

DOROTA IZDEBSKA-MUCHA*, ELŻBIETA KORZENIOWSKA-REJMER**

WPŁYW ZANIECZYSZCZEŃ ROPOPOCHODNYCH
NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GRUNTÓW STOSOWANYCH
DO BUDOWY MINERALNYCH BARIER
USZCZELNIAJĄCYCH SKŁADOWISKA ODPADÓW

OIL POLLUTION INFLUENCE ON PROPERTIES
OF SOILS USED FOR MINERAL SEALING
BARRIERS IN LANDFILLS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki wieloletnich badań prowadzonych przez autorki publikacji, dotyczących wpływu zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi na wybrane właściwości fizyczne gruntów spoiстых. Badania dotyczyły składu granulometrycznego, właściwości plastycznych, zagęszczalności oraz skurczalności gruntów pylastych, gliniastych i ilastych. Zmiany właściwości badanych gruntów przedstawiono w kontekście kryteriów ich przydatności do budowy mineralnych barier uszczelniających składowiska odpadów i zbiorniki paliw płynnych. Uzyskane wyniki wykazały istotne zmiany badanych parametrów i w konsekwencji pogorszenie właściwości uszczelniających gruntów wbudowanych w przesłonę mineralną, co może zmniejszyć lub wykluczyć ich przydatność jako nieprzepuszczalnej bariery ochronnej w dłuższym przedziale czasowym dla głębszych warstw naturalnego podłoża i wód podziemnych.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia ropopochodne, grunty spoiyste, parametry fizyczne, mineralne bariery uszczelniające

Abstract

The paper presents the results of many years' research carried out by the authors, concerning the influence of petroleum pollution on the physical parameters of cohesive soils. The analysis of changes in: grain size distribution, plasticity, compaction and shrinkage is presented and evaluated in the context of barrier properties of cohesive soils. The results obtained show that petroleum pollution of a cohesive soils changes the parameters responsible for its deformability and filtration characteristics. Results presented raise a question of suitability of clay soils as a long-term barrier against petroleum contaminants.

Keywords: oil pollution, cohesive soils, physical properties, mineral sealing barriers

* Dr Dorota Izdebska-Mucha, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski.

** Dr Elżbieta Korzeniowska-Rejmer, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Niektóre budowle inżynierskie, jak na przykład składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, obiekty służące do magazynowania i dystrybucji paliw płynnych, stanowią potencjalne źródło zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych.

Obiekty te powinny być lokalizowane na podłożu, w którym występują warstwy gruntów stanowiące skuteczne bariery przeciwfiltracyjne, ograniczające w znacznym stopniu możliwość migracji zanieczyszczeń w głąb ośrodka gruntowego w długim przedziale czasowym.

Z przeprowadzonych badań krajowych i zagranicznych [1, 5, 6, 8–11, 14, 16, 18] wynika jednoznacznie, że w wyniku migracji substancji chemicznych w ośrodku gruntowym, zwłaszcza substancji ropopochodnych, zachodzą zjawiska i procesy wpływające na zmiany jego pierwotnych właściwości.

Charakter i zasięg ich oddziaływania zależą od właściwości zanieczyszczeń, budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, rodzaju i właściwości gruntów. Interakcja pomiędzy substancjami chemicznymi a cząstkami gruntu zależy od rodzaju substancji (kwasy, zasady, związki polarne i niepolarne) oraz mikrostruktury gruntu (szkielet, podwójna warstwa dyfuzyjna). Przy braku właściwych zabezpieczeń oraz niekorzystnym układzie hydrogeologicznym zanieczyszczenia rozprzestrzeniają się w głębsze warstwy podłoża, degradując jego stan naturalny (zmiany charakterystyki fizykochemicznej i wytrzymałościowej).

W przypadku mineralnych przesłon uszczelniających zmiany właściwości gruntów na skutek długotrwałej infiltracji zanieczyszczeń mogą powodować znaczną redukcję parametrów geotechnicznych odpowiedzialnych za właściwości filtracyjne i deformacyjne. Jest to istotne z punktu widzenia właściwości uszczelniających, a więc stabilności chemicznej zapewniającej niezmienną wodoprzepuszczalność w dłuższym przedziale czasowym oraz odpowiednią wytrzymałość formowanych warstw gruntów. Zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów spoistych poddanych długotrwałym zanieczyszczeniom świadczą o ich ograniczonej przydatności do konstruowania nieprzepuszczalnych w dłuższym przedziale czasowym barier uszczelniających w gruntach narażonych na zanieczyszczenia ropopochodne. Identyfikacja zanieczyszczeń, jak również wywołany agresją chemiczną charakter zmian w ośrodku gruntowym są istotne w rozwiązaniach technicznych, które zabezpieczają znaczne obszary podłoża przed jego skażeniem, jak również w odpowiednim projektowaniu barier izolacyjnych.

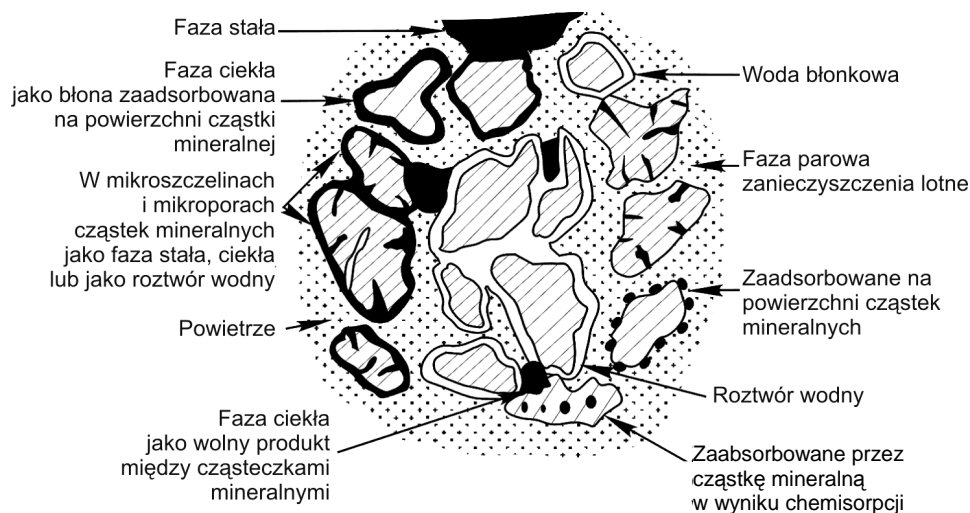
W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizycznych gruntów stosowanych w uszczelnieniach podłoża i przypisane im parametry, które powinny być uwzględniane na równi z podanymi w przepisach prawa kryteriami przydatności gruntów do budowy mineralnych barier izolacyjnych [19]. Są to: zawartość frakcji iltowej, pyłowej, piaskowej, wskaźnik zagęszczenia, granice konsystencji, wskaźnik plastyczności, wskaźnik skurczalności i skurcz liniowy.

2. Substancje ropopochodne w ośrodku gruntowym w aspekcie ich wpływu na właściwości gruntów

2.1. Formy występowania zanieczyszczeń ropopochodnych

W czasie migracji zanieczyszczeń ropopochodnych przez ośrodek gruntowy znaczna ich część zostaje zaadsorbowana na cząstkach mineralnych gruntu. Ilość zatrzymanych w ten sposób zanieczyszczeń zależy od wielkości ziarna, jego składu mineralnego, rodzaju i stężenia substancji wprowadzonej do podłoża.

Zasadnicza część zanieczyszczeń wiąże się z najdrobniejszą frakcją gruntu (frakcją ilową), zatem to przede wszystkim rodzaj gruntu i jego skład mineralny będą decydowały o stopniu kumulacji zanieczyszczeń, ich trwałości w rozpatrywanym środowisku i stopniu degradacji gruntów. Formy występowania zanieczyszczeń ropopochodnych w gruncie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Formy występowania zanieczyszczeń ropopochodnych w gruncie [12]
Fig. 1. Occurrence forms of oil-derivative pollution in soil

Substancje ropopochodne (SR) w ośrodku gruntowym mogą występować w postaci: cząstek o wielkości zbliżonej, większej od cząstek gruntu lub mniejszej, między cząstkami mineralnymi gruntu jako produkt wolny, błony otaczającej cząstki gruntu, zaadsorbowanych na powierzchni cząstek mineralnych, zaabsorbowanych przez cząstkę gruntu w mikroszczelinach i mikroporach jako faza stała, ciekła lub jako roztwór wodny.

Forma występowania zanieczyszczeń (stan fizyczny) zależy będzie od stopnia nasylenia węglowodarami wolnych przestrzeni w gruncie oraz od rodzaju i uziarnienia gruntu. Stan fizyczny zanieczyszczeń w podłożu gruntowym odgrywa istotną rolę, wpływając zasadniczo na procesy migracji, trwałość w ośrodku gruntowym oraz wielkość zmian właściwości gruntów, możliwości ich oczyszczania i pełnej rekultywacji.

2.2. Zmiany składu granulometrycznego

Przeprowadzone analizy składu granulometrycznego gruntów pylastych i ilastych, pobranych z podłoża obiektów magazynowania paliw i zbiorników odpadów porafinacyjnych, wykazały znaczne zmiany zawartości poszczególnych frakcji uziarnienia w odniesieniu do próbek gruntu niezanieczyszczonego (NZ). W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań różnych typów gruntów spoistych: lessu i gliny lodowcowej „1”, zanieczyszczonych *in situ* substancjami ropopochodnymi (SR) przez kilkadziesiąt lat eksploatacji obiektów, jak również wyniki badań modelowych glin lodowcowych „2” i „3”, wykształconych jako glina pylasta i piaszczysta, zanieczyszczonych w laboratorium olejem napędowym (ON) przez 12 miesięcy. Stopień zanieczyszczenia lessu, gliny lodowcowej „1”, „2” i „3” wynosił odpowiednio: 25% objętościowo, 600 mg/kg suchej masy i po 10% objętościowo.

Otrzymane wyniki badań, choć dotyczą gruntów różnych pod względem genezy, litologii, warunków występowania i skażenia, wykazały zgodną tendencję zmian składu granulometrycznego pod wpływem zanieczyszczenia SR. Zmiany zawartości poszczególnych frakcji uziarnienia wynoszą nawet kilkadziesiąt procent, co może prowadzić do zmiany rodzaju gruntu (głina lodowcowa „1”, „3”). Zakres zmian w obrębie poszczególnych frakcji różni się w zależności od typu granulometrycznego gruntu. W ile największe zmiany nastąpiły w zawartości frakcji ilowej, co może zasadniczo wpłynąć na zmiany właściwości filtracyjnych gruntów poddanych długotrwałym zanieczyszczeniom. W pyle nastąpił znaczny spadek zawartości frakcji piaszkowej i wyraźne zwiększenie zawartości frakcji pyłowej jako wynik rozbijania agregatów frakcji piaszkowej oraz spadek zawartości minerałów ilastych. Zmiany w uziarnieniu występują również w badaniach modelowych na próbkach glin zanieczyszczonych 10% ON.

Tabela 1

Zmiana składu granulometrycznego gruntów spoistych zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi

Frakcja gruntu	Less		Głina lodowcowa „1”		Głina lodowcowa „2”		Głina lodowcowa „3”	
	NZ	SR 25%	NZ	SR 600 mg/kg	NZ	ON 10%	NZ	ON 10%
Frakcja piaszkowa [%]	27	10	2	2	7	4	57	54,5
Frakcja pyłowa [%]	64	87	47	67	78	84	28	35
Frakcja ilowa [%]	9	3	51	31	15	12	14	10,5
Nazwa gruntu wg PN-86/B-02480	pył	pył	ił	ił pylasty	głina pylasta	głina pylasta	głina piaszczysta	głina
Metoda badania wg PN-88/B-04481	analiza areometryczna		analiza mikro-agregatowa*		analiza areometryczna		analiza areometryczna	

* Metodyka badania [za:] Myślińska [13].

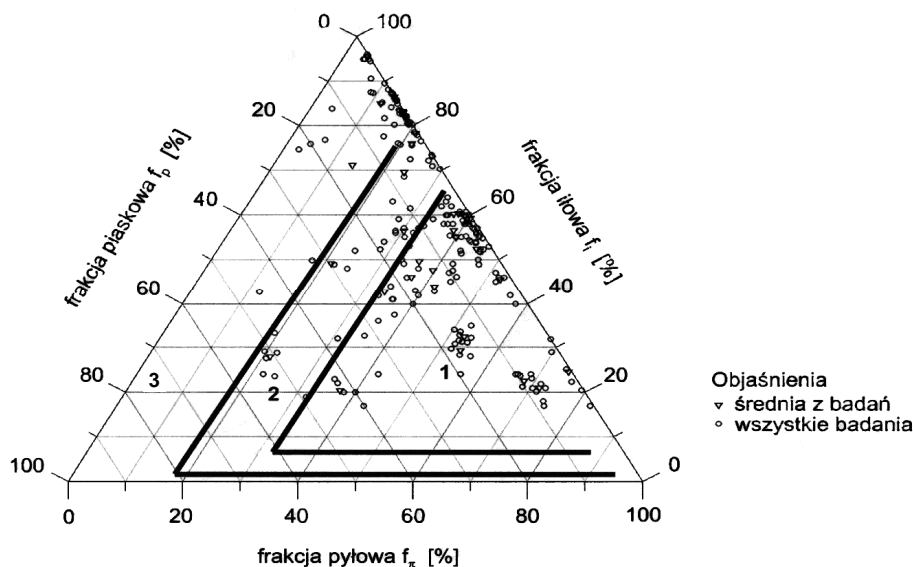
Przyczyny zaobserwowanych zmian mogą być dwójakiego rodzaju. Substancje chemiczne w porach gruntu działają agresywnie na szkielet gruntu, zmieniając jego skład mineralny i granulometryczny. Destrukcyjny charakter różnych domieszek występujących w cieczach ropopochodnych (siarki, kwasów, związków azotu, metali ciężkich i innych dodatków polepszających ich właściwości użytkowe) polega na niszczeniu więzi

strukturalnych bądź powoduje rozpad cząstek szkieletu i ma charakter procesu wietrzenia [5, 9]. Frakcja iłowa jest najbardziej podatna na agresję chemiczną, a zatem w gruntach spoistych – mniej odpornych – mogą nastąpić poważne zmiany właściwości fizycznych, chemicznych i mechanicznych.

W wyniku długotrwałej kumulacji zanieczyszczeń w gruntach i ich starzenia zachodzi zjawisko tzw. zateżnienia cięższych frakcji (oleje napędowe, oleje opałowe oraz oleje smarowe), któremu towarzyszy wydzielanie siarkowodoru. Jego obecność w gruncie intensyfikuje reakcje chemiczne między poszczególnymi składnikami zanieczyszczenia, powodując trwałe zmiany w uziarnieniu.

Węglowodory budujące SR należą do grupy związków organicznych niepolarnych. Ich właściwości fizykochemiczne determinują charakter i intensywność oddziaływań SR z gruntami spoistymi. Niska wartość stałej dielektrycznej węglowodorów powoduje, że w ich środowisku następuje redukcja grubości podwójnej warstwy dyfuzyjnej wokół cząstki iłowej oraz spadek sił wzajemnego oddziaływania pomiędzy cząstkami gruntu. Według obliczeń Kaya i Fanga [8], redukcja sił odpychania jest większa niż sił przyciągania, co wywołuje flokulację cząstek iłowych i tworzenie się większych agregatów wchodzących w zakres frakcji pyłowej.

Istotnym zagadnieniem w badaniach gruntów zanieczyszczonych jest dobór odpowiedniej metodyki pomiarów. Analizę gliny lodowcowej „1” (iłu) przeprowadzono metodą mikroagregatową. Analiza mikroagregatowa ujawnia naturalny stan uziarnienia i zagregowania fazy stałej gruntu, gdyż nie stosuje się w jej procedurze zabiegów służących rozbiciu mikroagregatów występujących w gruncie; tym samym lepiej obrazuje wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na uziarnienie gruntu.



Rys. 2. Obszary przydatności gruntów do budowy mineralnych barier uszczelniających:

1 – bardzo przydatne, 2 – przydatne, 3 – wymagające uzdatnienia [17]
 Fig. 2. Areas of soil usefulness for mineral sealing barriers: 1 – very useful,
 2 – useful, 3 – requiring treatment

W glinie lodowcowej „1” stwierdzono największe w porównaniu z pozostałymi gruntami zmiany w obrębie jednej frakcji – frakcji iłowej. Może to być podyktowane samą charakterystyką granulometryczną gruntu, ale i specyfiką metody mikroagregatowej. Zagadnienia metodyki badawczej gruntów zanieczyszczonych SR stanowią bez wątpienia temat wymagający dużej uwagi i dalszych badań w celu doboru procedur najdokładniej ujawniających zjawiska i zmiany zachodzące w ośrodku gruntowym na skutek zanieczyszczenia.

Skład granulometryczny stanowi podstawowe kryterium oceny przydatności gruntów do projektowania barier mineralnych. Zawartość procentowa cząstek iłowych w gruncie decyduje o właściwościach bariery i powinna przekraczać 20%. Spadek ich procentowej zawartości wpływać może na obniżenie przydatności gruntu do formowania barier uszczelniających ze względu na wartość współczynnika filtracji oraz ze względu na właściwości sorpcyjne materiału wbudowanego w barierę mineralną. Przepisy polskie i unijne wymagają dla uszczelnień mineralnych wartość współczynnika filtracji $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s [19]. Poniżej, na rys. 2, przedstawiono obszary przydatności gruntów do budowy barier mineralnych na podstawie kryterium uziarnienia [17].

2.3. Zmiany zagęszczalności

Badania wpływu odpadów porafinacyjnych na zmianę właściwości fizykomechanicznych gruntów na terenie kilku rafinerii południowej Polski potwierdziły znaczną zmianę stanu zagęszczenia gruntów budujących obwałowania osadników i ich podłoża. Wieloletnie nasycanie gruntów odpadami porafinacyjnymi spowodowało redukcję ciężaru objętościowego i ciężaru właściwego szkieletu gruntowego o ok. 10 do 15% przy nasyceniu SR w granicach 20 do 25% [14].

Tabela 2

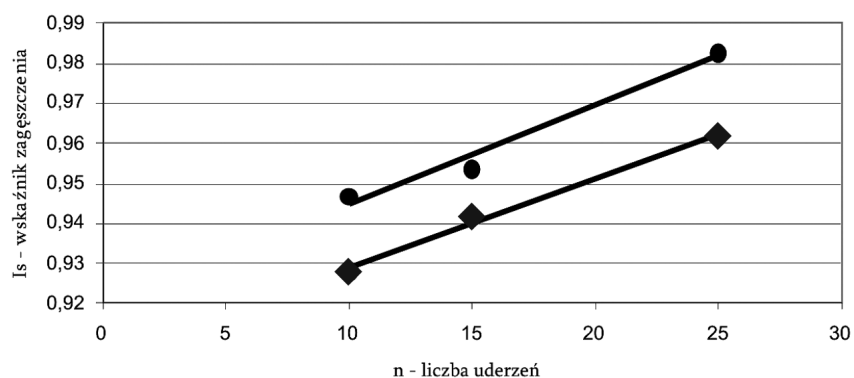
Wpływ zanieczyszczenia gliny piaszczystej na wskaźnik zagęszczenia

Nr próby	Wskaźnik zagęszczenia I_s dla czystego gruntu			Wskaźnik zagęszczenia I_s dla gruntu zanieczyszczonego 10% ON			Procentowa zmiana wskaźnika zagęszczenia I_s
	liczba uderzeń	wartość próby	średnia wartość	liczba uderzeń	wartość próby	średnia wartość	
I	10	0,948	0,947	10	0,927	0,928	2,12
II	10	0,947		10	0,930		
III	10	0,946		10	0,926		
I	15	0,955	0,954	15	0,940	0,942	1,26
II	15	0,953		15	0,944		
III	15	0,954		15	0,943		
I	25	0,985	0,983	25	0,963	0,962	2,14
II	25	0,981		25	0,959		
III	25	0,981		25	0,964		

W wyniku długotrwałej infiltracji zanieczyszczeń ropopochodnych przez obwałowania, jak i w głębsze warstwy podłoża, doszło do stanów awaryjnych obiektów składowania odpadów płynnych, spowodowanych utratą stateczności obwałowań osadników i znacz-

nymi, nierównomiernymi osiadaniami uplastycznionego podłoża [14]. Zmiany wartości ciężaru właściwego szkieletu gruntowego i ciężaru objętościowego gruntów poddanych zanieczyszczeniom ropopochodnym są istotne z punktu widzenia problemów geotechniczno-budowlanych.

W tabeli 2 i na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań modelowych zagęszczalności gliny piaszczystej poddanej zanieczyszczeniu olejem napędowym (ON 10%) przez 12 miesięcy. Badania wykonano w aparacie Proctora wg PN-88/B-04481 (metoda I).



Rys. 3. Wpływ zanieczyszczenia gruntu ON na wartość wskaźnika zagęszczenia I_s gliny piaszczystej: • – wyniki dla gruntu czystego, ♦ – wyniki dla gruntu zanieczyszczonego – 10% ON

Fig. 3. ON soil pollution influence on I_s density coefficient of sandy clay:
• – results for unpolluted soil, ♦ – results for soil polluted by 10% diesel oil (ON)

W wyniku zanieczyszczenia badanego gruntu nastąpił ok. 2% spadek wartości wskaźnika zagęszczenia. W warunkach naturalnych, przy długotrwałych zanieczyszczeniach, zmiany zagęszczenia gruntów wbudowanych w nasypy uszczelniające składowiska odpadów czy zbiorniki na odpady płynne mogą skutkować obniżeniem ich skuteczności hydroizolacyjnej w dłuższym przedziale czasowym. W przypadku obwałowań otwartych zbiorników na odpady płynne – utratą ich stateczności.

Podobne przypadki zmian zagęszczalności gruntów poddanych zanieczyszczeniom płynnym opisano w pracach [16, 18].

2.4. Zmiany plastyczności

Wyraźne zmiany wskutek zanieczyszczeń ropopochodnych zaznaczają się w wartościach granic konsystencji. W układzie dwufazowym grunt spoisty–ciecz ropopochodna następuje utrata spoistości, plastyczności gruntu oraz spadek wartości granicy płynności (w_L). W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań granicy plastyczności i płynności iłu miopliocenijskiej formacji poznańskiej (ił), gliny lodowcowej (głina piaszczysta zwięzła), bentonitu (Na-montmorillonit), kaolinitu oraz iłu illitowego po nasyceniu wodą, benzyną i olejem napędowym. Badanie granicy plastyczności przeprowadzono wg PN-88/B-04481, granicę płynności natomiast oznaczono metodą penetrometru stożkowego wg normy brytyjskiej BS1377:Part 2:1990:4.3.

Wszystkie analizowane grunty po nasyceniu benzyną i olejem napędowym wykazały całkowicie odmienne właściwości w stosunku do analiz prowadzonych z wodą destylowaną. Grunt nasycony SR natychmiast flokulował, tracił spistość, uniemożliwiając określenie granicy plastyczności. Wszystkie analizowane grunty zanieczyszczone benzyną i olejem napędowym oznaczono jako nieplastyczne (NP.)

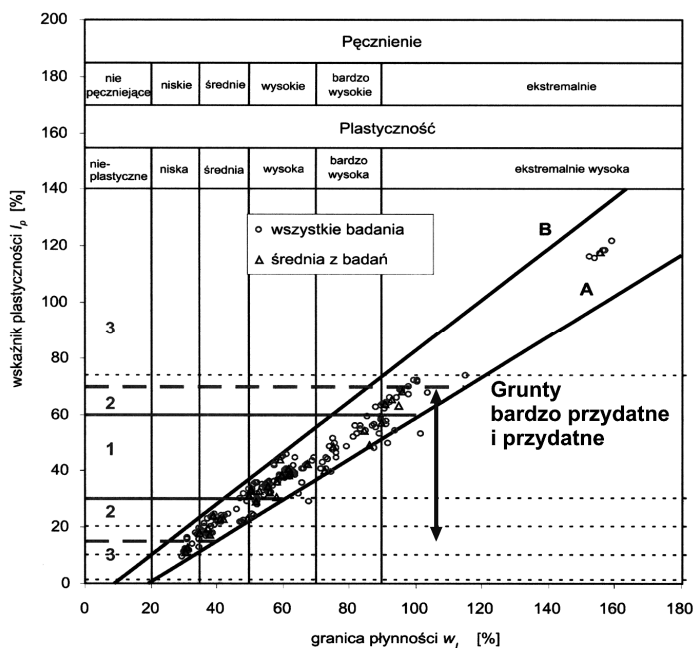
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wartości granicy płynności gruntów nasyconych cieczami ropopochodnymi są niższe niż dla wody destylowanej.

Tabela 3

Zmiany granicy plastyczności i płynności spoistych zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi

Nazwa gruntu	Granica plastyczności w_p [%]			Granica płynności w_L [%]		
	woda	benzyna	olej napędowy	woda	benzyna	olej napędowy
Il miopliociński	25	NP	NP	65	36	34
Gлина lodowcowa	13	NP	NP	24	24	23
Bentonit	55	NP	NP	257	34	37
Il illitowy	26	NP	NP	46	24	26
Kaolinit	40	NP	NP	51	45	37

NP – grunt nieplastyczny.



Rys. 4. Nomogram plastyczności z zaznaczonym obszarem przydatności gruntów do budowy mineralnych barier uszczelniających: 1 – bardzo przydatne, 2 – przydatne, 3 – nieprzydatne [17]

Fig. 4. Plasticity nomograph with marked area for soils useful for mineral sealing barriers: 1 – very useful, 2 – useful, 3 – useless

Największy spadek wykazały grunty najbardziej hydrofilne, takie jak bentonit, ił illitowy, ił mioplioceniński, a najmniejsze kaolinit i glina lodowcowa. Uwagę zwraca również fakt, że podczas gdy w badaniach z wodą destylowaną zaznacza się wyraźne zróżnicowanie wartości w_L pomiędzy analizowanymi gruntami, to w badaniach z cieczami ropopochodnymi, dla wszystkich analizowanych gruntów, wartości utrzymują się na stosunkowo zbliżonym poziomie.

Stwierdzone zmiany granic konsystencji prowadzą do obniżenia wartości wskaźnika plastyczności gruntu (I_p). Grunty kohezyjne (gliny, ility), zanieczyszczone benzyną i olejem napędowym, nabierają cech gruntów drobnoziarnistych niespoistych, co wyklucza ich przydatność jako przesłony izolacyjnej.

Grunty te poddane długotrwałym zanieczyszczeniom mogą nie spełniać kryterium plastyczności, stają się nieprzydatne bez uzdatnienia. Według diagramu Casagrande'a (rys. 4) przechodzą do obszaru „3” – gruntów nieprzydatnych.

2.5. Zmiany skurczalności

Analizę zmiany skurczalności gruntów poddanych zanieczyszczeniu SR przeprowadzono na podstawie badań modelowych dwóch zróżnicowanych granulometrycznie typów gruntów spoistych – gliny lodowcowej oraz ładu miopliocenińskiego, wykształconych jako glina piaszczysta zwięzła oraz ił o wysokiej zawartości frakcji iłowej – 85%. Grunty zostały zanieczyszczone w laboratorium olejem napędowym (ON) i przechowywane przez 3–5 miesięcy.

Zakres badań oraz stopień zanieczyszczenia past gruntowych przedstawiono w tab. 4. Granicę skurczalności w_s oznaczono według normy brytyjskiej BS1377:Part 2:1990:4.3 z zastosowaniem aparatu produkcji angielskiej WF 2/756 Wykeham Farrance. Szczegółowy opis metodyki badań w tym aparacie przedstawiono w pracy [7]. Wyjściowa wilgotność past gruntowych odpowiadała stanowi twaroplastycznemu. Badania skurczu liniowego L_s wykonano według metodyki podanej przez Heada [4], która zgodna jest z brytyjską normą BS1377:Part 2:1990:6.5, na pastach gruntowych o wilgotności odpowiadającej granicy płynności. Do past gruntów zanieczyszczonych w zakresie 4–30% ON dodawano również wodę destylowaną, aby doprowadzić je odpowiednio do wilgotności stanu twaroplastycznego i granicy płynności. Wskaźnik skurczalności I_s obliczono wg wzoru Ranganathana i Satyanarayana [15] ([za:] Grabowska-Olszewska [3]).

Dla past obu gruntów nasyconych tylko olejem napędowym oraz dla past gliny lodowcowej przy zanieczyszczeniu już powyżej 8% ON nie można było oznaczyć granicy skurczalności. Jest to związane z faktem, że grunty spoiste zanieczyszczone związkami ropopochodnymi tracą spoistość i wykazują cechy drobnoziarnistych gruntów niespoistych, kruszą się i rozpadają. W związku z tym nie było możliwe przeprowadzenie pomiarów granicy skurczalności i obliczenie wskaźnika skurczalności. Warto zwrócić uwagę, że utrata spoistości w gruncie o niższej zawartości frakcji iłowej – glinie piaszczystej zwięzłej – nastąpiła przy niższym stopniu zanieczyszczenia niż w ıle. Na rys. 5 przedstawiono próbkę ładu nasyconego benzyną po badaniu skurczu liniowego. Grunt wykazuje wyraźne cechy pyłu. W części, gdzie próbka nie jest zniszczona, można zaobserwować na jego powierzchni „ziarnistość” masy gruntowej, która nie uwidaczniała się na powierzchni próbek nasyconych wodą destylowaną. Efekt ten jest prawdopodobnie wynikiem flokulacji cząstek gruntu w cieczach ropopochodnych.

Zakres przeprowadzonych badań skurczalności iltu miopliocieńskiego i gliny lodowcowej zanieczyszczonych olejem napędowym

Parametr	Ił miopliocieński					Gлина lodowcowa										
	stopień zanieczyszczenia * [%] (woda + ON w porach gruntu)					ON**	stopień zanieczyszczenia * [%] (woda + ON w porach gruntu)									ON**
	0	4	8	12	16		0	4	8	12	16	20	24	30	100	
Granica skurczalności	V	V	V	V	V	–	V	V	V	–	–	–	–	–	–	
Wskaźnik skurczalności	V	V	V	V	V	–	V	V	V	–	–	–	–	–	–	
Skurcz liniowy	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	

* Zawartość oleju napędowego wyrażona w % wagowych w stosunku do masy gruntu wysuszonego w 105–110°C.

** Badania przeprowadzone po nasyceniu gruntu wysuszonego w 105–110°C tylko olejem napędowym, bez dodatku wody.



Rys. 5. Zniszczona próbka iltu illitowego nasyconego benzyną po badaniu skurczu liniowego

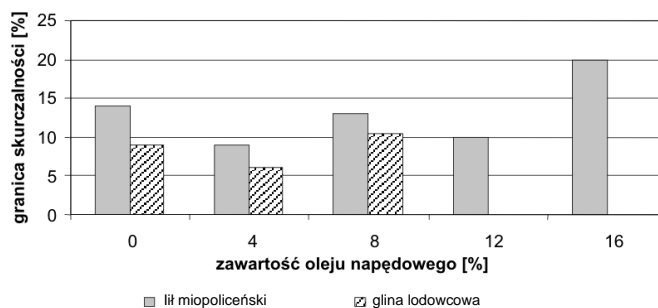
Fig. 5. Damaged sample of illitic clay saturated with petrol, after linear shrinkage test

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że w obu analizowanych gruntach wartość granicy skurczalności początkowo maleje przy najniższych stężeniach ON, a następnie wzrasta przy stężeniu 8% ON w glinie lodowcowej i 16% ON w iltu miopliocieńskim (rys. 6).

Zmiana wartości granicy skurczalności determinuje zmianę wskaźnika skurczalności gruntu (rys. 7). Wzrost granicy skurczalności powoduje redukcję wartości tego parametru, co oznacza spadek pojemności sorpcyjnej gruntu przy przejściu ze stanu zwartego do stanu płynnego, a tym samym obniżenie właściwości plastycznych. Analiza zmienności skurczu liniowego w funkcji stopnia zanieczyszczenia gruntu (rys. 8) wykazała, że im wyższa zawartość oleju napędowego, tym mniejszy skurcz liniowy gruntu. Zaobserwowana tendencja jest zgodna z wynikami badań przeprowadzonych przy nasyceniu analizowanych gruntów tylko cieczą ropopochodną, bez dodatku wody destylowanej, gdzie grunt nie wykazywał zmian objętościowych lub wykazywał tylko nieznaczne (rys. 9 i 10, [6]).

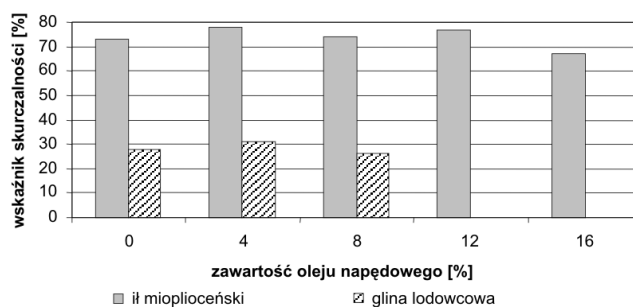
Mimo, iż ilościowo skurcz próbek nasyconych benzyną i olejem napędowym jest nieznaczny, to na ich powierzchniach pojawiły się drobne szczeliny (rys. 9–11), bardziej

uwidaczniające się w próbkach iłow. W przypadku zanieczyszczenia warstw bariery mineralnej powstawanie takich szczelin będzie otwierać drogę przepływu substancji zanieczyszczającej.



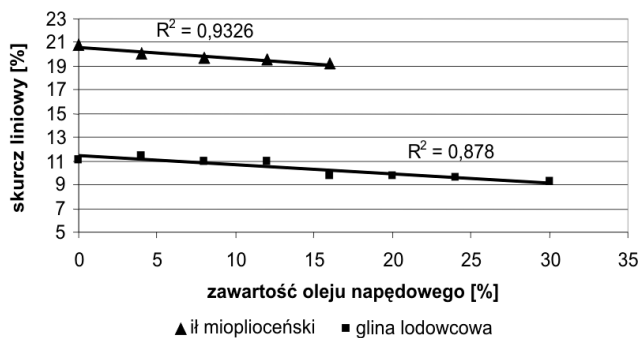
Rys. 6. Granica skurczalności łu miopliocenińskiego i gliny lodowcowej w funkcji zanieczyszczenia olejem napędowym (ON)

Fig. 6. Shrinkage limit of miopliocene clay and glacial loam vs. diesel oil pollution



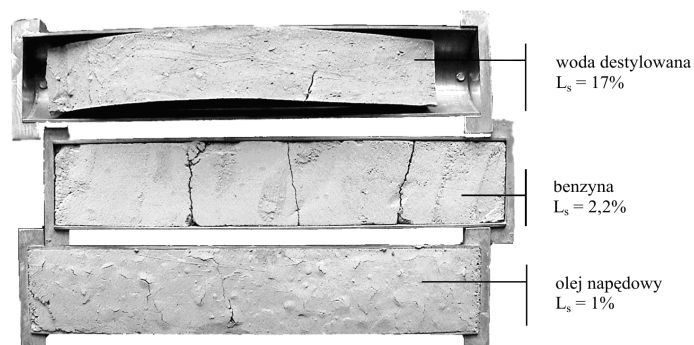
Rys. 7. Wskaźnik skurczalności łu miopliocenińskiego i gliny lodowcowej w funkcji zanieczyszczenia olejem napędowym (ON)

Fig. 7. Shrinkage index of miopliocene clay and glacial loam vs. diesel oil pollution

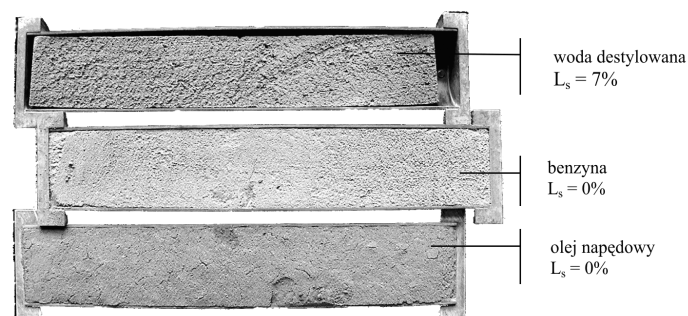


Rys. 8. Skurcz liniowy łu miopliocenińskiego i gliny lodowcowej w funkcji zanieczyszczenia olejem napędowym (ON)

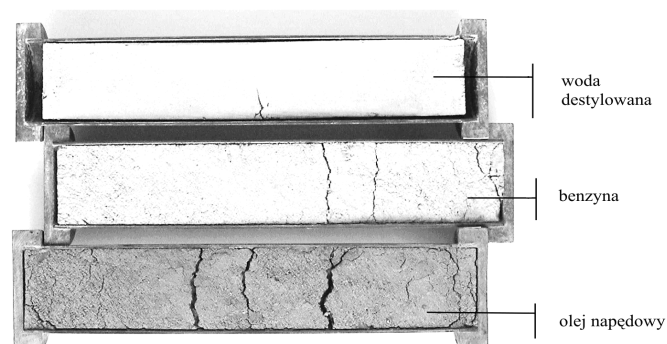
Fig. 8. Linear shrinkage of miopliocene clay and glacial loam vs. diesel oil pollution



Rys. 9. Próbki iltu miopliocenińskiego nasyconego wodą, benzyną, olejem napędowym po badaniu skurczu liniowego [6]
 Fig. 9. Samples of miopliocene clay saturated with distilled water, petrol and diesel oil, after linear shrinkage test



Rys. 10. Próbki gliny lodowcowej nasyconej wodą, benzyną, olejem napędowym po badaniu skurczu liniowego [6]
 Fig. 10. Samples of glacial loam saturated with distilled water, petrol and diesel oil, after linear shrinkage test

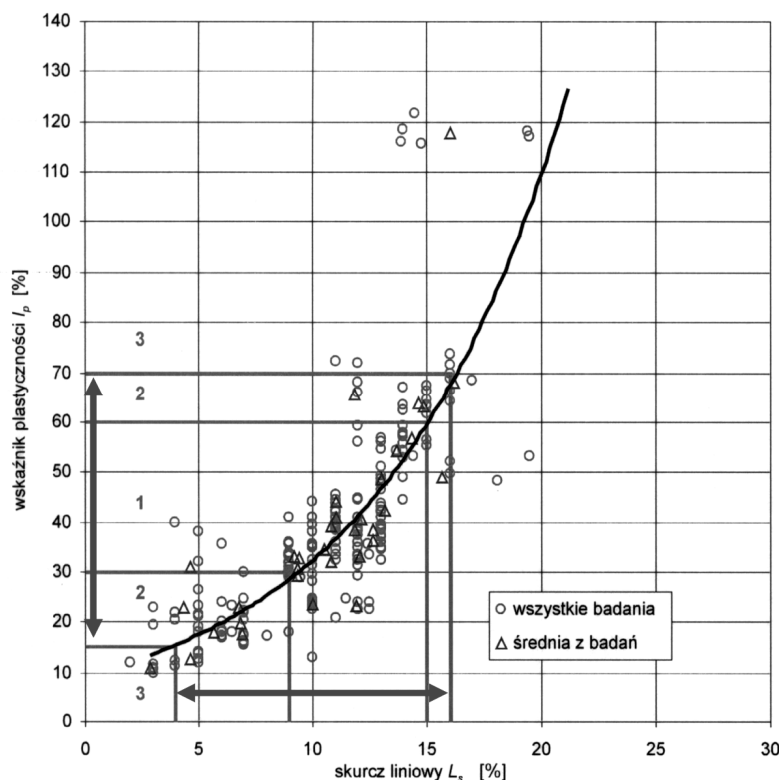


Rys. 11. Próbki iltu illitowego nasyconego wodą, benzyną, olejem napędowym po badaniu skurczu liniowego [9]
 Fig. 11. Samples of illitic clay saturated with distilled water, petrol and diesel oil, after linear shrinkage test

Parametry skurczalności gruntów spoistych, takie jak wskaźnik skurczalności i skurcz liniowy, znajdują zastosowanie w ocenie przydatności gruntu do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Gawriuczenkow [2] dowodzi, że wskaźnik skurczalności jest parametrem, który lepiej oddaje właściwości plastyczne gruntu niż powszechnie stosowany w kryteriach przydatności wskaźnik plastyczności gruntu. Na podstawie obszernych badań iłłów miopoliocieńskich Gawriuczenkow [2] proponuje wartość $I_s > 30\%$ jako nowe kryterium do oceny właściwości izolacyjnych gruntu.

Przedstawione wyniki badań wskazują zatem, że zanieczyszczenie gruntu spoistego cieczami ropopochodnymi zmienia jego charakterystykę skurczalności, co może prowadzić do zmiany kategorii danego gruntu w klasyfikacji przydatności do budowy barier izolacyjnych, obniżając jego właściwości uszczelniające.

Na rysunku 12 przedstawiono nomogram przydatności gruntów do budowy barier uszczelniających pod względem wartości skurczu liniowego L_s . Optymalna jego wartość powinna zawierać się w przedziale 8–15% dla gruntów bardzo przydatnych, przy wskaźniku plastyczności I_p od 30 do 60% [17].



Rys. 12. Nomogram do oceny właściwości deformacyjnych gruntu z obszarami jego przydatności: 1 – bardzo przydatne, 2 – przydatne, 3 – nieprzydatne [17]

Fig. 12. Nomograph for evaluating deformation soil properties with areas of its usefulness: 1 – very useful, 2 – useful, 3 – useless

3. Uwagi końcowe

1. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że substancje ropopochodne mogą w znacznym stopniu zmieniać właściwości gruntów wykorzystywanych do budowy mineralnych barier uszczelniających, zabezpieczających głębsze warstwy podłoża przed płynnymi zanieczyszczeniami.
Migracja zanieczyszczeń ropopochodnych przez warstwy gruntów i kumulacja w nich powoduje niespełnienie określonych cech (kryteriów), istotnych do oceny ich właściwości przesłonowych w dłuższym przedziale czasowym, związanych głównie z filtracją i dyfuzyjnym transportem zanieczyszczeń.
2. Kryterium granulometryczne jest jednym z najważniejszych kryteriów przydatności gruntu czy materiału gruntowego do budowy barier. Przy znacznych stężeniach zanieczyszczeń redukcja frakcji iłowej w materiale przesłony może wynieść kilkadziesiąt procent, co powoduje niespełnienie zarówno kryterium szczelności, jak również plastyczności i kryterium sorpcji. Wartość współczynnika filtracji może zwiększyć się o dwa rzędy wielkości. Przepisy polskie i unijne wymagają dla uszczelnień mineralnych wartości współczynnika filtracji $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s. Niska wodoprzepuszczalność barier mineralnych powinna być zachowana przez kilkadziesiąt lat po zakończeniu eksploatacji obiektu.
3. Stwierdzone zmiany granic konsystencji powodują obniżenie wartości wskaźnika plastyczności i zmianę spoistości gruntu. W układzie dwufazowym grunt–ciecz ropopochodna grunty ilaste i gliniaste zachowują się jak nasycone cieczą drobnoziarniste grunty sypkie, co z kolei prowadzi do niespełnienia kryterium plastyczności. Zanieczyszczenia ropopochodne zmieniają charakterystykę skurczalności gruntów spoistych. Wzrost granicy skurczalności powoduje redukcję wartości wskaźnika skurczalności, co wskazuje na spadek pojemności sorpcyjnej gruntu.
4. Wartości wskaźnika skurczalności i skurczu liniowego są istotnymi parametrami kryterium deformacyjnego w ocenie przydatności gruntów. Redukcja obu parametrów wskutek zanieczyszczeń może powodować mniejszą aktywność pęcznienia materiału wbudowanego w przesłonę.
5. Stwierdzona tendencja zmian uziarnienia, zagęszczenia, właściwości plastycznych i deformacyjnych gruntów poddanych długotrwałym zanieczyszczeniom ropopochodnym może zasadniczo obniżyć ich właściwości uszczelniające w konstrukcjach barier zabezpieczających podłoże. Może nastąpić również znaczna redukcja parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych nasypu uszczelniającego, co jest istotne przy prognozowaniu osiadań i nośności mineralnych barier, jak również przy ocenie ich skuteczności izolacyjnej i trwałości.
6. Uwzględniając wiele możliwości reakcji pomiędzy gruntami i substancjami chemicznymi, zaleca się projektowanie wielowarstwowych uszczelnień mineralnych – tzw. barier multimineralnych – jako skutecznej ochrony podłoża przed przemieszczającymi się zanieczyszczeniami. Należy również uwzględnić fakt zmian w składzie i ilości uwalnianych substancji z odpadów, wpływu mikroorganizmów oraz reakcji w czasie.

Dr Dorota Izdebska-Mucha składa podziękowania Pani mgr Justynie Szewczyk oraz Pani mgr Magdalenie Wilk za pomoc w przeprowadzeniu badań laboratoryjnych nad skurczalnością iłów i glin.

Literatura

- [1] Garbulewski K., Fronczyk J., *Wpływ płynnych zanieczyszczeń na właściwości filtracyjne gruntów*, Geoenvironmental Engineering-Transfer of Knowledge and EU's Directives to Newly Associated States, Warsaw 2004.
- [2] Gawriuczenkow I., *Ocena właściwości ilów serii poznańskiej jako potencjalnych, izolacyjnych barier geologicznych*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa 2001.
- [3] Grabowska-Olszewska B. (red.), *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [4] Head K.H., *Manual of soil laboratory testing*, Vol. 1: *Soil classification and compaction tests*, London 1992.
- [5] Herzig J., *Wpływ zanieczyszczeń organicznych na wybrane parametry fizyczne gruntów spoistych*, Inżynieria Morska i Geotechnika nr 3, 2001, 141-143.
- [6] Izdebska-Mucha D., *Wpływ benzyny i oleju napędowego na właściwości deformacyjne monomineralnych ilów wzorcowych oraz gruntów spoistych*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa 2003.
- [7] Izdebska-Mucha D., *Polska a brytyjska metodyka badań skurczalności gruntów spoistych*, materiały konferencyjne „40 lat geotechniki na Politechnice Łódzkiej”, Łódź–Arturówek, 23–24 kwietnia 2003, 63-78.
- [8] Kaya A., Fang H.-Y., *The effects of organic fluids on physicochemical parameters of fine-grained soils*, Canadian Geotechnical Journal 37, 2000, 943-950.
- [9] Korzeniowska-Rejmer E., Izdebska-Mucha D., *Ocena wpływu zanieczyszczeń ropopochodnych na uziarnienie i plastyczność gruntów spoistych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 9, nr 1, 2006, 89-103.
- [10] Korzeniowska-Rejmer E., *Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów, stanowiących podłoże budowlane*, Inżynieria Morska i Geotechnika nr 2, 2001, 83-87.
- [11] 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, Taylor & Francis Group, London 2007, 157-162.
- [12] Korzeniowska-Rejmer E., *Ochrona środowiska gruntowo-wodnego przed zanieczyszczeniami antropogenicznymi*, monografia *Zarządzanie środowiskowe ISO 14000*, t. III, *Gospodarka odpadami i ochrona gruntów*, Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości, Politechnika Krakowska, Kraków 2008, 117-228.
- [13] Myślińska E., *Laboratoryjne badania gruntów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [14] Pałka J., Korzeniowska E., *Wpływ odpadów porafinacyjnych na zmianę właściwości fizyko-mechanicznych gruntów nasypowych oraz na korozję drenażu w Rafinerii Nafty w Trzebini*, Politechnika Krakowska, Archiwum Instytutu Geotechniki, Kraków 1990.
- [15] Ranganathan B.V., Satyanarayana B., *A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive clays*, Proceedings of the Sixth

- International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 1965, 92-96.
- [16] Srivastawa R.K., Pandey 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.
- [17] Wysocki L., *Zasady budowy składowisk odpadów*, Instytut Techniki Budowlanej, Poradnik nr 444/2009, Warszawa 2009.
- [18] Zadroga B., Olaniczuk-Neyman K., *Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001.
- [19] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 61, poz. 549) w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów.