ŚRODOWISKO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
2-Ś/2011
ZESZYT 6
ROK 108
ISSUE 6
YEAR 108

BARTŁOMIEJ CZADO*, ELŻBIETA KORZENIOWSKA-REJMER**,
JAN S. PIETRAS*

WPŁYW ZANIECZYSZCZEŃ OLEJOWYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE I NOŚNOŚĆ GRUNTÓW PIASZCZYSTYCH

INFLUENCE OF PETROLEUM CONTAMINATION ON THE SHEARING RESISTANCE AND BEARING CAPACITY OF SANDY SOILS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zanieczyszczenia gruntu olejem napędowym na jeden z podstawowych parametrów charakteryzujących wytrzymałość gruntu na ścinanie – efektywny kąt tarcia wewnętrznego (φ'), a w efekcie nośność gruntu stanowiącego podłoże budowlane. Badaniom poddano utwory piaszczyste, pochodzące z występujących na obszarze Krakowa czwartorzędowych osadów rzecznych tarasu wysokiego. Na podstawie zebranych wyników wyprowadzono zależność funkcyjną między efektywnym kątem tarcia wewnętrznego a zawartością oleju napędowego w piasku średnim oraz przedstawiono zmiany oporu podłoża piaszczystego pod fundamentem bezpośrednim w wyniku zanieczyszczenia olejem napędowym.

Słowa kluczowe: *zanieczyszczenia olejowe, grunty sypkie, kąt tarcia wewnętrznego, opór podłoża*

Abstract

The paper presents results of research of the influence of diesel-oil soil contamination on one of the basic soil mechanical parameters – an effective angle of internal friction (φ') – and, as a result, on subsoil bearing capacity. Laboratory studies have been performed on the fluvial sand samples, drawn from the quaternary sediments of higher terrace of Wisła valley in the Kraków area. The testing data that have been gathered allowed to derive a linear dependence of the effective angle of friction on the oil contamination content in medium sands. The results of calculations of the subsoil resistance changes caused by the oil contamination have been presented.

Keywords: oil pollution, sandy soils, angle of internal friction, subsoil resistance

* Mgr inż. Bartłomiej Czado, mgr inż. Jan S. Pietras, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.
** Dr Elżbieta Korzeniowska-Rejmer, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Antropogeniczne zmiany zachodzące w środowisku podziemnym, wywołane zanieczyszczeniami gruntów i wód, w odniesieniu do podłoża budowli i konstrukcji inżynierskich, nie mają dotychczas w Polsce swojej literatury. Podjęte na szerszą skalę badania związane z zanieczyszczeniami środowiska gruntowo-wodnego dotyczą głównie oceny stanu zanieczyszczeń, migracji oraz metod usuwania. Nie obejmują natomiast ich wpływu na zmianę właściwości gruntu jako podłoża budowlanego i gruntu jako materiału budowlanego w budownictwie ziemnym. Zagadnienie to jest istotne dla przyjętych rozwiązań projektowych obiektów inżynierskich na terenach zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi i podjęcia odpowiednich zabezpieczeń konstrukcji już istniejących obiektów na terenach poddanych skażeniu.

Z dotychczas prowadzonych badań nad tym zagadnieniem [3, 4, 6, 7, 9, 11, 12] jednoznacznie wynika, że wpływ ten zależy przede wszystkim od czynnika zanieczyszczającego, jego stężenia, rodzaju gruntu poddanego zanieczyszczeniu oraz czasu trwania penetracji. Grunty niespoiste, ze względu na cechujące je wyższe wartości współczynnika filtracji, są przy tym bardziej podatne na przenikanie zanieczyszczeń niż grunty spoiste.

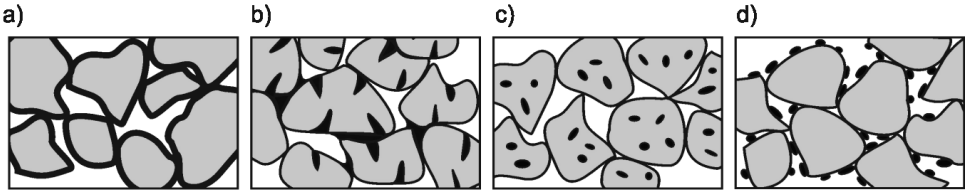
Substancje ropopochodne (SR) wprowadzone do gruntu tworzą otoczki wokół jego ziaren, a także częściowo lub całkowicie wypełniają przestrzenie międzyziarnowe. Węglowodory pochodzenia organicznego, w tym także oleje napędowe (ON) są w stanie wyrugować wodę z fazy zwilżającej, same stając się fazą lepiej zwilżającą. Na ziarnach gruntu powstaje silnie zaadsorbowana warstwa oleju sprawiająca, że przy kontakcie cząstek mineralnych gruntu z wodą, ich zwilżalność znacznie się zmniejsza. Badania Stegemana [10] wykazały, że w gruncie gruboziarnistym wypieranie wody przez olej mineralny następuje szybciej niż w gruncie drobnoziarnistym ze względu na większy promień i mniejszy udział wody błonkowej.

Utworzone z oleju otoczki wokół cząstek mineralnych tworzących szkielet gruntu są przyczyną zmian oporu tarcia przy wzajemnych przemieszczeniach podczas ścinania. W obecności oleju współczynnik tarcia pomiędzy minerałami tworzącymi szkielet (głównie kwarc) jest mniejszy niż w obecności wody.

Zanieczyszczony grunt analizowany jest jako ośrodek czterofazowy. Występują w nim dwie fazy ciekłe o odmiennych właściwościach (woda i olej), faza stała w postaci ziaren otoczonych wielomolekularną warstwą cieczy i faza gazowa w postaci powietrza oraz par substancji lotnych. Formy występowania zanieczyszczeń ropopochodnych związane z cząstką mineralną gruntu i mające wpływ na właściwości gruntu pokazano na rys. 1.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zanieczyszczeń olejowych na właściwości mechaniczne gruntów piaszczystych występujących na obszarze Krakowa. Omówiono wyniki badań gruntów zanieczyszczonych olejem napędowym (ON) wykorzystywanym powszechnie jako paliwo do silników Diesla.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 1. Formy występowania zanieczyszczeń ropopochodnych związane z cząstką mineralną gruntu: a) jako błona zaadsorbowana na powierzchni cząstki mineralnej, b) w mikroszczelinach i mikroporach gruntu, c) zaabsorbowane przez cząstkę mineralną, d) zaadsorbowane na powierzchni cząstki

Fig. 1. Occurrence forms of petroleum contamination on soil particles: a) as coat on soil particle surface, b) in soil microcracks and micropores, c) absorbed inside soil particles, d) adsorbed on soil particle surface

2. Metodyka i materiały badań

Celem badań było określenie wpływu zanieczyszczenia gruntu ON na jeden z podstawowych parametrów wytrzymałościowych gruntu – efektywny kąt tarcia wewnętrznego (φ'). Próbki gruntu zanieczyszczono w różnym stopniu olejem napędowym i oznaczono kąt tarcia wewnętrznego metodą bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym.

Badaniom poddano utwory piaszczyste, pochodzące z występujących na obszarze Krakowa czwartorzędowych osadów rzecznych tarasu wysokiego. Próby wykorzystane do badań pobrane zostały z głębokości 3,00–4,00 m ppt, na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej przy ul. Warszawskiej w Krakowie. Z otworów wiertniczych pobrano grunt o naturalnym uziarnieniu i wilgotności (NW wg [15]), metodą pobierania prób kategorii B wg [20] oraz [17].

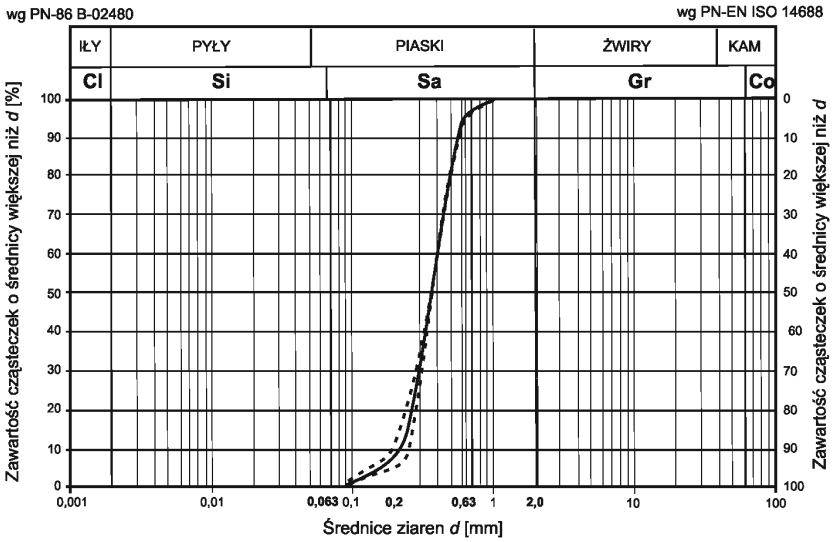
Badania laboratoryjne wykonano na próbkach naturalnych, odtworzonych (formowanych – określenie wg [20]). Próbki użyte do badań poddano wstępnej obróbce poprzez wypłukanie występujących w nich (w ilościach nieprzekraczających 2%) frakcji drobnoziarnistych. Grunt przemyto wodą destylowaną na sicie o wymiarze oczka 0,063 mm, a następnie wysuszono do stałej masy w temperaturze 105°C. W celu zminimalizowania wpływu tzw. efektu skali podczas badania bezpośredniego ścinania odsiano z próbek ziarna frakcji grubszych niż 1,0 mm, których ilość nie przekraczała 5% w stosunku masowym. Wynikające z powyższego faktu zmiany w naturalnym uziarnieniu powodują zaklasyfikowanie próbek wykorzystanych w dalszych badaniach do klasy jakości 5 wg [20].

Badania wstępne obejmowały wykonanie analiz granulometrycznych przygotowanych próbek gruntu. Zakres zmienności składu granulometrycznego tych próbek przedstawiono na rys. 2. Linia ciągła przedstawia uśrednioną krzywą granulometryczną, reprezentatywną dla wszystkich przebadanych próbek, podczas gdy linie przerywane ilustrują przebiegi graniczne. Badane grunty zostały sklasyfikowane jako piaski średnie: MSa (*medium sand*) – wg [18]; Ps – wg [13]. Próbki gruntu zanieczyszczono olejem napędowym w ilościach 2,5%, 5%, 7,5% oraz 10% w stosunku do suchej masy szkieletu gruntowego i zabezpieczono w pojemnikach hermetycznych przez 30 dni. Przyjęte ilości zanieczyszczenia wynikają z analizy metodyki, dotychczas opublikowanych, podobnych ba-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

dań, wykonywanych w polskich ośrodkach badawczych (Politechnika Szczecińska, Politechnika Warszawska) i zagranicznych (MNR Engineering College, Allahabad, Indie), które posłużyły jako badania porównawcze w analizie wyników. Jednocześnie należy zauważyć, że największa przyjęta ilość zanieczyszczenia (10%) jest zbliżona do maksymalnej teoretycznej wartości odpowiadającej całkowitemu wypełnieniu porów otwartych gruntu substancją zanieczyszczającą, która dla badanych gruntów wynosi nieco ponad 12%. Jest zatem mało prawdopodobne, aby w warunkach naturalnych zanieczyszczenie wystąpiło w większym stężeniu.

Oznaczenia efektywnych wartości kąta tarcia wewnętrznego próbek wyjściowych oraz zanieczyszczonych wykonano w aparacie skrzynkowym bezpośredniego ścinania typu 27-T2160 firmy *Controls*, który umożliwia wykonanie badania w sposób zautomatyzowany, z cyfrową rejestracją wartości przemieszczeń poziomych i pionowych oraz siły ścinającej. Zastosowano skrzynki prostopadłościenne o wymiarach próbki 100 × 100 × 25 mm. Badania wykonano z uwzględnieniem wymogów norm [20] i [16], zapewniających uzyskanie efektywnych wartości badanego parametru. Liczba badań wykonanych dla każdej z próbek została dobrana zgodnie z zaleceniami [20], na podstawie uzyskanych dla zależności τ–σ współczynników korelacji *r*-Pearsona na poziomie 0,99.



Rys. 2. Wyniki analiz granulometrycznych badanych próbek gruntu
Fig. 2. Particle size distribution analyses of tested soil samples

3. Wyniki badań i ich dyskusja

Przebadane próbki gruntu niezanieczyszczonego charakteryzowały się wartością efektywnego kąta tarcia wewnętrznego wynoszącą $\varphi' = 38{,}1°$. Dla próbek piasku średniego (MSa), zanieczyszczonych ON w ilości od 2,5% do 10%, otrzymano wartości kąta tarcia wewnętrznego w granicach od 33,1° do 30,5°. Wraz ze wzrostem ilości zanieczyszczenia od 0 do 10% zaobserwowano obniżenie wartości kąta tarcia wewnętrznego o 7,6°,

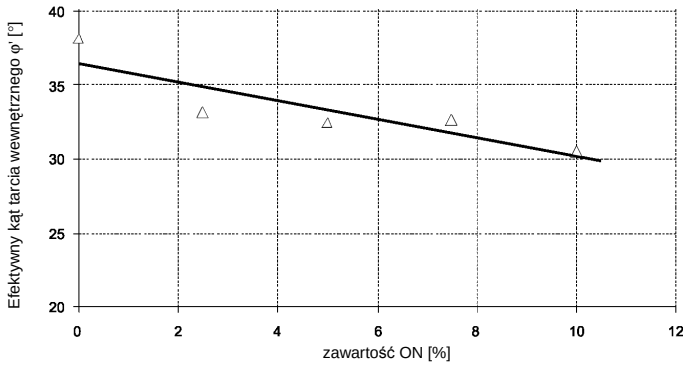
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

co stanowi spadek o ok. 20% jego początkowej wartości. Wyniki badań przeprowadzonych w aparacie skrzynkowym bezpośredniego ścinania zestawiono w tabeli 1. Wykres zależności wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego badanego gruntu od procentowej zawartości zanieczyszczenia przedstawiono na rysunku 3. Zależność aproksymowano linią prostą.

Tabela 1

Wyniki badań bezpośredniego ścinania

Rodzaj gruntu wg PN-EN ISO 14688	Zawartość ON [%]	Kąt tarcia wewnętrznego φ' [°]
Piasek średni (MSa)	0	38,1
	2,5	33,1
	5,0	32,4
	7,5	32,6
	10,0	30,5



Rys. 3. Zależność wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego badanych próbek piasków średnich od zawartości zanieczyszczenia ON
Fig. 3. Dependence of effective angle of internal friction on the oil content in contaminated medium sands

Otrzymane wyniki porównano z rezultatami badań wpływu obecności ON w gruntach piaszczystych, wykonanych w innych ośrodkach badawczych, zarówno krajowych (Politechnika Szczecińska, Politechnika Warszawska), jak i zagranicznych (Allahabad, Indie). Aproksymowane liniowo zależności przedstawiono na rysunku 4.

Wszystkie przeanalizowane dane badawcze wykazują jednoznaczną tendencję spadkową wartości kąta tarcia wewnętrznego wraz ze wzrostem zawartości ON w gruncie. Wyraźnie niższe wartości parametru uzyskane w ośrodku szczecińskim wynikają z faktu, że badaniom poddano grunt o drobniejszym uziarnieniu (piaski drobne). Wysoka zbieżność wyników badań w ośrodkach krakowskim, warszawskim i indyjskim skłoniła autorów do próby znalezienia wspólnej dla tych badań funkcyjnej zależności wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego od stopnia zanieczyszczenia olejem napędowym piasków średnich. Aproksymację liniową wykonaną dla wszystkich zgromadzonych danych przedstawiono na rysunku 5, a uzyskaną zależność funkcyjną opisano poniższym wzorem:

$$\varphi' = \varphi'_o - 0,6 \cdot z$$

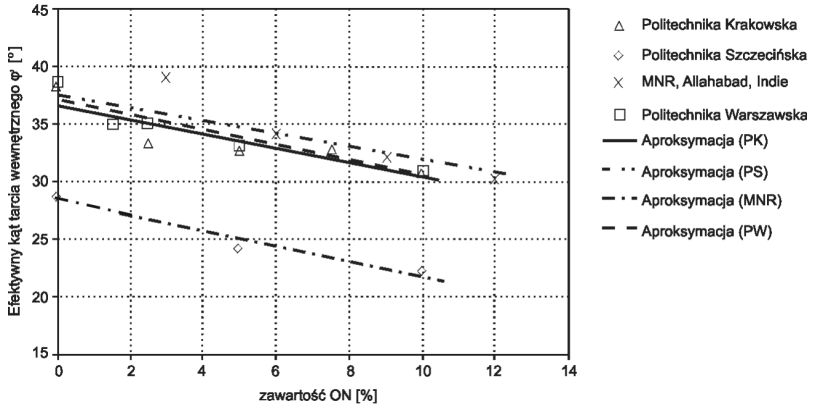
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

gdzie:

φ' – efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu zanieczyszczonego [°],

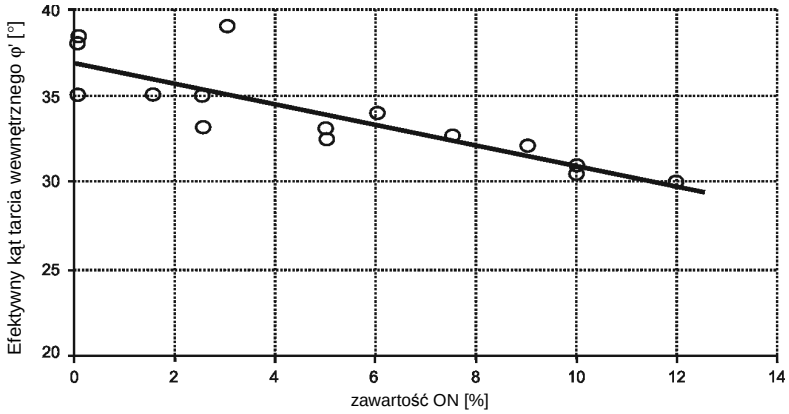
φ'_o – efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu czystego [°],

z – zawartość oleju napędowego w gruncie [%].



Rys. 4. Aproksymacje liniowe wartości φ′ zanieczyszczonych gruntów piaszczystych uzyskanych w różnych ośrodkach badawczych

Fig. 4. Approximated linear dependences of φ′ values of contaminated sandy soils derived from test data of different research centres



Rys. 5. Aproksymacja liniowa wartości φ′ wszystkich analizowanych wyników uzyskanych dla zanieczyszczonych piasków średnich przebadanych w różnych ośrodkach badawczych

Fig. 5. Approximated linear dependence of φ′ values of contaminated medium sands derived from the data of all analyzed tests results of different research centres

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

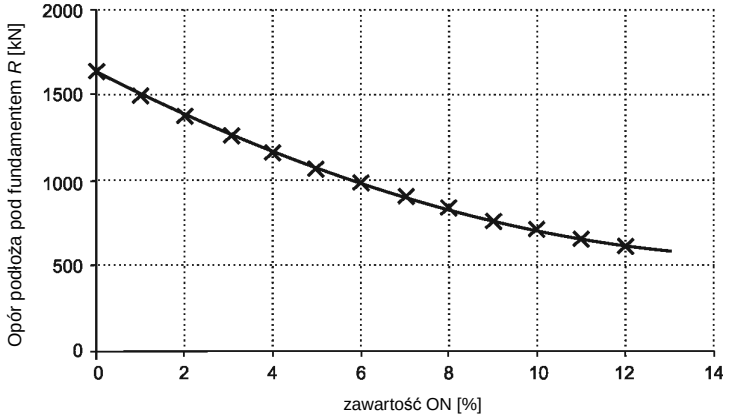
4. Wpływ zanieczyszczeń olejowych na nośność podłoża budowlanego

Opisany powyżej negatywny wpływ zanieczyszczenia gruntu substancją ropopochodną na jego właściwości mechaniczne może mieć bardzo duże znaczenie inżynierskie – kąt tarcia wewnętrznego jest bowiem podstawowym parametrem wytrzymałościowym, na którym opiera się projektowanie fundamentów budowli. Parametr ten stanowi podstawę do określania współczynników nośności N przy wyznaczaniu obliczeniowego oporu podłoża gruntowego Q_f zgodnie z obowiązującą dotychczas Polską Normą do projektowania fundamentów bezpośrednich [14].

Podobne podejście zostało również zaproponowane we wprowadzonej w marcu 2010 r. normie Eurokod 7 [19]. Efektywny kąt tarcia wewnętrznego jest tutaj podstawowym parametrem gruntowym, służącym do obliczania wartości oporu gruntu R dla tzw. warunków „z odpływem" (*drained*).

W celu zobrazowania istotności wpływu zmian kąta tarcia wewnętrznego, wynikających z zanieczyszczenia gruntu ON na nośność fundamentu bezpośredniego, autorzy poddali analizie prosty przypadek obliczeniowy.

Zgodnie z procedurą Eurokod 7 obliczono wartość oporu podłoża pod fundamentem stopowym o jednostkowej powierzchni (wymiary $B = L = 1{,}0$ m), obciążonego osiową siłą pionową. Fundament posadowiono na warstwie piasku średniego o wyjściowej wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego równej $\varphi' = 36{,}9°$, a następnie badano wpływ zmian tej wartości, wynikających ze wzrostu zawartości substancji zanieczyszczającej (stosując opracowaną zależność funkcyjną), na nośność podłoża pod fundamentem. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2 oraz przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność oporu podłoża piaszczystego pod fundamentem bezpośrednim od zawartości zanieczyszczenia ON
Fig. 6. Dependence of sandy soil resistance under a spread foundation on oil contamination content

Z otrzymanych rezultatów wynika, że już stosunkowo niewielka zawartość ON w gruncie może powodować znaczny spadek jego nośności. Dla 2% zanieczyszczenia, redukcja oporu podłoża wynosi ponad 15%, a dla 10% zanieczyszczenia wartość oporu obniża się już ponad dwukrotnie.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 2

Wpływ zanieczyszczenia gruntu na nośność podłoża pod fundamentem bezpośrednim

Zawartość ON [%]	Kąt tarcia wewnętrznego φ′ [°]	Opór podłoża (nośność) *R* [kN]
0	36,9	1611,9
2	35,7	1356,0
4	34,5	1144,9
6	33,3	969,7
8	32,1	823,9
10	30,9	701,9

5. Wnioski

1. Obszary zanieczyszczonego podłoża stanowią znaczną część terenów budowlanych i będą w najbliższej przyszłości miejscem lokalizacji nowych obiektów inżynierskich. Ponieważ środowisko gruntowo-wodne stanowi podłoże dla obiektów inżynierskich, dlatego też wraz ze stwierdzeniem zanieczyszczenia zachodzi obawa możliwości jego wpływu na zmiany własności fizycznych i mechanicznych gruntu, a więc i na jego przydatność do celów budowlanych.
2. Najpowszechniej stosowanym w praktyce inżynierskiej modelem gruntu jest model Coulomba. Zgodnie z jego teorią, na opór gruntu przy ścinaniu składają się: opór tarcia wewnętrznego oraz opór spójności (kohezji). Opór tarcia wewnętrznego wyraża się iloczynem naprężeń efektywnych w szkielecie gruntowym prostopadłych do powierzchni ścinania i współczynnika tarcia, wyrażanego tangensem kąta tarcia wewnętrznego. Parametr ten zależy przede wszystkim od wymiaru ziaren oraz ich kształtu, ale także od innych cech materiału gruntowego, np. składu mineralnego. Bezpośredni wpływ na zmniejszenie oporów tarcia przy ścinaniu ma obecność w gruncie substancji mogącej działać jak smar. Wpływ taki obserwuje się chociażby w gruntach wilgotnych i nawodnionych, gdzie substancją „smarującą" jest woda. Analogiczne działanie może mieć obecność w gruncie zanieczyszczeń ropopochodnych. Olej napędowy, ze względu na mniejszą gęstość (ρ = 0,82 g/cm^3), mniejsze siły napięcia powierzchniowego, a także wyższą lepkość, powoduje poślizg pomiędzy ziarnami znacznie większy niż woda, a w konsekwencji obniżenie oporu tarcia gruntu przy ścinaniu.
3. Badania wpływu obecności oleju napędowego w gruncie na wartości φ′ przeprowadzone w różnych ośrodkach krajowych i zagranicznych jednoznacznie wskazują, że obecność tego typu zanieczyszczenia w gruncie wpływa niekorzystnie na wartość kąta tarcia wewnętrznego. Zgromadzone wyniki badań pozwoliły na wyprowadzenie zależności funkcyjnej pomiędzy efektywnym kątem tarcia wewnętrznego, a zawartością oleju napędowego w piaskach średnich. Zgodnie z tą zależnością, w gruntach tych występuje spadek wartości kąta tarcia wewnętrznego o 0,6° przy wzroście zanieczyszczenia olejem napędowym o 1%.
4. Bardzo istotnym z punktu widzenia inżynierskiego jest tutaj wpływ zanieczyszczenia gruntu substancją ropopochodną na obniżenie nośności fundamentów budowli. Przedstawione obliczenia wykazały, że stosunkowo niewielka ilość substancji zanieczyszczającej w gruncie może powodować znaczące obniżenie oporu podłoża pod funda-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

mentem. Analiza danych obliczeniowych wyraźnie wskazuje, że przy projektowaniu posadowień obiektów, takich jak stacje paliw, czy obiekty infrastruktury rafinerii ropy naftowej, znajdujących się w sąsiedztwie zbiorników paliw lub innych substancji ropopochodnych (gdzie potencjalne ryzyko zanieczyszczenia gruntu tymi substancjami jest relatywnie wysokie), należy brać pod uwagę dodatkowe zwiększenie częściowych współczynników bezpieczeństwa.

5. Zmiana pierwotnej charakterystyki geotechnicznej gruntu poniżej poziomu posadowienia fundamentów ma decydujący wpływ na nośność i odkształcalność podłoża budowlanego. Zmiana warunków posadowienia eksploatowanych obiektów inżynierskich może doprowadzić do stanów awaryjnych budowli znajdujących się w strefie zasięgu rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Stan ten może powodować stałą lub okresową zmianę w pracy układu fundament–grunt.

Literatura

[1] Herzig J., Rybicki S., *Influence of chemical pollutants on some geotechnical properties of typical soils from Poland*, Proceedings of GREEN 2, The Second International Symposium on Geotechnics Related to the Environment, Krakow, Poland, 8–11 September 1997, Thomas Telford, London 1998, 233-238.

[2] Kaya A., Fang H.-Y., *The effects of organic fluids on physicochemical parameters of fine-grained soils*, Canadian Geotechnical Journal, 37, 2000, 943-950.

[3] Korzeniowska-Rejmer E., *Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów, stanowiących podłoże budowlane*, Inżynieria Morska i Geotechnika, 2, 2001, 83-87.

[4] Korzeniowska-Rejmer E., *The effects of persistent antropogenic on the geotechnical properties of soil*, Proceedings of GREEN 4 International Symposium on Geotechnics Related to the Environment, R.W. Sarsby & A.J. Felton: *Geotechnical and Environmental Aspects of Waste Disposal Sites*, Wyd. Taylor & Francis Group, London 2007, 157-162.

[5] Korzeniowska-Rejmer E., Izdebska-Mucha D., *Ocena wpływu zanieczyszczeń ropopochodnych na uziarnienie i plastyczność gruntów spoistych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 9, 1, 2006, 89-103.

[6] Korzeniowska-Rejmer E., Motak E., *Wpływ zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi podłoża gruntowego na nośność fundamentów bezpośrednich i ścian oporowych*, Materiały Międzynarodowego Sympozjum Naukowo-Szkoleniowego, Wyd. Arka Konsorcjum, Poznań 1995, 51-56.

[7] Korzeniowska-Rejmer E., Motak E., Rawicki E., *Wpływ zanieczyszczeń olejowych na stan techniczny podłoża gruntowego i budynku magazynowania paliw*, Przegląd Budowlany, VIII, 1995.

[8] Lupa H., Sałaciak A., *Wpływ zanieczyszczenia olejami mineralnymi na własności fizyko-wodne gruntu*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 45, 1975, 47-57.

[9] Pałka J., Korzeniowska E., *Wpływ odpadów porafinacyjnych na zmianę właściwości fizyko-mechanicznych gruntów nasypowych oraz na korozję drenażu*

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

w Rafinerii Nafty w Trzebini, Politechnika Krakowska, Archiwum Instytutu Geotechniki, Kraków 1990, maszynopis.

[10] S t e g e m a n W., *Die Umbenuzung des Untergrundes durch Mineralölein-wirkungen*, Wasser-Abwasser, 6, 1976, 61-68.

[11] S r i v a s t a w a R.K., P a n d e y V.D., *Geotechnical evaluation of oil contaminated soil*, Proceedings of GREEN 2, The Second International Symposium on Geotechnics Related to the Environment, Thomas Telford, London 1998, 204-209.

[12] T h i e l - R o m a n M., *Wpływ agresywnych zanieczyszczeń przemysłowych na właściwości fizyczne i mechaniczne wybranych gruntów podłoża budowli*, praca dyplomowa, Politechnika Warszawska, Warszawa 1994, maszynopis.

[13] PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

[14] PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli.

[15] PN-74/B-04452 Geotechnika. Badania polowe.

[16] PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

[17] PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne – Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania.

[18] PN-EN ISO 14688:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów.

[19] PN-EN 1997-1:2008 Eurocod 7 Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.

[20] PN-EN 1997-2:2007 Eurocod 7 Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ