach z możliwością odpływu wody albo bez niej. W czasie badań dokonywano regularnie – w odstępach 24-godzinnych – odczytów zmian objętości, a ściślej wysokości gruntu w cylindrze, zgodnie z podziałką opisaną na cylindrach. Dokładność odczytów, wykonywanych podczas wszystkich badań przez tę samą osobę (autora), wynosiła $\pm 0,5$ mm. Pierwsza seria miała charakter pilotażowy i udoskonalano podczas niej procedurę badawczą. Po wyciągnięciu wniosków z badań I serii, w trakcie badań w II serii próbowano usystematyzować działania, m.in. przez: 1) wydłużenie czasu obciążania wyłącznie ciężarem nadkładu z 1 do 4 dób, 2) wyłączenie z procedury badawczej przemrażania z pełnym nasyceniem gruntu wodą, połączonego z tajemieniem gruntów bez możliwości odpływu wody (ten mechanizm nie powodował zmian w badaniach serii I). Wnioskowanie na podstawie niewielkiej liczby oznaczeń (8 próbek) mogłoby się okazać mało reprezentatywne, dlatego też podjęto dalsze, analogiczne do wcześniej opisanego badania, wykorzystując nieco inne kolumny, spełniające jednak główne wymogi, tj. gabaryty zbliżone do opisywanych wcześniej kolumn (nieco mniejsza średnica $\Phi = 100$ mm), szczelność oraz zawór doprowadzający wodę. Grunty umieszczone w dodatkowych kolumnach przemrażano w tradycyjnej zamrażarce, w której nie można było uzyskać temperatury wyższej niż -17°C (w komorze kalibracyjnej temp. przemrażania wynosiła -9°C). Z drugiego „toru badań” uzyskano charakterystykę zagęszczenia dla kolejnych 7 próbek. Dla czytelności zastosowanych schematów badań, w zależności od wykorzystanego w tym celu sprzętu i numeru serii oznaczono je symbolami:

- TIMI – pierwsza tura badań z użyciem zamrażarki (3 próbki),
- TIMII – pierwsza tura badań z użyciem komory kalibracyjnej (4 próbki),
- TIIMI – druga tura badań z użyciem zamrażarki (4 próbki),
- TIIMII – druga tura badań z użyciem komory kalibracyjnej (4 próbki).

Uzyskiwana na końcu każdego badania wysokość słupa gruntu w cylindrze pozwalała obliczyć końcową wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (ρ_{DK}), którą w przybliżeniu należy uznać za maksymalną dla panujących podczas eksperymentu warunków. Badane próbki nie wykazywały bowiem dalszych zmian wysokości pod wpływem stosowanych mechanizmów dogęszczania. Być może zmiany takie uwidoczniłyby się dopiero po odpowiednio dłuższym czasie obserwacji.

W trakcie badań ujawniły się techniczne mankamenty sprzętu badawczego, które należałoby usprawnić przed podjęciem ewentualnych kolejnych badań tego typu. Jest to przede wszystkim usytuowanie zaworu doprowadzającego wodę. Jego miejsce u dołu cylindra, na bocznej ścianie, w połączeniu z małą średnicą powodowało, że grawitacyjny odpływ wody był bardzo utrudniony i spowolniony. Innym utrudnieniem było dokonywanie odczytów po cyklach przemarzania, szczególnie przy pełnym nasyceniu gruntu wodą, gdzie rejestrowano tzw. efekt przyścienny. Zmiany wysokości próbki były znacząco różne (nawet do ok. 1 cm) pomiędzy strefą przy ściankach cylindra (tu notowano największe osiadanie) a środkową częścią kolumny, gdzie osiadanie było najmniejsze, czasami niezauważalne. Trudno temu zaradzić, bo nie można ograniczyć średnicy kolumny, gdyż próbka przestanie być wówczas reprezentatywna, a wynik wiarygodny; każde wyrównywanie powierzchni zakłócałoby też cykl badawczy.

Wyniki

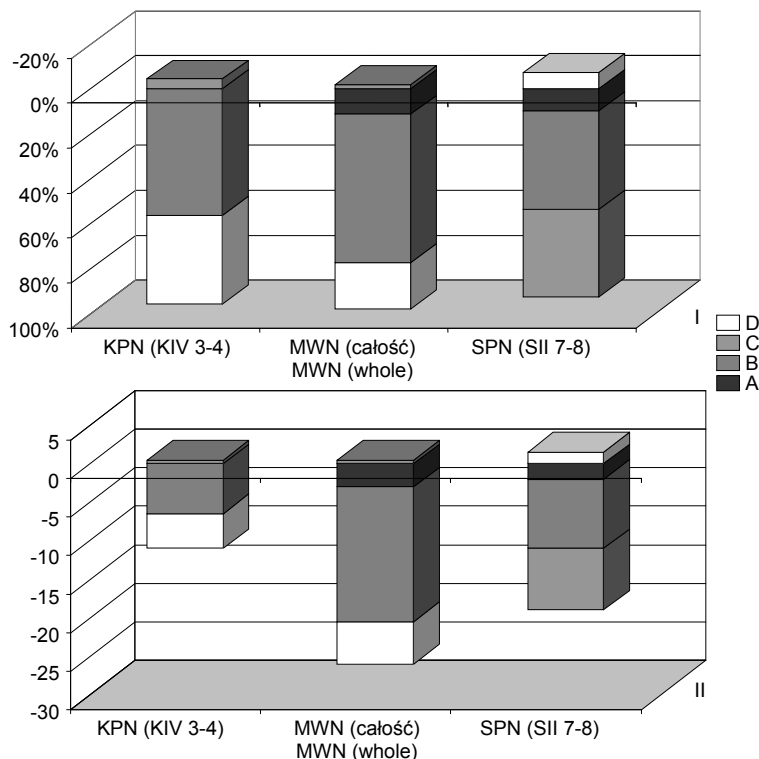
Eksperyment badawczy – polegający na dogęszczeniu początkowo wysuszonych i maksymalnie luźno usypanych piasków eolicznych z wydm oraz piasków podłoża podwładnego przez: ciężar nadkładu, filtrację wody oraz proces przemarzania – objął łącznie 15 próbek. Z czego 4 identyczne próbki, opisane jako „MWN całość”, wydzielono z dużej próby gruntu i poddano badaniu w każdym z przedstawionych schematów badawczych. Rejestrowane w badaniach zmiany objętości analizowanych gruntów, wyrażone odczytywanymi bezpośrednio zmianami wysokości słupa gruntu w cylindrach badawczych, prezentowane na rysunkach 4-7, które można także przyjmować jako zmiany porowatości, umożliwiły obliczenie zmian gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ($\Delta\rho_D$).

Uzyskane wartości wskazują na różne możliwości dogęszczania szkieletu ziarnowego w piaskach MWN oraz KPN i SPN (por. rys. 8). Dokładne wyjaśnienie tego faktu wymaga dalszych szczegółowych badań. Wstępnie założono jedynie, że być może nawet tak nieznaczne różnice cech teksturalnych, które generalizując, przyjęto jako powtarzalne, mogą być tego przyczyną.

Największe zmiany upakowania szkieletu odnotowano w piaskach MWN, niezależnie od przyjętego schematu badania. Zmiany te dochodzą do 8,4%. Mniejsze wartości zmian $\Delta\rho_D$, w zakresie 1-6,5%, charakteryzują pozostałe badane grunty, przy czym uwidacznia się tu różnica w wynikach dla różnych wariantów badań, szczególnie w zakresie sposobu zawadniania próbek.

Eksperyment wykazał, że główna część zmian strukturalnych badanych gruntów, wyrażonych zmianami ich objętości (a tym samym także gęstości objętościowej szkieletu mineralnego), jest wynikiem filtracyjnej działalności wody. Najbardziej wyraźny charakter tych zmian obserwowany był przy pierwszym zawodnieniu próbek, co przedstawiono na rysunku 9.

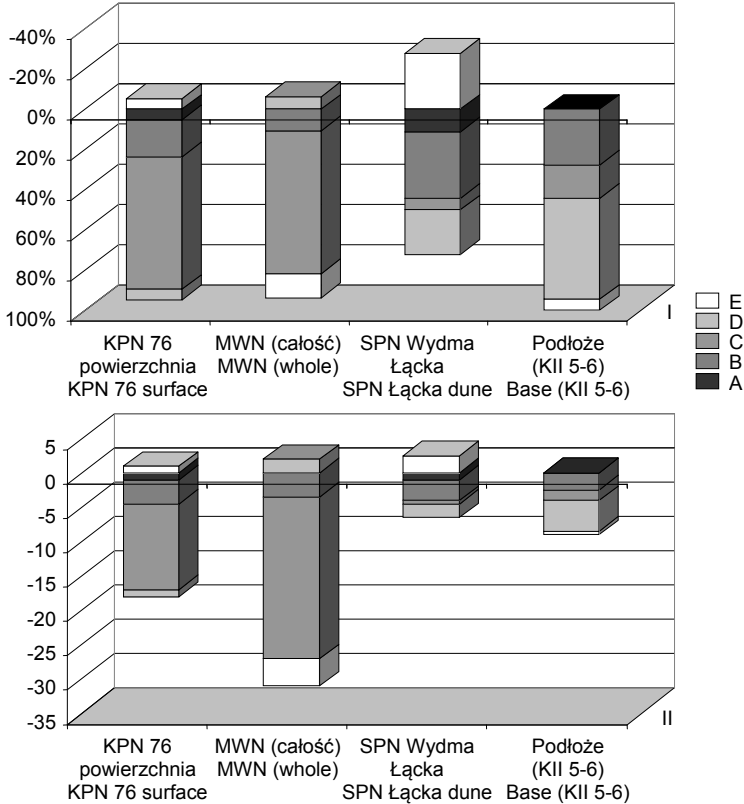
W niektórych przypadkach pierwsze nawodnienie początkowo suchych gruntów powodowało ich dogęszczenie mniej więcej o 40-45% całkowitej zmiany objętości stwierdzanej po 31 lub 45 dobach, w zależności od serii badawczej. Ewenementem jest tu próbka oznaczona jako SPN SIII 3-4, w której tak ułożyły się zmiany objętości (jej zmniejszanie i zwiększanie), że wielkość osiadania spowodowana pierwszym jej



Rys. 4. Udział analizowanych czynników w procesie zagęszczania gruntów wg schematu badania – TIMI wyrażony w: I – procentach, II – rzeczywistych zmianach wysokości kolumny piasku (mm), gdzie: A – dogęszczenie ciężarem nadkładu, B – nawodnienie (od dołu) i odwodnienie grawitacyjne, C – nawodnienie → odwodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r < 1$), D – pełne nawodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r = 1$)

Fig. 4. The impact of analysed factors in soil compacting according to the TIMI testing scheme, expressed in: I – percent, II – actual changes in the height of a sand column (mm), where: A – self-compaction, B – saturation with water (from below) and gravitational drainage, C – saturation with water → drainage → freezing → thawing with draining off ($S_r < 1$), D – full saturation with water → freezing → thawing with draining off ($S_r = 1$)

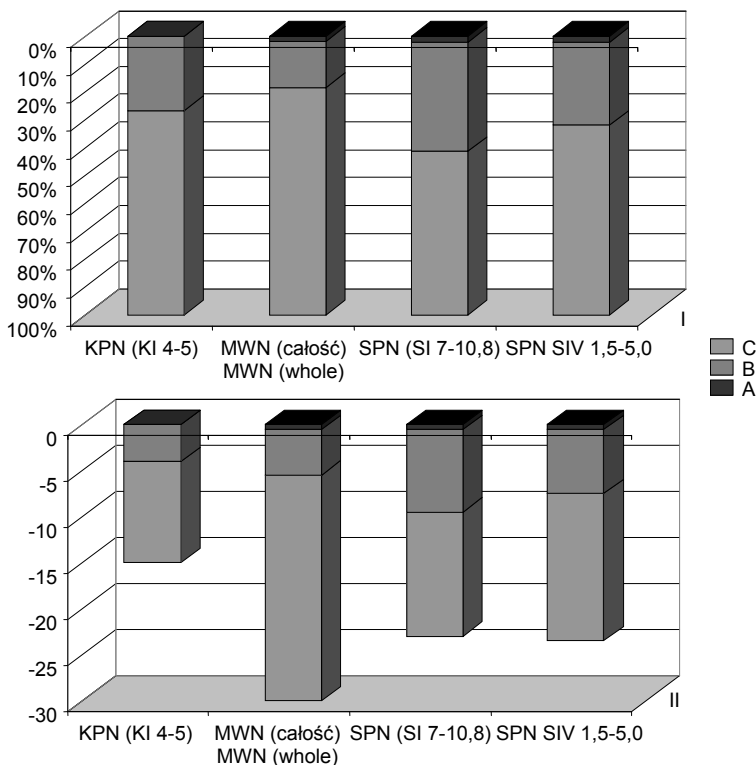
zawodnieniem była równa całkowitym stwierdzonym osiadaniami. Należy jednak podkreślić, że w próbce tej odnotowywano także wyraźny wzrost objętości przy jej zamrażaniu. Przemrażanie gruntów prowadziło na ogół do delikatnego rozluźniania ich szkieletu. Analiza zmian wysokości gruntu stwierdzanych po 48 godzinnych cyklach zamrażanie → odmarzanie, połączonych z drenażem wód wykazała, że stanowią one 1/4 do 1/3 całkowitych rejestrowanych zmian. Wartości graniczne maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (ρ_{Dmax}) przy stosowanych w eksperymencie założeniach uzyskiwano w stosunkowo krótkim czasie – około 10 dób. Następnie proces trwał



Rys. 5. Udział analizowanych czynników w procesie zagęszczenia gruntów wg schematu badania – TIMII wyrażony w: I – procentach, II – rzeczywistych zmianach wysokości kolumny piasku (mm), gdzie: A – dogęszczenie ciężarem nadkładu, B – przemrażanie i odmrażanie „na sucho”, C – nawodnienie → odwodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r < 1$), D – pełne nawodnienie → przemrażanie → odmrażanie bez odsączenia ($S_r = 1$), E – pełne nawodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r = 1$)

Fig. 5. The impact of analysed factors in soil compacting according to the TIMII testing scheme, expressed in: I – percent, II – actual changes in the height of a sand column (mm), where: A – self-compaction, B – freezing and dry thawing, C – saturation with water → drainage → freezing → thawing with draining off ($S_r < 1$), D – full saturation with water → freezing → thawing without draining off ($S_r = 1$), E – full saturation with water → freezing → thawing with draining off ($S_r = 1$)

z niewielkim tempem przyrostu wartości ρ_D . Zmiany objętości analizowanych próbek osadów prawie zawsze wiązały się z działaniem wody. Następowo albo zawadnianie badanych osadów, albo odpływ wody po procesie przemrażania. W drugim przypadku, gdy odpływ wody był zamknięty, nie notowano obniżenia wysokości słupa gruntu w cylindrze badawczym. Czynnikiem mrozu, bez połączenia z przepływem wody przez

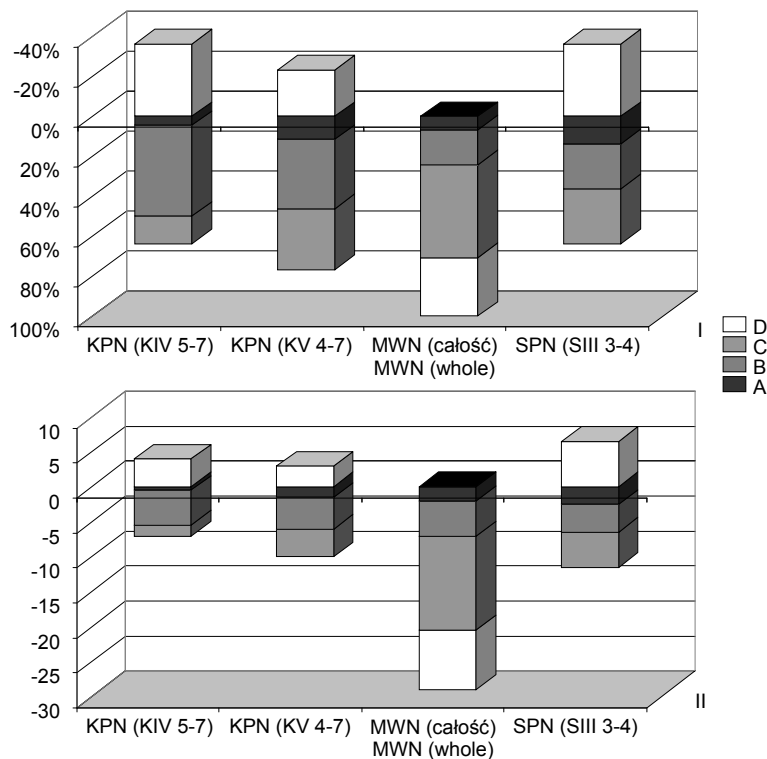


Rys. 6. Udział analizowanych czynników w procesie zagęszczania gruntów wg schematu badania – TIIMI wyrażony w: I – procentach, II – rzeczywistych zmianach wysokości kolumny piasku (mm), gdzie: A – dogęszczenie ciężarem nadkładu, B – przemrażanie i odmrażanie „na sucho”, C – nawodnienie → odwodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r < 1$)

Fig. 6. The impact of analysed factors in soil compacting according to the TIIMI testing scheme, expressed in: I – percent, II – actual changes in the height of a sand column (mm), where: A – self-compaction, B – freezing and dry thawing, C – saturation with water → drainage → freezing → thawing with draining off ($S_r < 1$)

grunt, dawał pozytywne rezultaty (dogęszczał szkielet mineralny) jedynie w przypadku przemrażania zupełnie suchych osadów. Uściślając, był on zauważalny na etapie rozmrażania gruntów w temperaturze pokojowej, po wcześniejszym ich mrożeniu przez 24 h w temperaturze -9 lub -17°C .

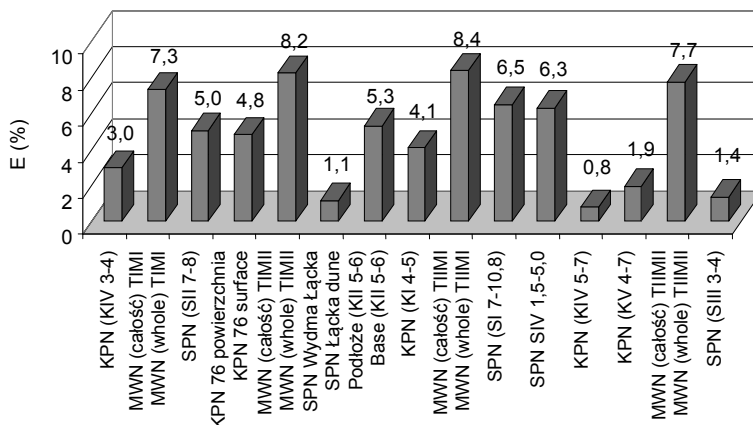
Podobne wyniki badań piasków MWN uzyskane z 4 różnych kombinacji eksperymentu (rys. 4-7) wskazywać mogą na stały charakter następstw wywołanych określonymi w eksperymencie czynnikami. Zróżnicowanie wyników w pozostałych próbkach może być spowodowane drobnymi zmianami ich cech teksturalnych, przede wszystkim



Rys. 7. Udział analizowanych czynników w procesie zagęszczania gruntów wg schematu badania – TIIMII wyrażony w: I – procentach, II – rzeczywistych zmianach wysokości kolumny piasku (mm), gdzie: A – dogęszczenie ciężarem nadkładu, B – przemrażanie i odmrażanie „na sucho”, C – nawodnienie → odwodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r < 1$), D – pełne nawodnienie → przemrażanie → odmrażanie z odsączeniem ($S_r = 1$)

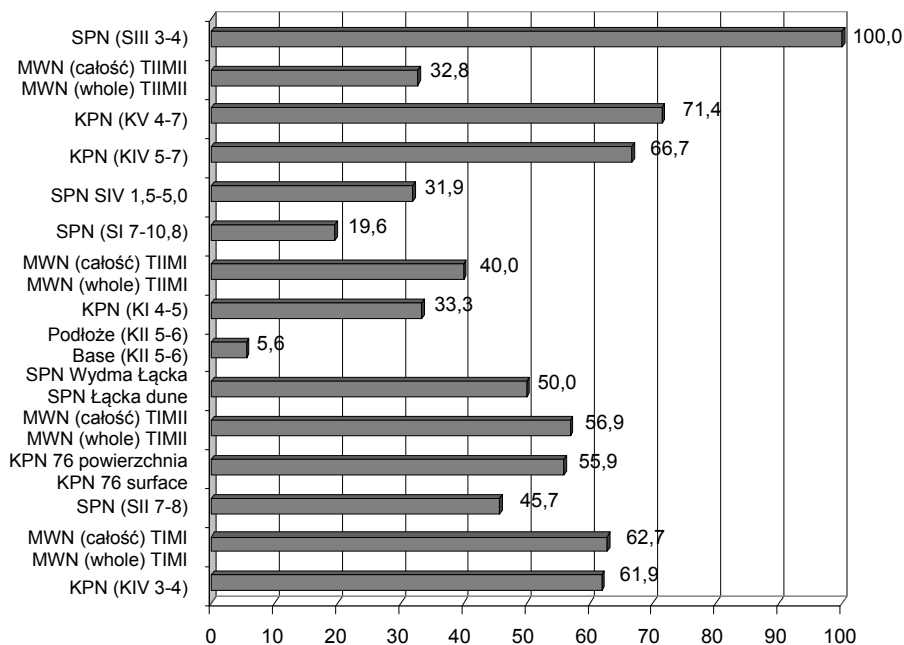
Fig. 7. The impact of analysed factors in soil compacting according to the TIIMII testing scheme, expressed in: I – percent, II – actual changes in the height of a sand column (mm), where: A – self-compaction, B – freezing and dry thawing, C – saturation with water → drainage → freezing → thawing with draining off ($S_r < 1$), D – full saturation with water → freezing → thawing with draining off ($S_r = 1$)

uziarnienia i morfometrii (szczególnie obtoczenia) ziaren. Poza próbkami z MWN nie dublowano badań innych próbek, co mogłoby dostarczyć informacji o powtarzalności wyników. Powtarzalność ta została udokumentowana jedynie dla piasku eolicznego z obszaru MWN.



Rys. 8. Zmiany objętości próbek gruntów (E) (%) we wszystkich analizowanych wariantach badania eksperymentalnego

Fig. 8. Changes volume of samples soils (E) (%) for soil samples analysed in all variants of experimental analyses



Rys. 9. Procentowy udział filtracji wody (pierwszego zawodnienia) przy całkowitych zmianach gęstości objętościowej szkieletu gruntowego analizowanych próbek gruntów

Fig. 9. The percentage of water filtration (the first water-logging) in complete bulk density changes of soil samples analysed in the experimental test

Podsumowanie

Przedstawione wyniki, uzyskane dla stosunkowo małej liczby, zaledwie 15 próbek piasków eolicznych i rzeczno-lodowcowych z obszarów MWN, KPN oraz SPN, mają charakter poglądowy i wymagają dalszej weryfikacji na podstawie większej liczby, różnych lito-genetycznie próbek gruntów bezkohezyjnych.

Wnioski

1. Wśród potencjalnych czynników tzw. zewnętrznych, wpływających na zagęszczenie (dogęszczanie) osadów bezkohezyjnych (eolicznych i rzeczno-lodowcowych), należy wskazać przede wszystkim zmiany warunków wodnych w podłożu. Po przeprowadzeniu badania eksperymentalnego uprawnione wydaje się twierdzenie, że zagęszczenie gruntów może być dobrym markerem zmian warunków hydrogeologicznych w czasie.

2. Największy udział w dogęszczaniu badanych osadów miała obecność wody. Już pierwsze zawodnienie pierwotnie luźnych, suchych osadów (warunki porównywalne z warunkami depozycji w środowisku eolicznym) powodowało ich dogęszczenie na poziomie około połowy wartości całkowitych zmian wysokości słupa gruntu, stwierdzanych po upływie 31 i 45 dób. Można zatem przypuszczać, że zmieniający się na przestrzeni setek i tysięcy lat od depozycji piasków wydmowych poziom zwierciadła wód gruntowych, wpływał przede wszystkim na samo tworzenie i stabilizację wydm (jeden z mechanizmów tworzenia się wydm), a w dalszej kolejności także na zmiany zagęszczenia piasków w wydmach – np. na skutek częściowego ich podtapiania.

3. Przemarzanie badanych osadów powoduje ich zagęszczenie, ale tylko w przypadku, gdy są one suche. Zamrażanie i odmrażanie osadów nasyconych wodą powodowało rozluźnianie ich szkieletu ziarnowego, czego należało się spodziewać z uwagi na wzrost objętości wody (o ok. 9%) podczas jej przejścia ze stanu ciekłego w stały. Przedstawiony schemat zachowania gruntów w wyniku ich przemrażania jest jednak tylko schematem laboratoryjnym i nie wiadomo, jak zachowałyby się szkielet ziarnowy gruntu w warunkach rzeczywistych, gdzie czynniki działałyby w zupełnie innej przestrzeni i innej skali czasowej. Gdyby jednak przyjąć wyniki badania eksperymentalnego za ogólnie wiarygodne w warunkach rzeczywistych, należałoby stwierdzić, że udział procesów mrozowych w zagęszczaniu (kompakcji) gruntów niespoistych (sypkich) jest w literaturze zbyt przeceniany.

4. Tempo zmian w strukturze badanych gruntów jest stosunkowo szybkie. Już po upływie ok. 1/3-1/4 zakładanego czasu eksperymentów uzyskiwano niemal całkowite zmiany gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

Literatura

- BAGNOLD R.A., 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. Wiley, New York.
DOBAK P., 1999. Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. Stud. Rozpr. Monogr. 65.

Radaszewski R., 2011. Wpływ wybranych czynników środowiskowych na zagęszczenie gruntów bezkohezyjnych w świetle badań eksperymentalnych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #93.

- FRANKOWSKI Z., 2003. Interpretacja wyników sondowań dynamicznych i badań presjometrycznych. Sondowania dynamiczne. W: *Nowoczesne metody badań gruntów*. Warszawa.
- KOWALSKI W.C., 1988. *Geologia inżynierska*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- KRYGOWSKI B., 1964. *Graniformametri mechaniczna – teoria, zastosowanie*. PWN, Poznań.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M., 1997. *Cone penetration testing in geotechnical practice*. London.
- MŁYNAREK Z., 2004. Współczesne tendencje wyznaczania parametrów geotechnicznych metodami in-situ. *Inż. Mor. Geotech.* 1: 22-27.
- PISARCZYK S., 2001. *Gruntoznawstwo inżynierskie*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- PN-2002/B-04452 – *Geotechnika. Badania polowe*. PKN, Warszawa.
- PN-88/B-04481 – *Badanie próbek gruntu*. PKN, Warszawa.
- RADASZEWSKI R., WIERZBICKI J., 2007. Charakterystyka zagęszczenia piasków eolicznych i bezpośredniego podłoża wydm na obszarze Międzyzrzeczka Warciańsko-Noteckiego. *Geologos* 11: 253-267.
- RADASZEWSKI R., WIERZBICKI J., 2011. On the applicability of in situ soil probings to geological analyses. *Geologos* 17, 1: 5-16.
- WILUN Z., 1976. *Zarys geotechniki*. WKŁ, Warszawa.

INFLUENCE OF SELECTED ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE COMPACTION IN NON-COHESIVE SOILS IN VIEW OF EXPERIMENTAL STUDIES

Summary. The article presents an attempt to determine the effect of selected, postdeposition mechanisms of compaction for loose soils, comprising water infiltration, freezing phenomena and overlay loading of soil, on the resulting complete self-consolidation of tested soils. These soils included aeolian and marine, fluvial and fluvio-glacial (immediate dune subsoil), very well-sorted, rounded and well-rounded fine and medium-grained sands from national parks (the Kampinos and the Słowiński National Parks) as well as the Warta-Noteć Interfluve. An increase in the density index of the above mentioned sands due to the above mentioned mechanisms was determined quantitatively in experimental studies, conducted within the framework of a project of the Ministry of Higher Education and Information Technology no. NN 307 3526 33. The biggest role in the compacting process for the tested soils was played by water infiltration. Thus it may be assumed that saturation of these soils with water – at least temporal – has had the most significant effect on an increase in compaction of aeolian soils and the subsoil of dunes in the investigated areas from the time of their deposition to the contemporary times.

Key words: aeolian sand, relative density, consolidation, infiltration, soil freezing, bulk density, porosity, experimental test

Radaszewski R., 2011. Wpływ wybranych czynników środowiskowych na zagęszczenie gruntów bezkohezyjnych w świetle badań eksperymentalnych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #93.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

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

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

13.06.2011

Do cytowania – For citation:

*Radaszewski R., 2011. Wpływ wybranych czynników środowiskowych na zagęszczenie gruntów bezkohezyjnych w świetle badań eksperymentalnych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #93.*